

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

(повне найменування вищого навчального закладу)
Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії

(назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів та виробництв
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр
(освітній рівень)

Оцінювання впливу вібрацій на якість автоматизованого розпізнавання яєць
курей вільного виходу камерами мобільних роботів (комплексна тема)

Виконавці: студенти 4 курсу, групи КА-41

Спеціальність 151

*“Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані
технології”*

(шифр і назва спеціальності)

_____	Чоло Микола Іванович
(підпис)	(прізвище та ініціали)
_____	Рокіцький Олександр
	Олександрович
(підпис)	(прізвище та ініціали)

Керівник	_____	Марущак П.О.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль	_____	Козбур І.Р.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри	_____	Савків В.Б.
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Рецензент	_____	_____
	(підпис)	(прізвище та ініціали)

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра автоматизації технологічних процесів і виробництв
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
Савків В.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)
« ____ » _____ 2026р.

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня бакалавр
(назва освітнього ступеня)
за спеціальністю 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
(шифр і назва спеціальності)
студенту Чоло Микола Іванович
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи «Оцінювання впливу вібрацій на якість автоматизованого розпізнавання яєць курей вільного виходу камерами мобільних роботів»
(комплексна тема).

Керівник роботи д.т.н., проф., Марущак П.О.
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджена наказом ректора від «14» травня 2026 року № 4/9-231

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2026 року

3. Вихідні дані до роботи ДСТУ 5028:2008 Яйця курячі харчові. Технічні умови
“ISO 8373:2012(en) Robots and robotic devices — Vocabulary”,
<https://www.iso.org/>

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)

- 1) Аналітична частина;
- 2) Проектна частина;
- 3) Спеціальна частина;
- 4) Безпека життєдіяльності, основи охорони праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Презентація кваліфікаційної роботи аркушів формату А4

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
<i>Спеціальна частина</i>	<i>проф. Марушак П.О.</i>		
<i>Безпека життєдіяльності, основи хорони праці</i>	<i>доц. Сенчишин В.С.</i>		

7. Дата видачі завдання

« » 20 p.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

[illegible]

Студент

(підпис)

Чоло М.І.

(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Марущак П.О.

(прізвище та ініціали)

А н о т а ц і я

Чоло Микола Іванович, Рокіцький Олександр Олександрович – Оцінювання впливу вібрацій на якість автоматизованого розпізнавання яєць курей вільного виходу камерами мобільних роботів (комплексна тема).

В кваліфікаційній роботі використані такі терміни: мобільний робот, збирання курячих яєць, камера, аналіз зображення.

Об'єктом дослідження є процес розпізнавання курячих яєць за експлуатаційних умов та за наявності завад.

Мета роботи – оцінювання впливу вібрацій на параметри автоматизованого розпізнавання яєць курей вільного виходу камерами мобільних роботів.

Робот для птахівництва може використовувати до чотирьох коліс, щоб забезпечити роботу та рух під час виконання своїх завдань. Ці чотири колеса підтримують основне шасі та забезпечують його контакт із ґрунтом.

У розглянутому варіанті реалізації робот містить одну камеру, розташовану на рівні птахів. Ці камери на рівні птахів використовуються для активного виявлення в режимі реального часу зображень яєць, відкладених на підлогу, та повідомлення блоком керування робота про необхідність їх підібрати роботизованою рукою. Камери постійно контролюють внутрішні поверхні ґрунту, намагаючись виявити яйця. Алгоритм комп'ютерного зору може розпізнати форму яйця та ідентифікувати об'єкт маніпулювання за досліджених умов вібраційного впливу та умов освітленості.

У кваліфікаційній роботі запропоновано заходи з охорони праці. Це дає змогу підвищити безпеку праці, попередити виробничий травматизм та професійні захворювання.

Mykola Ivanovych Cholo, Oleksandr Oleksandrovich Rokitsky – Assessment of the impact of vibrations on the quality of automated recognition of free-range chicken eggs by cameras of mobile robots (complex topic).

The following terms are used in the qualification work: mobile robot, collection of chicken eggs, camera, image analysis.

The study focuses on the process of recognizing chicken eggs under operating conditions and in the presence of interference.

The purpose of the work is to assess the impact of vibrations on the parameters of automated recognition of free-range chicken eggs by cameras of mobile robots.

A poultry robot can use up to four wheels to ensure work and movement while performing its tasks. These four wheels support the main chassis and ensure it remains in contact with the ground.

In the considered implementation, the robot contains one camera located at the level of the birds. These bird-level cameras actively detect, in real time, eggs laid on the floor and notify the robot control unit to pick them up with the robotic arm. The cameras constantly monitor the soil's internal surfaces, looking for eggs. The computer vision algorithm can recognize the shape of the egg and identify the manipulated object under the studied vibration and lighting conditions.

The qualification work proposes occupational safety measures. This allows for increased occupational safety and the prevention of industrial injuries and occupational diseases.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	10
1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	
1.1. Характеристика конструкцій роботів для збирання яєць	12
1.2. Системи збирання яєць на основі автономного робота	14
1.3. Конструктор користувацьких прошивок ArduPilot для роботів-збирачів яєць	18
1.4. Вплив вібрацій на технічні системи роботів збирачів яєць	21
2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	
2.1. Нові рішення (патенти) з проектування роботів для збирання яєць	27
2.2. Аналіз систем управління мобільними роботами	36
3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА	
3.1. Системи освітлення курячих яєць під час одержання зображень	60
3.2. Оцінювання впливу освітленості курячих яєць та вібрації на їх розпізнавання	69
4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ	
4.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливих виробничих факторів	78
4.2. Оцінювання плавності пересування робота	82
ВИСНОВКИ	84
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ	86

ВСТУП

Утримання курей на вільному вигулі (free-range) стає більш етичним і прибутковим завдяки сучасним роботам та автоматизованим системам. Роботи замінюють рутинну працю та знижують стрес у птахів, який вони можуть відчувати через присутність людини.

Виробництво яєць зазвичай розпочинається, коли птахи починають відкладати яйця, у віці 25–26 тижнів. Наступні 6–8 тижнів є критичним періодом, який вимагає постійної присутності фермера для навчання та відлякування птахів від кладки на підлозі. Впровадження автономних роботів для птахівництва значно зменшує кількість випадків відкладання яєць на підлозі, заохочуючи птахів відкладати яйця у спеціально відведених місцях.

Забезпечує швидке збирання яєць, відкладених на підлозі, що ще більше зменшить гормональну реакцію інших птахів, які бачать яйця на підлозі та також відкладають свої яйця на ній.

У бройлерних племінних фермах постійна присутність робота також підвищує рівень фертильності пташника, внаслідок стимулювання курей більше рухатися по пташнику для контактів з більшою кількістю півнів, що позитивно вплине на кількість відкладених яєць.

Загальний цикл виробництва яєць є 65 тижнів. Протягом перших 6–8 тижнів після введення нового стада птахи можуть нести підлогові яйця зі швидкістю 15–20% на день. За середньої кількості 8000 птахів у пташнику, це становить до 1600 яєць на день, які слід збирати вручну. Протягом перших кількох тижнів вкрай важливо, щоб фермер постійно був присутній, стимулюючи та заохочуючи птахів до несення. Якщо цього не зробити, кількість підлогових яєць може перевищити 20%.

Тривале перебування у пташниках шкідливе для здоров'я людини, внаслідок високого рівня аміаку та вуглекислого газу. Птахи мають набагато вищу толерантність до аміаку та вуглекислого газу, ніж люди. Регулярний контакт людини зі свійською птицею також підвищує ризик зараження грипом і вірусами. Наприклад, якщо пташиний грип (зазвичай хвороби цієї групи

називають пташиним грипом) занесено до пташника, то всю свійську птицю доведеться знищити. Використання автономного робота для підлогового збирання яєць, моніторингу та стимуляції птахів знижує рівень контактів людини з птицею, що підвищує рівень біобезпеки.

Після того, як кури повністю привчені та набули звички нестися у відведених місцях, це зменшує кількість підлогових яєць, але не ліквідовує їх як явище. Протягом решти виробничого циклу в середньому 8% курей щодня нестимуться на підлозі, якщо їх правильно навчити, а підлогові яйця швидко видаляти, тому вдосконалення роботів для підлогового збирання яєць є актуальною.

У цій роботі аналізуються режими роботи роботизованої системи для автономного збирання підлогових яєць. Система містить мобільну роботизовану платформу з давачами та алгоритмами глибокого навчання для виявлення яєць на підлозі та під'їзду до них, а також роботизованої руки в поєднанні з візуальними алгоритмами сервоуправління для підйому яєць та розміщення їх у кошику.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Характеристика конструкцій роботів для збирання яєць

Автономні роботи для збирання яєць використовують комп'ютерний зір на основі штучного інтелекту для визначення місцезнаходження яєць і спеціалізовані захоплювачі для їх збирання. Ці роботизовані системи оптимізують сільськогосподарську працю, мінімізують перехресне забруднення між приміщеннями для утримання та запобігають бактеріальному забрудненню яєць.



TIBOT Technologies

<https://www.agricultural-robotics.com/news/robotics-poultry-production-issues>



Georgia Tech Research Institute,

<https://www.canadianpoultrymag.com/advances-in-robotics/>



Скарифікатор Octopus



<https://www.poultryworld.net/poultry/interview-is-robotic-egg-collection-the-future/>



<https://coe.gatech.edu/news/2019/11/engineers-come-home-roost>

Ключові складові роботів

Камери машинного зору: Роботи оснащені монокулярними, стерео- або панорамними камерами з кутом огляду 360°. Вони діють як очі робота, скануючи підлогу, місце під годівницями та кути у пошуку яєць.

Алгоритми глибокого навчання: Система зору передає зображення з камери в реальному часі в згорткові нейронні мережі (CNN), такі як You Only Look Once (YOLOv8), для виявлення та визначення точного центроїда, орієнтації та меж аналізованих яєць.

Роботизовані маніпулятори та кінцеві виконавчі пристрої: Після того, як координати яйця відображені на карті, робот переміщується до місця та використовує роботизовану маніпулятор, оснащену м'яким захопленням (часто виготовленим з м'якої губки для затирки або спеціального силікону), щоб підняти яйце, не розтріскуючи кришку шкаралупи.

Вакуумні системи: Замість механічного захоплення деякі автономні платформи використовують вакуумні захоплювачі, щоб обережно підняти яйце та помістити його в безпечний вбудований кошик для зберігання й подальшого транспортування.

Автономні мобільні роботи: елементи оптико-цифрової системи та роботизовані пристосування встановлено на колісному або гусеничному шасі, або навіть на біонічному роботизованому собаці, що дозволяє їм безпечно орієнтуватися в щільному, непередбачуваному середовищі, уникаючи перешкод і зіткнень.

Навігація: робот-збирач автономно патрулює пташник або споруду, використовуючи LiDAR, SLAM (одночасну локалізацію та картографування) та алгоритми планування маршруту.

Виявлення: під час руху робота його камери безперервно сканують навколишнє середовище. Алгоритм штучного зору виявляє яйце, обчислює його положення та ігнорує перешкоди, як-от солома, послід або каміння.

Вилучення: робот коригує свій шлях і задіює систему маніпулювання/всмоктування, щоб захопити яйце та втягнути його у вбудовану камеру для зберігання.

Вивантаження: Після заповнення відсіку для зберігання робот повертається до централізованого конвеєра для збору яєць або місця вивантаження, щоб безпечно розвантажити свій вантаж, перш ніж повернутися до патрулювання.

Щоб детальніше ознайомитися з тим, як сучасні промислові камери та комп'ютерний зір перевіряють, сортують і обробляють величезну кількість яєць, перегляньте цей огляд автоматизованого сортування.

1.2. Системи збирання яєць на основі автономного робота

Відомо значну кількість підлогових роботів для птахівництва; зокрема, компанія Tibot Technologies (<https://www.tibot.fr/en/>) розробила робота, який пересувається випадковим шляхом у пташнику та видає візуальні й звукові сигнали, щоб запобігти відкладенню яєць на підлозі. Робот також згрібає або скарифікує підстилку на підлозі.

У патенті США (US11026406, Octopus Bio-Safety <https://www.octopusbiosafety.com/en/animal-welfare/>) запропоновано робота, який скарифікує та дезінфікує підстилку, а також виявляє мертвих птахів. Також фірма Lamus (<https://iamus.ai/>) зараз розробляє робота для стимуляції бройлерів, яка стимулює свійську птицю та вимірює дані навколишнього середовища, включаючи температуру, рівень вуглекислого газу та вологість.

У науковій літературі є різні роботи з птахівництва. Наприклад, <https://www.wur.nl/en/show/Poultry-bot-for-floor-egg-collection.htm> описано робота, який визначає своє місцезнаходження на основі власних рухів та сканування навколишнього середовища за допомогою лазера. Тим часом програмне забезпечення робота шукає яйця на зображеннях з камери. Робот також може стежити за хворими тваринами та відстежувати вологість і температуру на місцевості.

Аналогічно, <https://elibrary.asabe.org/abstract.asp?aid=47950> посилається на доповідь, представлену на щорічній міжнародній зустрічі Американського товариства сільськогосподарських та біологічних інженерів (AS ABE) 1700397 у 2017 році під назвою «Автономна роботизована система для збору яєць з підлоги в пташниках» Бенджаміна П. Джоффе та Коліна Т. Уше. У цій статті описано роботизовану систему для автономного збирання яєць. Система містить мобільну роботизовану платформу з давачем та алгоритмами глибокого навчання для виявлення яєць на підлозі та під'їзду до них, а також роботизовані руки в поєднанні з візуальними алгоритмами сервоуправління для підйому яєць і перенесення їх до кошика.

Розглянемо схематичну діаграму системи керування автономним роботом-птахівником. Система керування роботом забезпечує патрулювання роботом внутрішньої частини пташника за принципом «шлях до шляху». Головний комп'ютерний блок системи, використовує зображення з камер, визначає напрям руху робота та надсилає команди до блоку керування в реальному часі через високошвидкісний інтерфейс. За допомогою електричних драйверів блок управління в режимі реального часу керує двигунами приводів коліс або гусениць.

Головний комп'ютерний блок, рис. 1.1. аналізує зображення з головної камери робота, та виявляє яйця в околі переміщення робота. У разі виявлення яйця, головний комп'ютерний блок надсилає команду до блоку керування в реальному часі, щоб зупинити робота та підняти яйце. Крім того, блок

управління постійно моніторить навколишнє середовище, аналізуючи дані, отримані від давачів.

На Рис. 1.2 зображено принципову схему блоку керування у режимі реального часу. Блок містить мікроконтролер, який має різні з'єднання, що дозволяють роботу функціонувати, а саме:

- електричні драйвери та датчики роботизованої руки для повного керування рукою;
- електричні драйвери коліс для руху та керування роботом;
- електричні драйвери для зберігання яєць, що дозволяють роботу розміщувати та зберігати яйця у внутрішній системі зберігання;
- перемикачі перешкод, що дозволяють роботу уникати перешкод на шляху пересування;
- зарядний пристрій для заряджання внутрішнього акумулятора робота;
- датчики місцезнаходження базової станції, що дозволяють роботу переміщатися до базової станції, розраховуючи свій маршрут для повернення та стикування з базовою станцією;
- датчики «прірви», що дозволяють роботу виявляти, чи знаходиться він на краю та чи може він перекинутися, що дозволяє роботу переключитися в режим уникнення перешкод та повернутися до безпечного місця;
- датчик розриву ІЧ-променя 34 для виявлення розриву ІЧ- або іншого променя, якщо бампер робота стикається з перешкодою;
- датчик падіння колеса для визначення, чи впало колесо або гусениця в отвір або значно нижче висоти інших коліс або гусениць, щоб запобігти застряганню робота;
- датчик ударів для використання, коли робот натикається на птахів або інші об'єкти, щоб перемістити їх. Датчик ударів дозволяє роботу визначити, який тиск він чинить на об'єкт.

На Рис. 1.3 зображено принципову схему головного комп'ютерного блоку. Головний комп'ютерний блок має одноплатний комп'ютер, підключений до:

- головної камери огляду, яка дозволяє роботу переміщатися у запланованому напрямку руху;
- камери-руки розташованої на роботизованій руці, для кращого позиціонування руки та кращого підйому яєць з підлоги;
- модуль WiFi 46 для зв'язку робота з користувацьким застосунком; дисплей клієнта та кнопки керування для загального керування роботом; та LiDAR, що дозволяє роботу створювати маршрутну карту, що полегшує навігацію та уникнення перешкод;



Рис. 1.1. Принципова схема системи управління автономним роботом для збирання яєць

На рисунку 1.1 зображено принципову схему системи управління автономним роботом для птахівництва.



Рис. 1.2. Принципова схема блоку керування автономним роботом у реальному часі для збирання яєць

На рис. 1.2 зображено принципову схему блоку керування автономним роботом у реальному часі, а на рис.1.3. схему головного комп'ютерного блоку робота-збирача яєць.

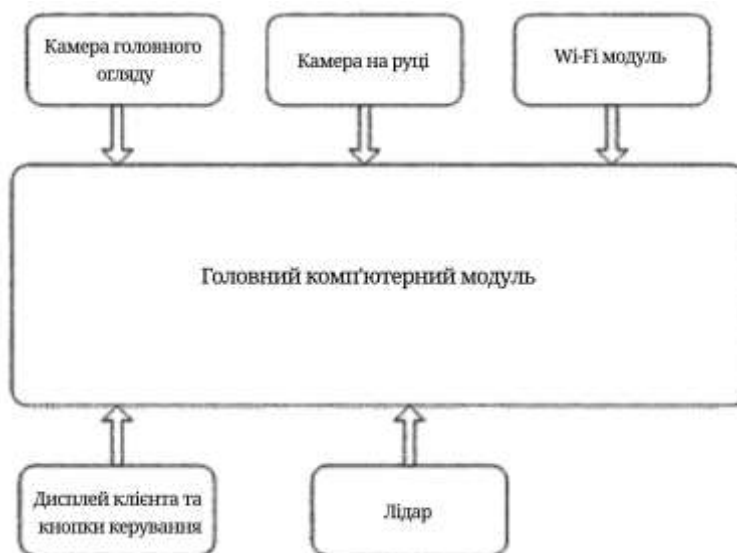


Рис. 1.3. Принципова схема головного комп'ютерного блоку автономного робота.

1.3. Конструктор користувацьких прошивок ArduPilot для роботів-збирачів яєць

Програмне забезпечення ArduPilot активно розвивається завдяки зусиллям розробників, воно швидко розширюється, додаються нові функції. Однак не всі користувачі використовують всі функції. Залежно від конкретних вимог та застосувань, користувачі можуть віддати перевагу виключенню певних функцій із програмного забезпечення.

Щоб задовольнити цю потребу, було розроблено *Custom Firmware Builder* - вебдодаток, розташований на сайті custom.ardupilot.org. Він зменшує розмір прошивки, що полегшує її розміщення в блоках керування роботом (FCU) з обмеженою флеш-пам'яттю. Це також вигідно для тестувальників, оскільки

дозволяє їм тестувати певні функції робота-збирача, без необхідності оновлювати свої контролери.

Основний функціонал веб-додатку та особливості його встановлення.

Додаток встановлюється, натиснувши кнопку «Додати збірку», розташовану у верхньому правому куті головної сторінки.

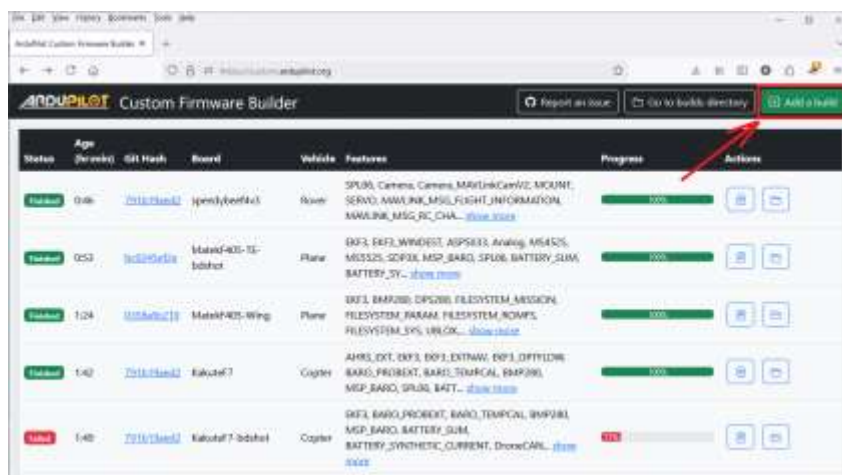


Рис. 1.4. Веб-додаток управління роботом-збирачем яєць

Після цього вибирають транспортний засіб, версію та плату, у такому порядку, для яких ви хочете зібрати прошивку.

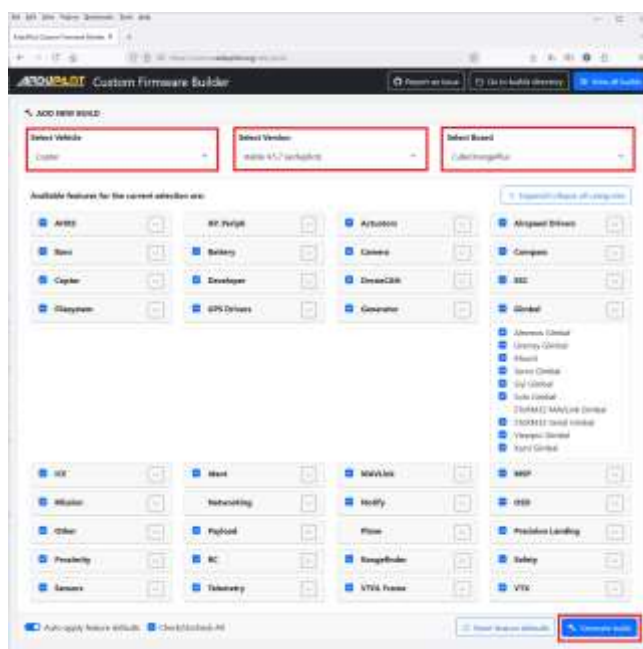


Рис. 1.5. Конфігурація управління роботом-збирачем яєць

Після цього вибирають функції, які необхідно включити до прошивки

- функції за замовчуванням для транспортного засобу будуть вибрані автоматично;

- деякі функції залежать від інших функцій, тому, коли функція вибрана, всі її залежності будуть вибрані автоматично, але якщо функцію пізніше скасувати, залежності не скасуватимуться автоматично;

- за умови вибору набору функцій, які не властиві платі, процес подальшого конфігурування буде призупинено.

Основними етапами є:

- натискання кнопки «Згенерувати», яке зумовить перенаправлення на головну сторінку і появу журналу створення щойно надісланого вами запиту. Після завершення збірки артефакт збірки буде завантажений автоматично. Ви також можете завантажити його вручну, натиснувши кнопку «Завантажити» поруч із вашим запитом на збірку в таблиці списку збірок. Кнопка буде активна лише після успішної збірки.

- розпакуйте завантажений файл збірки. Розпаковані файли міститимуть файл прошивки .arj разом з іншими файлами.

- використайте систему контролю рівня сигналу (GCS), щоб встановити файл .arj на автопілот. Якщо буде використано Планувальник місій, відкрийте «Встановлення прошивки» та натисніть посилання «Завантажити користувацьку прошивку».

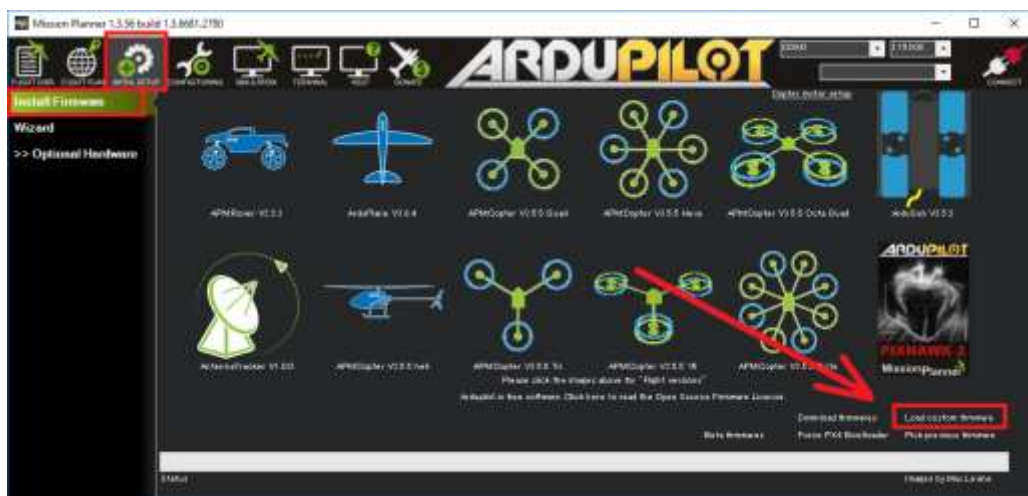


Рис. 1.6. Планувальник місій робота (для розглянутого випадку - переміщення за заданим маршрутом)

1.4. Вплив вібрацій на технічні системи роботів збирачів яєць

Вибір маршруту та часу роботи є важливим фактором оцінювання типів і параметрів двигунів для двох найпоширеніших застосувань: систем приводів та виконавчих механізмів.

Вібрації мобільних роботів – це механічні коливання, що виникають через нерівності дорожнього покриття, дисбаланс двигунів або роботи навісного обладнання. Вони спричиняють збої навігації, поломки кріплень та погіршують точність маніпуляторів.

- двигуни та трансмісія: дисбаланс роторів, знос підшипників.
- зовнішнє середовище: пересічена місцевість, стики підлоги, перешкоди.
- мікровібрації: робота вібромоторів для базового переміщення (наприклад, у вібророботів із зубної щітки).

Проблеми та наслідки

- для систем технічного зору: Тремтіння камер змазує кадри та заважає алгоритмам обробки зображень.

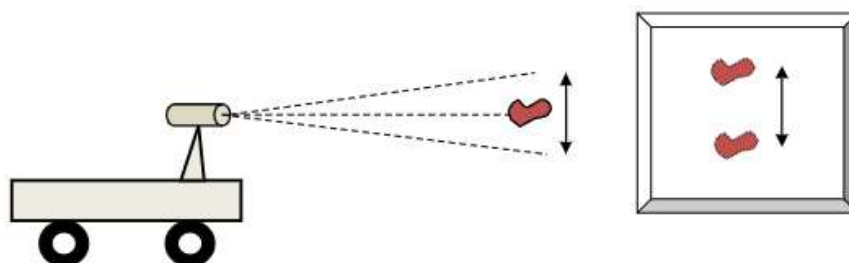


Рис. 1.7. Зміщення зображення об'єкта на умовному екрані а рахунок вертикальних коливань платформи

- для електроніки: ослаблення гвинтів, тріщини в пайці, пошкодження акумуляторів .
- для маніпуляцій: залишкові коливання заважають точному позиціонуванню захоплювачів

Методи боротьби та гасіння

- **віброізоляція:** Встановлення чутливих елементів на пружинні опори або демпфери із Sylomer .

- алгоритмічна компенсація: Застосування профілів руху (наприклад, алгоритми Disney Research), що згладжують ривки.
- вібродіагностика: Регулярний аналіз прискорень та амплітуд для запобігання поломкам.

Для стандартної оцінки технічного стану складових частин машин використовуються програми: "Спектр", "Управління базою даних", "Паспорт" та "Графіка". З їхньою допомогою можна проводити аналіз вузькосмугових спектрів віброшвидкості та віброприскорення, записаних аналізаторами-складальниками даних; створювати та зберігати базу даних контрольованих агрегатів; проводити оцінку технічного стану, а також прогнозування залишкового ресурсу за контрольованими параметрами.

Програма «Спектр» призначена для аналізу вузькосмугових спектрів віброшвидкості та віброприскорення, записаних за допомогою аналізаторів вібрації-збирачів даних. В даний час програма працює з наступними збирачами даних: 2900 та 2800 (Larson & Davis); «Топаз» та «Кварц» («Діамех», м. Москва); "АС-3200" (ІТЦ "Вібродіагностика", м. Сєвєродонецьк), але може бути адаптована і під інші аналізатори.

Програма містить дані щодо різних об'єктів контролю: модель агрегату, складові; точки контролю вібрації; кількість робочих коліс та кількість їх лопатей, кількість зубчастих коліс та кількість їх зубів; частота обертання ротора складової частини об'єкта; код підшипника (для підшипників кочення).

Аналіз спектрів віброшвидкості (рис. 1) та віброприскорення (рис. 2) проводиться шляхом визначення інтенсивності основних віброакустичних джерел (авторське свідоцтво № 1659761, пріоритет 6 квітня 1987 р. та патент України № 13540) При цьому на спектрах проводиться виділення різними кольорами певних віброакустичних джерел, таких як гармоніки оборотної частоти, субгармоніки, полутонні частоти, гармоніки лопаткових і зубцевих частот, різні екстремуми спектра (не пов'язані з частотою обертання), частоти, що збуджуються підшипниками кочення (основні і пов'язані).

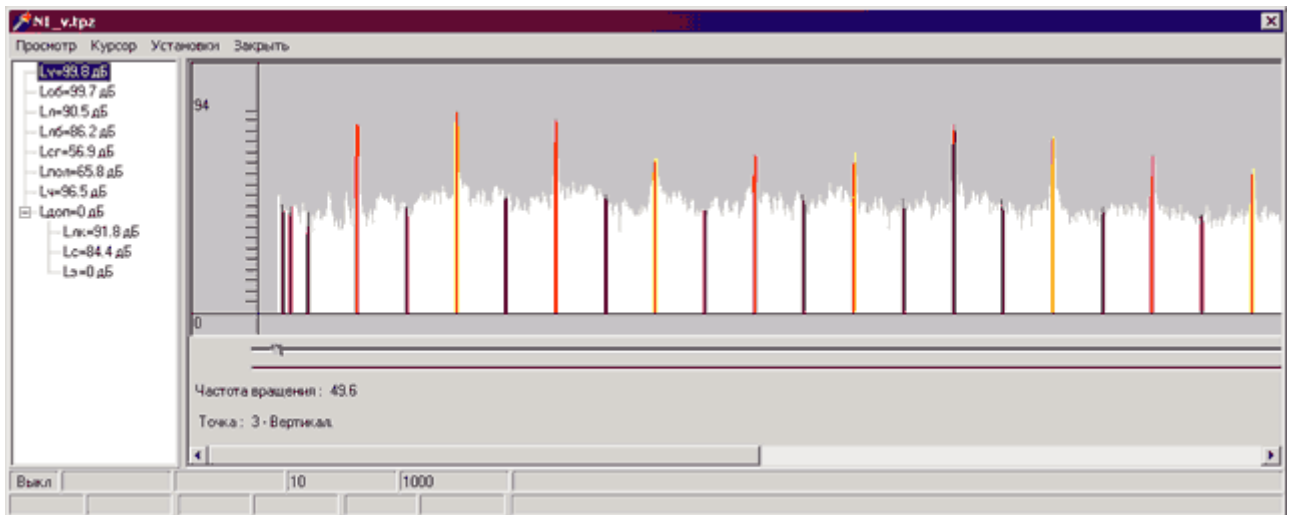


Рис. 1.8. Аналіз спектру віброшвидкості

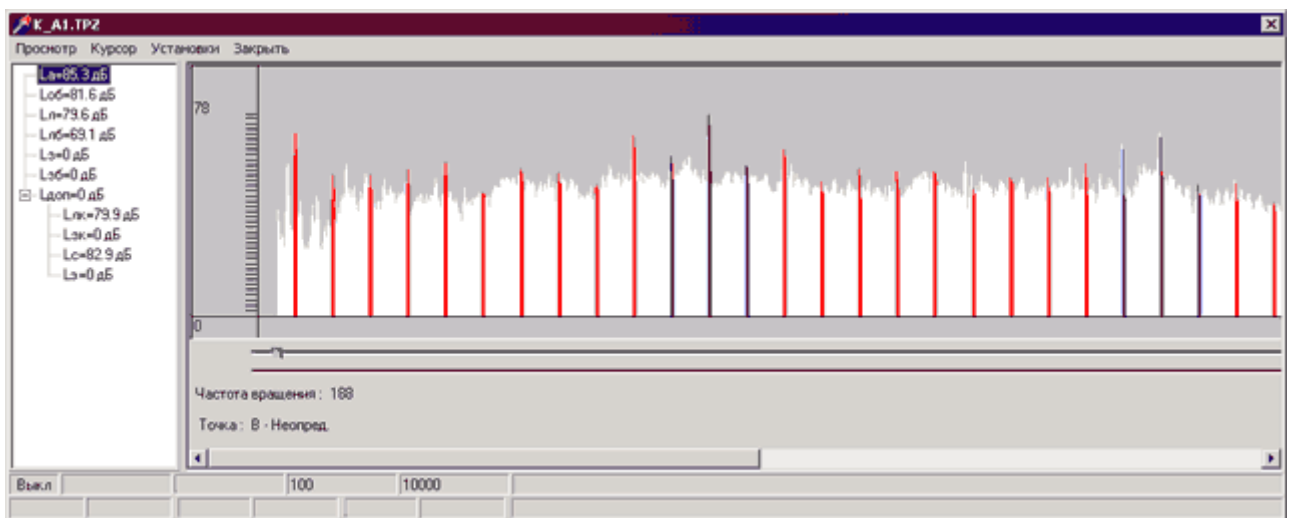


Рис. 1.9. Аналіз спектру віброприскорення

У програмі реалізовані різні функції для поглибленого аналізу спектрів, а саме:

- керований курсор з автоматичним визначенням найменування, рівня та частоти окремих віброакустичних джерел;
- створення зведених таблиць (а також окремих - таблиць гармонік, екстремумів, лопаткових та зубцевих, підшипникових частот) за результатами аналізу всіх віброакустичних джерел, по всіх точках контролю складової частини об'єкта (табл. 1 та табл. 2);
- можливість аналізу будь-якого частотного діапазону (верхню та нижню межу частоти можна встановити незалежно від їх значення, встановлених на аналізаторі-збирачі даних);

- можливість виділення різного рівня (щодо загального рівня спектру) вузькосмугових та широкосмугових локальних екстремумів;
- можливість відображення інформації (на спектрі та таблицях) в різних одиницях вимірювання: лінійні або логарифмічні.

Стандарти вібрації для систем акумуляторних батарей у національних та міжнародних контекстах пов'язані, так і різні. Багато з цих стандартів отримані з ISO 12405 та SAE J2380, але умови випробувань (такі як діапазон частот та рівень випробувань) та вимоги до зразків різняться між ними.

Порівняння основних параметрів кожного стандарту показано у Таблиці 1.

Таблиця 1 Порівняння стандартів випробувань на вібрацію

Standards	Vibration type	Frequency range (Hz)	Test magnitude (g)	Test time (h)	SOC requirements
SAE J2380	Random	10-190	Z:1.9(0.75)/1.9(0.95) G_{rms} Y:1.5(0.4)/1.5(0.75) G_{rms} X:1.5(0.4)/1.5(0.75) G_{rms}	Z:16.2/10.95 Y:38.18/13.58 X:38.18/13.58	Z:100%(20%) Y:60% X:60%
UN 38.3	Sweep-frequency	7-200	7-18:1 18-50(18-25):0.8mm 50-200(25-200):8(2)	Z:3 Y:3 X:3	100%
ISO 12405	Random	5-200	Z:1.44 G_{rms} Y:1.23(0.95) G_{rms} X:0.96 G_{rms}	Z:21 Y:21 X:21	50%
ECE R100-02	Sweep-frequency	7-50	7-18:1 18-30:1-0.2 30-50:0.2	Z:3	>50%
GB/T 31467.3-2015	Random	5-200	Z:1.44 G_{rms} Y:1.23(0.95) G_{rms} X:0.96 G_{rms}	Z:21 Y:21 X:21	100%
GB/T 31467.3-2015的1号修改单	Sweep-frequency	7-50	7-18:1 18-30:1-0.2 30-50:0.2	Z:3	100%
GB 38031	Random	5-200	Z:0.73(0.64) G_{rms} Y:0.57(0.45) G_{rms} X:0.52(0.50) G_{rms}	Z:12 Y:12 X:12	>50%
	fixed-frequency	20(24)	Z:1.5(1.5) Y:1.5(1.0) X:2.0(1.0)	Z:2(1) Y:2(1) X:2(1)	

СЕК R100-02 - сучасний стандарт, який використовується для європейської сертифікації нових енергетичних транспортних засобів. Стандарт визначає

випробування на вібрацію із частотою гойдання 7–50 Гц, а система акумуляторної батареї має завершити стандартний цикл заряду-розряду після вібрації із частотою гойдання.

GB/T 31467.3-2015 має важливе значення для стандартизації випробувань автомобільних акумуляторних систем у Китаї. Його вібраційний тест посиляється на ISO 12405 але коригує SOC до 100%. Стандарт визначає, що система акумуляторних батарей піддається 21 годині випадкової вібрації у напрямках X, Y та Z.

GB/T 31467.3-2015 Поправка №1 (2017). Вимоги до випробувань на вібрацію у GB/T 31467.3 досить суворі, з низьким відсотком успішного проходження. Хоча компанії можуть відповідати вимогам стандарту за рахунок удосконалення продукції, це часто призводить до надмірної міцності конструкції та збільшення витрат, що суперечить принципу полегшення конструкції транспортних засобів. Великий обсяг даних випробувань реальних транспортних засобів також показує, що реальні навантаження вібраційні відносно невеликі. Тому в 2017 році вимоги до вібраційних випробувань GB/T 31467.3 були переглянуті в Поправці № 1 з посиланням на ECE R100-02, яка встановлює 3-годинне випробування із частотою, що змінюється, у вертикальному напрямку для систем силових батарей.

GB 38031 - це перший у Китаї національний обов'язковий стандарт у галузі автомобільних силових батарей. Він замінить GB/T 31467.3, стандартизуючи вимоги до випробувань автомобільних силових батарей. У стандарті зазначено, що вібраційні випробування повинні бути не нижче 50% рівня заряду батареї або системи, а навантаження при вібраційному випробуванні залежить від типу транспортного засобу. Випробування включає випадкову вібрацію і вібрацію з фіксованою частотою. Спектральна щільність потужності випадкової вібрації ґрунтується на великому обсязі фактичних даних вимірювань, отриманих на різних моделях транспортних засобів в умовах експлуатації, що наближає її до реальних умов навантаження нових енергетичних автомобілів у Китаї.

Порівняно з GB/T 31467.3 та його поправкою № 1, вібраційні випробування у GB 38031 є більш обґрунтованими.

2. ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

2.1. Нові рішення (патенти) з проєктування роботів для збирання яєць

У патенті CN212032223U (КНР) описано конструктивні особливості інспекційного робота, що містить набір датчиків для визначення фізіологічної поведінки птаха, зокрема тепловізор і звуковий датчик.

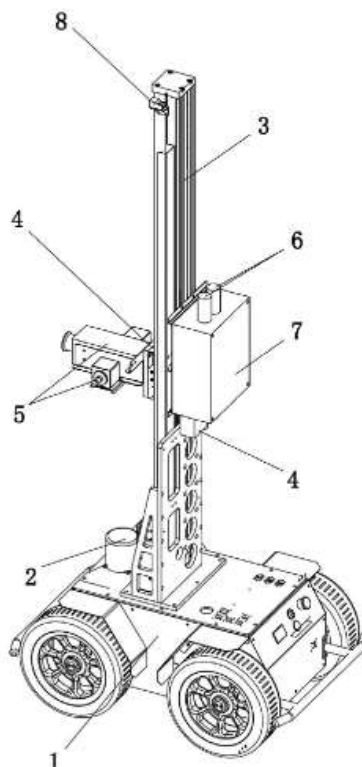


Рис. 2.1. Робот для інспекції худоби та пташників та його інспекційна система, патент CN212032223U (КНР):

1 - корпус; 2 - кроковий двигун; 3 - ковзна рейка; 4 - підйомний ковзаючий механізм; 5 - перший сенсорний елемент; 6 - другий сенсорний елемент; 7 - термінал для збирання даних від давачів; 8 - верхній обмежувач.

Другий набір датчиків збирає інформацію про навколишнє середовище, зокрема про температуру та вологість, а також про газовий стан.

У японському патенті JP2021078447A описано систему управління, здатну шукати та збирати мертвих птахів у пташнику. Робот для пошуку/збору

рухається автономно, і коли сенсорна камера виявляє мертву птицю, механізм збирає її для транспортування до пункту збору.

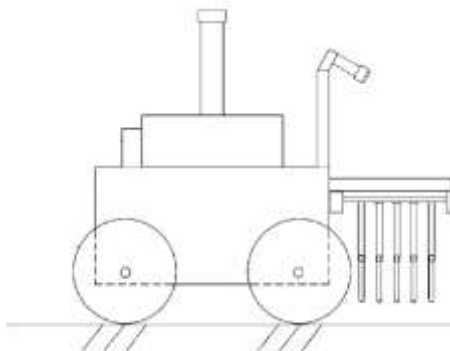


Рис. 2.2. Пошуково-відновлювальний робот, патент JP2021078447A (Японія)

Робот має всі ведучі колеса, які мають окремі приводи, і забезпечують рухи вперед/назад/праворуч/ліворуч. Механізм очищення може відкриватися та закриватися вліво та вправо за допомогою двигуна, який приводить у рух ліву та праву вилку за допомогою вбудованого акумулятора, і сигналу виявлення від сенсорної камери.

Відомий робот-дезінфектор має датчики, які контролюють рівень аміаку, пилю, температуру та вологість. Робот вертається до зарядної станції, якщо заряд акумулятора низький, патент CN113198040A (КНР).

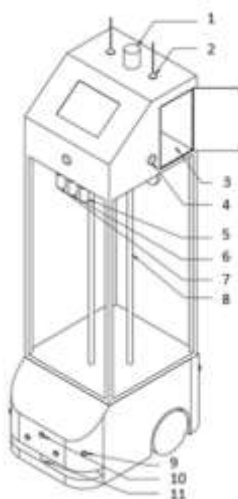


Рис. 2.3. Робот- дезінфектор, патент CN113198040A (КНР): 1 - модуль відеомоніторингу; 2 - модуль бездротового зв'язку; 3 - бочка для зберігання дезінфікуючого засобу; 4 - модуль інфрачервоного зондування; 5 - датчик моніторингу концентрації озону; 6 - датчик моніторингу газоподібного аміаку; 7

- датчик температури та вологості навколишнього середовища; 8 - модуль вивільнення ультрафіолетового озону; 9 - модуль запобігання зіткненням в інфрачервоному діапазоні; 10 - модуль запобігання зіткненням з радіолокатором; 11 - модуль позиціонування; 12 - модуль взаємодії людини з комп'ютером; 13 - голосовий модуль; 14 - пробовідбірник повітряних мікроорганізмів; 15 - модуль підйому розпилення; 16 - модуль дезінфекційного розпилення; 17 - модуль автономного заряджання.

У патенті CN102350693A (КНР) розроблено конструкцію робота, в якому ПЗС-камера є давачем, комп'ютер - керуючим пристроєм, а каретка, циліндри, кроковий двигун та присоска - виконавчими механізмами. Під час переміщення робота, ПЗС-камера безперервно снимає сцену та передає зображення на ПК, який визначає наявність та місцезнаходження яєць шляхом аналізу зображення, а потім управляє переміщенням візка 1, керує обертанням крокового двигуна 3 та відповідними рухами циліндра І2 та циліндра ІІ4 (де циліндр І2 керує вертикальним рухом, циліндр ІІ4 - горизонтальним рухом).

За умови виявлення яйця вакуумний захоплювач 5 позиціонується таким чином, щоб наблизити його до яйця та підняти його. Дисплей 7 використовують для оцінювання кількості піднятих яєць, рис. 1.4.

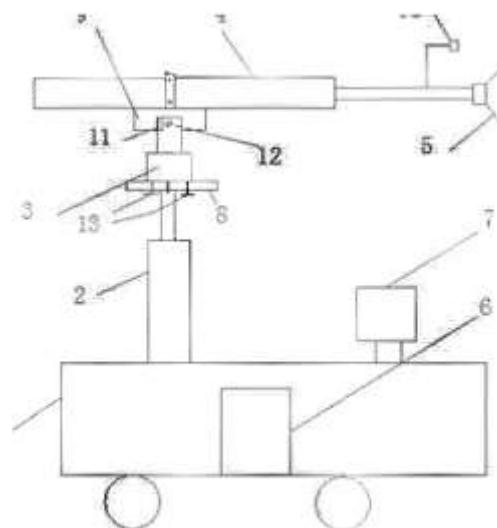


Рис. 2.4. Схема структурного принципу робота для збору яєць, патент CN102350693A:

1 - візок; 2 - циліндр і; 3 - кроковий двигун; 4 - циліндр ii; 5 - присоска; 6 - комп'ютер; 7 - дисплей; 8 - кріпильна пластина; 9 - кріпильна пластина; 10 - CCD-камера; 11 - фіксуєчий штифт; 12 - штифт; 13 - гвинт.

Відома ще одна подібна конструкція робота для збирання яєць курей вільного виходу (патент CN104085683A, КНР). Вони мають значні переваги, оскільки пристрій використовує CCD-датчик для точного визначення положення яйця, а датчик положення забезпечує уникнення перешкоди під час переміщення до яйця. Піднімання яйця також здійснюють за допомогою пневматичного захоплювача. На кінці маніпулятора встановлено телескопічний циліндр, що забезпечує певну гнучкість під час роботи.

Є конструкція робота для збирання яєць курей вільного виходу, патент CN104085683A (КНР). Це робот має кілька пневматичних двигунів, зокрема, перший пневматичний двигун встановлено під опорою, щоб маніпулятор міг гнучко обертатися. Інший пневматичний двигун встановлено над опорою, щоб маніпулятор міг складати підняті яйця в контейнер для зберігання. Коли датчик виявляє, що контейнер для зберігання заповнений, робот переміщується на склад за програмою, що контролює процес збирання та транспортування яєць.

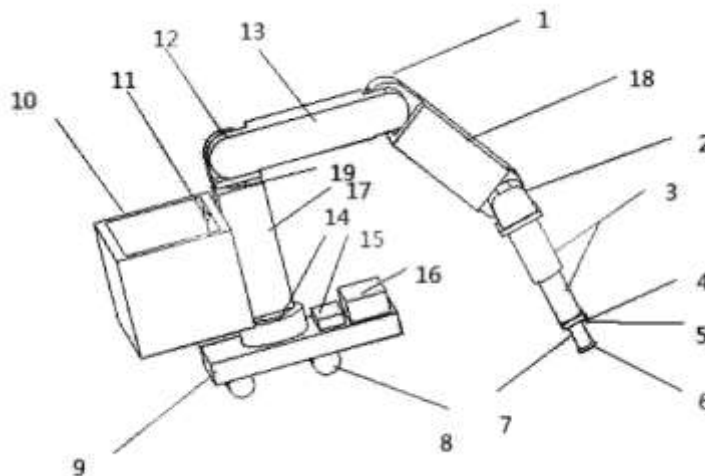


Рис. 2.5. Конструкція робота для збирання яєць курей вільного виходу, патент CN104085683A (КНР):

Відомий маніпуляторний пристрій для збирання яєць, що містить візок, основу, колону, горизонтальний циліндр, вузол захоплення, інтелектуальний датчик моніторингу.

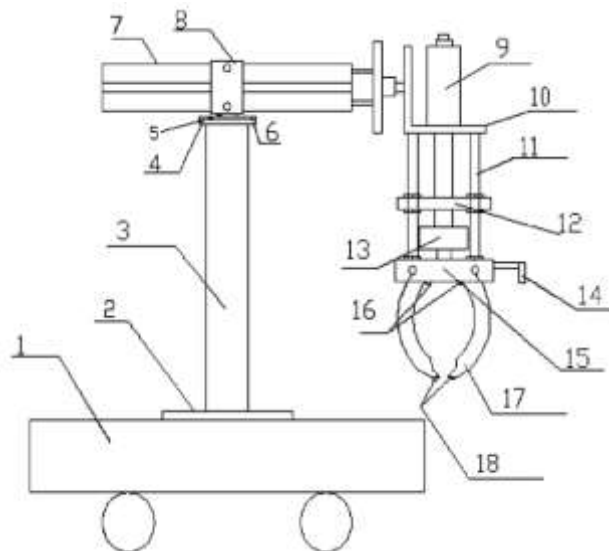


Рис. 2.6. Маніпуляторний пристрій для збирання яєць: 1 - візок, 2 - основа, 3 - колона, 4 - плата інтерфейсу колони, 5 - плата інтерфейсу двигуна, 6 - оправка підшипника, 7 - горизонтальний циліндр, 8 - велика вигнута пластина, 9 - вертикальний циліндр, 10 - мала згинальна пластина, 11 - напрямна планка, 12 - плата інтерфейсу захоплювача, 13 - вертикальний циліндр (керування відкриттям та закриттям), 14 - ультразвуковий датчик, 15 - вузол захоплювача, 16 - інтелектуальний давач моніторингу бульбашок, 17 - кігті захоплювача.

Аналогічно, у патенті CN109169394A описано робота для збирання яєць, у якого камера розташована на маніпуляторі робота. А у патентах CN108501008A

та CN108501009A дається опис робота для збору яєць, який має механічний маніпулятор та захоплювач, з'єднаний з маніпулятором, причому захоплювач містить камери для визначення наявності та положення яйця. Робот для збору яєць CN211910115U містить контейнер для зберігання яєць спіральної форми.

У патенті США № 2005217589A1 описано самохідну роботизовану систему для перемішування птиці в пташнику. Робот має датчики для підтримки мінімальної відстані від таких конструкцій, як навколишні стіни. Датчик удару вимикає робота, якщо він зустрічає перешкоду на своєму шляху. Потім робот чекає, поки фермер усуне перешкоду та перезапустить робота, щоб знову повернутися до робочого режиму.

Відомий інтелектуальний візок для збору яєць на гусеничному ході на основі візуальної SLAM, патент CN216452652U (КНР), рис. 2.7.

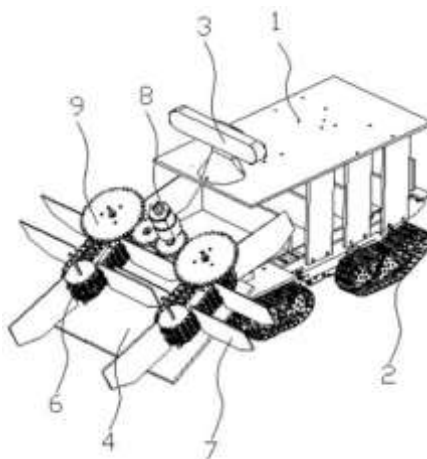


Рис. 2.7. Інтелектуальний візок для збору яєць на гусеничному ході на основі візуальної SLAM, патент CN216452652U (КНР): 1 – рама; 2 - гусеничне колесо; - 3 - цифрова камера; 4 - верхня пластина пристрою збирання яєць; 5 – нижня пластина пристрою збирання яєць; 6 – ланцюг; 7 – жлшка для збирання яєць.

Технологія візуального слемінгу на основі GPS має високу точність навігації, дозволяє уникати перешкод і планувати шлях, що дає змогу краще виконувати навігаційну роботу на фермі. Цифрова камера, розташована на верхній частині візка для збору яєць, створює кольорові та глибинні зображення; інформація про зображення передається на Raspberry Pi,

розташоване на візку для збору яєць через USB-кабель; технологія слемінгу використовується в Raspberry Pi для обробки зображення, розрахунку положення візка для збору яєць та створення карти навколишнього середовища, яка використовується для навігації.

Відомий робот, рис. 2.8 для збирання врожаю помідорів CN116982478B (КНР), що містить кузов транспортного засобу, модуль керування, механізм зберігання та роботизовану руку. Як механізм зберігання, так і роботизована рука встановлені на кузові транспортного засобу. Модуль керування, також встановлений на кузові транспортного засобу, використовується для збору інформації про помідори та керування роботизованою рукою під час збирання врожаю, рис. 2.8.

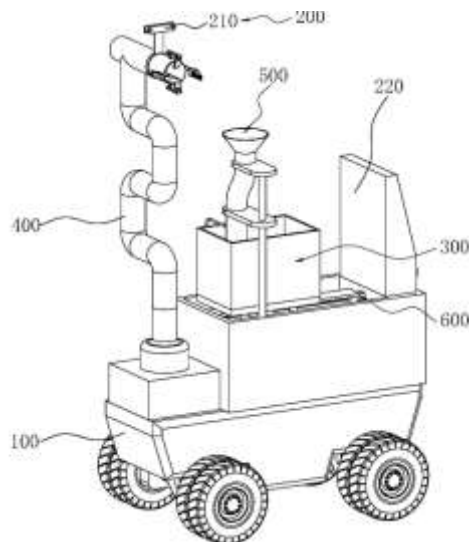


Рис. 2.8. Робот для збирання помідорів, CN116982478B:

1 - кузов транспортного засобу; 2- модуль керування; 3 - механізм зберігання; 4 – маніпулятор; 5 - буферний механізм.

Коли робот-збирач розпочинає збирання помідорів, візок переміщує його в зону збирання. Модуль керування роботом збирає інформацію про помідори та керує роботизованою рукою для їх збору, а потім поміщає зібрані помідори в буферну трубу. Помідори потрапляють у буферну трубу та стикаються з амортизуючими прокладками, а далі рухаються вздовж буферної труби до механізму зберігання. Буферний механізм зменшує вільне падіння помідорів і їх

зіткнення, тим самим знижуючи ймовірність пошкодження та подовжуючи термін їх зберігання. Водночас це скорочує час, який роботизована рука витрачає на розміщення помідорів, тим самим підвищуючи ефективність збирання помідорів.

Відома самохідна машина збирання ананасів, CN111802066A, оснащена пристроєм машинного зору, механізмом руху, пневматичним механізмом, механізмом збирання, механізмом транспортування та блоком керування. Інформація, отримана механізмом машинного зору обробляється через блок керування, а тривимірна координатна інформація про ананас, що збирається, буде синхронізована з механізмом руху. Рух механізму збирання контролюється таким чином, щоб він набув положення, у якому він готовий до затискання ананаса; пневматичний механізм призначений для затискання або відпускання .

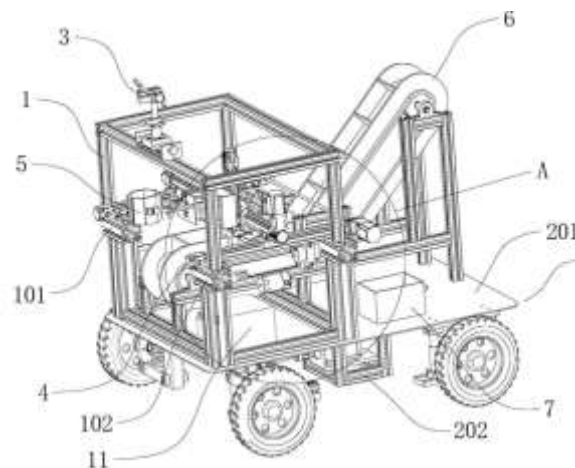


Рис. 2.9. Самохідна машина для збирання ананасів, з застосуванням машинного зору, CN111802066A

Відома машина для збирання ківі, патент CN207694194U, що ґрунтується на візуальному сприйнятті та структурі CoreXY. Ця машина містить 7 частин, зокрема кінцевий ефектор, механічний маніпулятор для збирання, гофровану трубу, систему візуального сприйняття, опорну нижню пластину, контейнер для збору фруктів та колісне шасі, і використовується для ідентифікації, позиціонування, збору врожаю, навігації та просування ківі. Зображення, отримане системою візуального сприйняття, використовується як основа для

навігаційного маршруту та позиціонування фруктів. Контролер використовують для навігації та просування колісного шасі, а також для керування рухом механічного маніпулятора під час збирання. Кінцевий ефектор використовується для збору ківі. Після збору ківі вони потрапляють до контейнера для фруктів через гофровану трубу. Пристрій має характеристики нової конструкції та високої ефективності збирання врожаю.

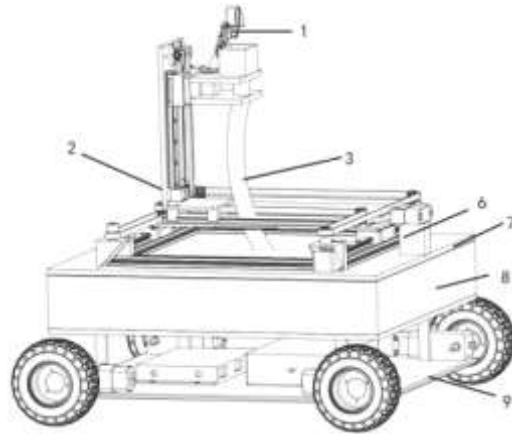


Рис. 2.10 Машина для збирання ківі, що ґрунтується на візуальному сприйнятті та структурі CoreXY, патент CN207694194U (КНР): 1-кінцевий ефектор; 2-робот-маніпулятор для збору фруктів; 3-сильфон; 6-система візуального сприйняття; 7-опорна плита; 8-ящик для збору фруктів; 9-колісне шасі.

Відомо конструкцію роботи для збирання яєць (див. патент CN107691276A, КНР), що містить ультразвуковий давач, який використовують виключно для виявлення яєць. У патенті WO2018156569A1 розроблено пристрій для захоплення яйця, що містить кілька видовжених елементів, що відходять від корпусу та переплітаються між собою, утворюючи оболонку, здатну утримувати яйце. У патенті CN109877857A (КНР) описано пневматичний пристрій для захоплення яєць.

У патенті ES2891401A1 подано опис робота-очисника, призначеного для використання в гідроочищенні та дезінфекції пташників за відсутності птахів.

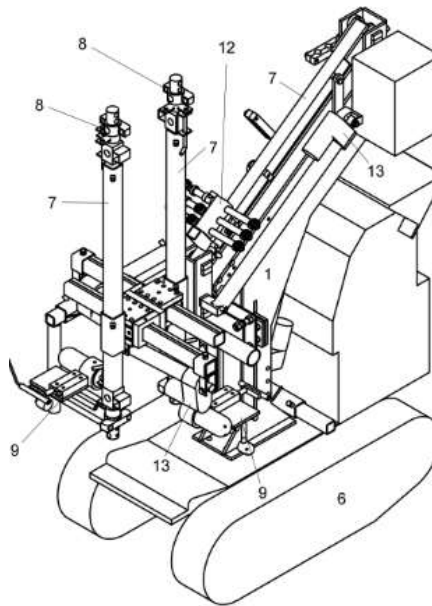


Рис. 2.11. Робот для очищення пташних приміщень, патент ES2891401A1

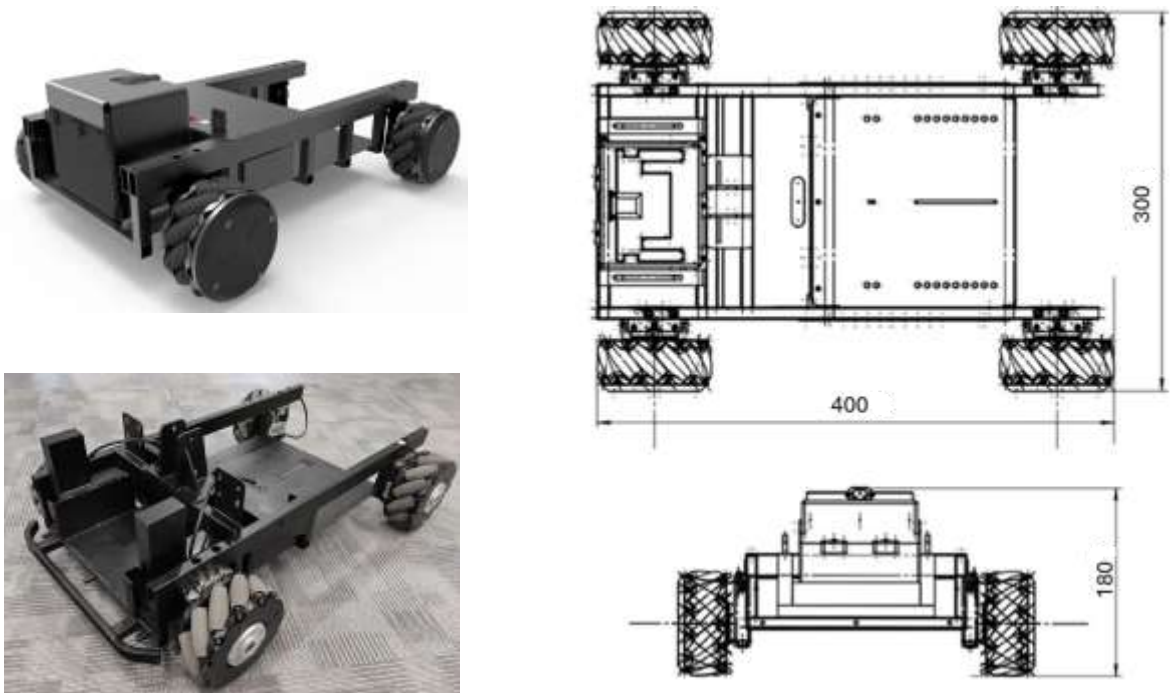
У патенті JP2016202184A (Японія) робот-вимірювач навколишнього середовища має датчики температури, вологості, вуглекислого газу та аміаку. Інфрачервона камера може виявляти підвищення температури тіла курчат і допомагати виявити будь-яку хвору курку.

У патенті US11019805B2 (США) розкрито алгоритм робототехнічного спостереження для розрізнення здорових птахів від хворих і мертвих. Робот, що рухається через пташник, вимірює умови навколишнього середовища, такі як температура навколишнього середовища та окремих курей, вологість, концентрація вуглекислого газу та аміаку, потік повітря та/або освітленість пташника та/або запис звуку в пташнику. Щоб видалити поранених/мертвих птахів, використовують механічний маніпулятор для їх збирання.

2.2. Аналіз систем управління мобільними роботами

Мобільні роботи - збирачі яєць є невід'ємною частиною утримання курей вільного виходу. Як модульна, так і високо налаштовувана, ця технологія може бути адаптована до дедалі ширшого спектру інженерних та виробничих застосувань. Постачальники MAP просувають технологію автоматизації до того, щоб вона значною мірою стала «підключив і працюй» завдяки наявності готових

постаментів фіксованої висоти або телескопічних колон, хоча конструкція індивідуальної основи або постаменту залишається поширеною на сучасному ринку. Якщо проектувати корпус з урахуванням впливу силових факторів роботи, отримані параметри мають бути обґрунтованими, але цей аспект не є предметом розгляду цієї кваліфікаційної роботи.



<https://www.roboc-tech.com/mobile-robot-components/omnidirectional-mobile-platform/autonomous-robot-platform.html>

Технічні параметри / габаритне креслення

№ з/п	Назва параметру	Значення
1	Режим водіння	Колісний привід / Меканум
3	Маса	25 кг
5	Швидкість	2 м/с
6	Довжина	400 мм
7	Ширина	300 мм
8	Висота	180 мм
9	Матеріал рами	Поликарбонат
10	Акумулятор	20 Аг, 24 В

11	Нахили	10 градусів
----	--------	-------------

Методика розрахунку двигуна для мобільного робота зводиться до визначення двох основних параметрів: **необхідного моменту, що крутить** (щоб зрушити робота з місця і подолати тертя) і **необхідної частоти обертання** (для забезпечення потрібної швидкості руху).

Основний алгоритм розрахунку включає 5 послідовних кроків:

1. Визначення вихідних даних

Для початку необхідно зібрати базові фізичні параметри робота:

- M - повна маса робота (включаючи шасі, двигуни, акумулятори та корисне навантаження), кг.
- V_{max} - Максимальна бажана швидкість робота, м / с.
- R - радіус провідного колеса, м.
- g - прискорення вільного падіння (9.81 м/с²).
- μ - коефіцієнт тертя кочення колеса по поверхні (наприклад, для гуми бетону $\approx 0.01-0.02$, по килиму ≈ 0.05).
- α_{max} - максимальний кут підйому (в градусах), який має долати робот.

2. Розрахунок сили тяги та крутного моменту

Щоб робот почав рух, двигун повинен подолати силу опору коченню і силу тяжкості під час підйому. Загальна сила опору F_{sum} розраховується за формулою:

$$F_{sum} = M \cdot g \cdot (\mu \cdot \cos \alpha + \sin \alpha)$$

Якщо робот рухається тільки по рівній горизонтальній поверхні, формула спрощується:

$$F_{sum} = M \cdot g \cdot \mu$$

Для одного ведучого колеса крутний момент T_{req} дорівнює:

$$T_{req} = F_{sum} \cdot R / k \cdot \eta$$

де k - загальна кількість провідних коліс (для диференціальної платформи їх зазвичай 2);

η - ККД редуктора або трансмісії (зазвичай приймають за 0.8 - 0.9).

3. Розрахунок динамічного моменту (для розгону)

У реальних умовах двигун витрачає значну частину потужності на розгін (подолання інерції). Динамічний момент (T_{acc}) розраховується так:

$$T_{acc} = M \cdot a \cdot R / k \cdot \eta$$

- де a - необхідне прискорення (наприклад, для виходу на максимальну швидкість за 2 секунди, $a = V_{max}/2$, м/с²).

Підсумковий номінальний момент двигуна вибирається із запасом:

$$T_{nom} = (T_{req} + T_{acc}) \cdot k_{зан},$$

де коефіцієнт запасу $k_{зан}$ зазвичай береться в межах 1.5 – 2.0, щоб двигун не працював на межі можливостей).

4. Розрахунок швидкості обертання (про/хв)

Обороти двигуна на колесі (n_{wheel}) залежать від необхідної лінійної швидкості та радіуса колеса:

$$n_{wheel} = V_{max} \cdot 60 / 2\pi R,$$

Оскільки більшість двигунів (наприклад, крокові або DC-мотори) працюють на високих обертах з низьким моментом, вам знадобиться редуктор. Передатне число редуктора (i) обчислюється як відношення максимальних обертів двигуна до необхідних обертів колеса:

$$i = n_{motor_max} / n_{wheel}$$

5. Розрахунок потужності

Механічна потужність (P), потрібна від одного двигуна, визначається за формулою:

$$P = T_{nom} \cdot n_{wheel} / 9550$$

(де P - потужність у кВт; T_{nom} у Н·м; n_{wheel} в об / хв).

Розрахунок за описаним алгоритмом проведено у Mathcad:

Розрахунок параметрів двигуна мобільного робота для збирання яєць

$$M := 25 \text{ kg}$$

$$k := 2$$

$$V_{max} := 2 \frac{m}{s}$$

$$\eta := 0.9$$

$$R := 0.25 \text{ m}$$

$$\mu := 0.07$$

$$\alpha_{max} := 10^\circ$$

$$F_{sum} := M \cdot g \cdot (\mu \cdot \cos(\alpha) + \sin(\alpha)) \quad F_{sum1} := M \cdot g \cdot \mu$$

$$F_{sum} = 18.95 \text{ N}$$

$$F_{sum1} = 17.162 \text{ N}$$

$$T_{req} := \frac{F_{sum} \cdot R}{k \cdot \eta}$$

$$T_{req} = 2.632 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$a := \frac{V_{max}}{2 \text{ s}}$$

$$T_{acc} := \frac{M \cdot a \cdot R}{k \cdot \eta}$$

$$a = 1 \frac{m}{s^2}$$

$$T_{acc} = 3.472 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$k_{acc} := 2$$

$$T_{nom} := (T_{req} + T_{acc}) \cdot k_{acc}$$

$$T_{nom} = 12.208 \text{ N} \cdot \text{m}$$

$$n_{wheel} := \frac{V_{max} \cdot 60}{2 \cdot \pi \cdot R}$$

$$n_{wheel} = 76.394 \frac{1}{s}$$

$$n_{motor \ max} := \frac{3000}{s}$$

$$i := \frac{n_{motor \ max}}{n_{wheel}}$$

$$i = 39.27$$

$$P := \frac{T_{nom} \cdot n_{wheel}}{60}$$

$$P = 15.544 \text{ W}$$

Система керування забезпечує керування рухом і експлуатацією робота-збирача яєць, а також адаптивний контроль шасі та силової установки, з урахуванням взаємодії транспортної системи з навколишнім середовищем.

Складність системи керування визначається складністю завдання, яке потрібно вирішити, ступенем невизначеності зовнішнього середовища та

необхідним рівнем автономії робота.

Саме розробка систем керування визначає розвиток робототехнічних систем загалом і, зокрема, стала основою для класифікації МР за поколіннями. Загалом, система управління містить три рівні управління: верхній (стратегічний), середній (тактичний) і нижній (виконавчий), які мають вбудовані механізми адаптації, що працюють на основі оцінки якості реалізації планів різних рівнів у реальному фізичному світі. Організація взаємодії між рівнями управління має дозволяти приймати рішення на рівні, який наразі містить найнадійнішу інформацію, без передачі контролю на вищий рівень.

Використання МР є більш ефективним, коли останній застосовується як частина роботизованого комплексу, утвореного групою мобільних роботів, засобами доставки, електропостачання та обслуговування, центральним пунктом керування та обробки даних.

Мобільні роботи універсальні і тому можуть використовуватися в різних сферах. При використанні робототехніки у військових та надзвичайних ситуаціях технічні «можливості» роботів, їхня придатність до суворих і екстремальних умов, а також здатність захищати технічний персонал мають першочергове значення. При використанні роботів у цивільній промисловості найбільше значення приділяється їхній економічній ефективності.

Часто система керування МР розробляється окремо для кожної моделі, що вимагає додаткових витрат часу та фінансових витрат на розробку, введення в експлуатацію та введення в експлуатацію. Розробка універсальної системи керування МР може бути зручним і прибутковим рішенням, але також вимагає значної роботи над універсалізацією фізичних і програмних компонентів.

Основні вимоги до системи управління МР такі:

- можливість керувати великою кількістю різних приводів (приводи маніпуляторів, тягових приводів, приводів спеціальних систем);

- можливість отримувати дані з широкого спектра сенсорів, як цифрових, так і аналогових;
- здатність виконувати функції нижчого рівня контролю (уникнення падінь, зіткнень, розв'язання надзвичайних ситуацій тощо);
- здатність працювати в широкому діапазоні температур і середовищ;
- розширеність як у напрямку збільшення кількості підключеного обладнання, так і підвищення рівня управління;

Систему керування можна реалізувати на одній платі, але зручніше розділити її на окремі модулі.

Наразі відомо кілька варіантів систем керування (або шлюзових контролерів у термінології виробників) у суспільному надбанні: на основі ПЛК і ПК, такі як Intel® NUC, Raspberry Pi, а зв'язування мікроконтролерів типу OR-AVR-M128 є обов'язковим, а також можливість без використання потужних комп'ютерів у вигляді наборів спеціалізованих пристроїв на базі мікроконтролерів.

PLC (програмований логічний контролер). Програмований контролер - це електронний компонент промислового контролера, спеціалізованого (комп'ютеризованого) пристрою, який використовується для автоматизації технологічних процесів. Основним способом довготривалої експлуатації ПЛК, часто в несприятливих умовах навколишнього середовища, є його автономне використання без серйозного обслуговування та практично без втручання людини. Він має широкий спектр модулів для максимальної адаптації до вимог завдання, яке потрібно розв'язати.

Перевага полягає у вільному розширенні функціональності під час модернізації системи керування. Висока потужність завдяки великій кількості вбудованих функцій.

Мікрокомп'ютер Raspberry Pi 2 Model B v1.2 сконструйований на базі однокристальної системи (SoC) Broadcom BCM2837 із чотирма 64-бітними ядрами ARMv8-A Cortex-A53 із тактовою частотою 900 МГц.

Попередня модель Raspberry Pi 2 **Model B Version 1.1** була одноплатним

комп'ютером другого покоління на базі однокристальної системи Broadcom BCM2836 з чотирма ядрами ARMv7 Cortex-A7 частотою 900 МГц і GPU Broadcom VideoCore IV 250 ГГц, що вдвічі більше, ніж у . Зовні Raspberry Pi 2 Model B мало чим відрізняється від Raspberry Pi 1 Model B+. У ній змінився лише процесор (був BCM2835, став BCM2836) та обсяг пам'яті.

Як і в попередніх моделях, у **Raspberry Pi 2 Model B v1.2** залишаються колишніми:

- повнорозмірний HDMI,
- 10/100 Ethernet,
- порти дисплея MIPI DSI (Display Serial Interface) та відеокамери 15-pin MIPI CSI-2 (Camera Serial Interface),
- комбінований 3.5 мм аудіо роз'єм та композитне відео,
- двох контактний роз'єм RUN для скидання,
- 40-піновий роз'єм GPIO, серед яких є інтерфейси SPI, I²C, UART.

Характеристики:

- Чіп: Broadcom BCM2836 Arm7 з 64-бітним чотирядерним процесором, що працює на частоті 900 МГц
- CPU: Енергоефективний процесор програм ARMv8-A Cortex-A53
- GPU: Broadcom VideoCore IV 250 МГц. Забезпечує Open GL ES 2.0, апаратне прискорення OpenVG та високопродуктивне декодування H.264 1080p30. Продуктивність до 1Gpixel/s, 1.5Gtexel/s або 24GFLOP з фільтрацією текстур та інфраструктурою DMA.
- Пам'ять: SDRAM LPDDR2 1ГБ
- Операційна система: завантаження з Micro SD-картки, що працює під керуванням операційної системи Linux. Raspberry Pi працює переважно на операційних системах, заснованих на ядрі Linux: Android, Arch Linux ARM, OpenSUSE, Gentoo Linux, Raspbian, CentOS, Fedora, Ubuntu MATE, Kali Linux, Ubuntu Core. Також можливе встановлення Windows 10 IOT (безкоштовна ОС), RISC OS Pi, FreeBSD, NetBSD та ін.
- Живлення: роз'єм Micro-USB 5 V/2 A або USB-C (Power Delivery).

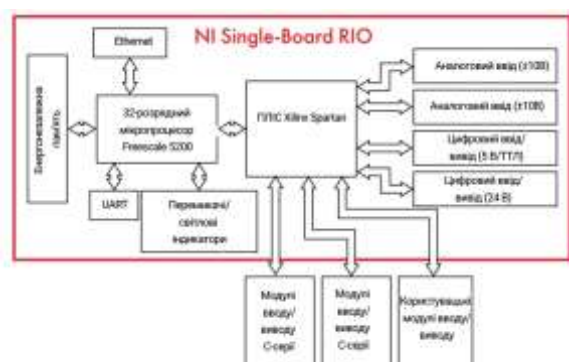
Рекомендується використовувати джерело живлення зі струмом щонайменше 2 А.

- Ethernet: 1 порт RJ45 10/100 BaseT
- Відеовихід: HDMI (версії 1.3 та 1.4), композитний RCA (PAL та NTSC).
Потокова передача та перегляд відео високої чіткості з роздільною здатністю 1080P
- Комбінований 4-полюсний роз'єм для підключення стереофонічного аудіовиходу та композитного відеовиходу
- Аудіо: багатоканальне HD-аудіо через HDMI, стерео через роз'єм 3,5 мм
- Інтерфейси: 4 порти USB 40-контактний роз'єм GPIO. GPIO на 100% сумісний із платами моделей B+ та A+. Перші 26 контактів ідентичні платам Model A і Model B, щоб забезпечити повну зворотну сумісність на всіх платах, повнорозмірний порт HDMI комбінований аудіороз'єм 3,5 мм і композитне відео 1х інтерфейс камери (CSI) для модулів камери Raspberry Pi, 1х інтерфейс дисплея (DSI) для дисплея;
- Розширене керування живленням: можливість подавати на USB-порт до 1,2 А, що дозволяє підключати більше енергоємних USB-пристроїв безпосередньо до Raspberry Pi. (Для цієї функції потрібен блок живлення micro USB на 2 А)



Рис. 2.12. Raspberry Pi 2 Модель В одноплатний ПК

Контролер NI cRIO-908x побудований на базі процесора Intel Core i7, ПЛІС Xilinx Spartan-6 та операційної системи Windows Embedded Standard 7 (WES7) для налаштування та програмування програм моніторингу та управління, які вимагають виняткової продуктивності процесорів Intel та міцності CompactR. Нова плата збору даних NI sbRIO-9605/06 з компактними розмірами, що не перевищують 102,87 мм на 96,52 мм, може легко налаштовуватися під будь-які масові та OEM додатки, а також має кращі характеристики вводу/виводу сигналів порівняно зі своїми попередниками.



а



б

Рис. 2.13. Система керування на основі одноплатного контролера RIO:
а – структурна схема; б - загальний вигляд.

Такі системи призначені для високопродуктивного промислового керування.

Ключові переваги платформи

Гетерогенна архітектура: Поєднання процесора (наприклад, NI Linux Real-Time або VxWorks) та мікросхеми FPGA. Це дозволяє виконувати як логічне керування верхнього рівня, так і надшвидку апаратну обробку сигналів.

Детермінізм: Забезпечує точне виконання критичних до часу операцій та реакцію системи в реальному часі.

Гнучкість вводу/виводу: Прямий доступ до цифрових ліній та можливість розширення через спеціальні мезонінні модулі (RMC) або модулі серії C.

Промислове виконання: Робота у широкому діапазоні та стійкість до вібрацій.

Рівень реального часу (RT Processor): Здійснює загальне керування технологічним процесом, математичні обчислення, протоколювання даних, архівацію та зв'язок із зовнішніми інтерфейсами.

Рівень FPGA: Базовий рівень, який забезпечує генерування спеціальних апаратних схем, обробку сигналів на рівні мікросекунд, керування захистом та генерацію керуючих імпульсів (наприклад, для ШІМ-регулювання).

Периферія та інтерфейси: Вбудовані порти Ethernet, CAN, USB, RS-232, RS-485.

Регульований чотиреканальний сервоконтролер (Vevor / аналоги): Дозволяє керувати 4 сервоприводами.

- 4 комплекти контактів для підключення стандартних 3-контактних сервоприводів
- Ефективний понижуючий перетворювач TPS54A24
- Регульована вихідна напруга: 5 В / 6 В / 7,4 В (шляхом прорізання доріжок)
- Безперервний струм: 5 А, піковий струм: 10 А
- Вибрана область маркування напруги (VREG)
- Вбудовані датчики температури та стану живлення (живлення справне)
- Повністю зібраний, пайка не потрібна
- Повністю сумісний з платформою Pimoroni Yukon
- Розміри: 24 × 20 × 13,9 мм

Модуль є досить універсальним: його можна використовувати для керування малими роботами, а також для обробки сигналів від датчиків або як контролер для керування сервомашинами у складних системах.

Arduino Mega 2560 - це пристрій на основі мікроконтролера ATmega2560 (datasheet). До його складу входить усе необхідне для зручної роботи з мікроконтролером: 54 цифрових входи/виходи (з яких 15 можуть використовуватися як ШІМ-виходи), 16 аналогових входів, 4 UART (апаратні приймачі для реалізації послідовних інтерфейсів), кварцовий резонатор на 16 МГц, кнопка скидання. Для початку роботи з пристроєм

досить просто подати живлення від AC/DC-адаптера або батарейки або підключити його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю. Arduino Mega сумісний з більшістю плат розширення, розроблених для Arduino Duemilanove та Diecimila.



Рис. 2.13. Mega 2560 - Arduino Mega

Mega 2560 відрізняється від усіх попередніх плат тим, що для перетворення інтерфейсів USB-UART у ньому замість мікросхеми FTDI використовується мікроконтролер ATmega16U2 (ATmega8U2 у версіях плати R1 та R2).

Було вирішено використовувати цю плату для керування сенсорами.

Порівняння акумуляторів

Фактори, які враховано під час вибору акумуляторів, включають не лише енергомісткість, а й довговічність, зручність обслуговування, витрати на обслуговування, швидкість саморозрядження та експлуатаційні витрати. Відомо, що нікель-кадмієві (NiCd) акумулятори набули статусу еталону для порівняння з іншими акумуляторами, тому у бакалаврській роботі порівнювали і альтернативні хімічні системи саме з ними:

- NiCd акумулятори є високоефективними, але мають дуже низьку енергоємність. NiCd підходить для застосувань, що вимагають тривалого терміну служби, високої продуктивності та економічної ефективності. Основні застосування включають радіоприймачі, медичне обладнання, професійні камери та електроінструменти. NiCd містить токсичні метали та шкідливі для навколишнього середовища речовини;

NiMH акумулятори мають вищу енергоємність, ніж NiCd, але мають меншу кількість циклів «зарядження-розрядження». NiMH не містить токсичних металів. Вони підходять для смартфонів і ноутбуків.

- Свинцево-кислотні акумулятори є найекономічнішим варіантом для підвищення потужності транспортних засобів, якщо ці транспортні засоби не мають високих вимог до потужності. Свинцево-кислотні акумулятори є найкращим вибором для медичних пристроїв, інвалідних візків, аварійного освітлення та джерел безперебійного живлення (ДБЖ) та роботів-збирачів яєць;

- Літій-іонні акумулятори – це тип акумуляторів, який розвивається найшвидше. Літій-іонні акумулятори підходять для застосувань, що вимагають високої енергоємності, але менш жорстких вимог до безпеки. Загалом, літій-іонні акумулятори потужніші за звичайні, але потребують спеціальних заходів безпеки. Літій-іонні акумулятори використовуються в ноутбуках і мобільних телефонах.

Літій-іонні полімерні акумулятори схожі на літій-іонні акумулятори, але вони використовують надтонку структуру та спрощену упаковку. Їхнє основне застосування – у смартфонах.

Для даної бакалаврської роботи було обрано 12В свинцево-кислотний акумулятор у кількості 2 частин, які при послідовному підключенні дають нам необхідні 24В для живлення РТО. 12В свинцево-кислотні акумулятори - класичні, надійні та доступні джерела живлення, що складаються з шести послідовно з'єднаних банок по 2В. Вони поділяються на традиційні (потребуючі обслуговування) і герметичні (AGM, GEL) , які не виділяють газ і не вимагають доливу води.

Переваги вибраного AGM акумулятора:

Ресурс циклів заряд/розряд у AGM-акумулятора – 400* (близько 5 років, залежно від умов експлуатації).

Акумулятор можна встановлювати у житлових приміщеннях. Відсутність вільного рідкого електроліту між пластинами та повна герметичність корпусу виключають витікання кислоти й гарантують відсутність шкідливих випарів.

Ці акумулятори за практичного використання показують стабільні результати під час роботи в умовах низьких ($-20\text{ }^{\circ}\text{C}$) та високих ($+50\text{ }^{\circ}\text{C}$) температур навколишнього середовища.

В експлуатації свинцево-кислотний акумулятор AGM здатний витримувати тривалий, циклічний, глибокий розряд і розряд за високих струмів.

Акумулятори цього типу мають низькі показники саморозряду під час тривалого зберігання та надійний самозахист від перерозряду й надмірного заряду.

Розробка технічної підтримки RTO

Схема є одним із найважливіших компонентів мобільного робота і є «комплексом», що складається з окремих модулів. На рис. 2.14 показано приклади систем із замкнутими та розімкненими контурами управління. У першому випадку контролер двигуна отримує зворотний зв'язок і регулює швидкість відповідно до умов ландшафту. У другому випадку контролер не отримує жодного зворотного зв'язку, і швидкість пристрою знижується під час підйому.

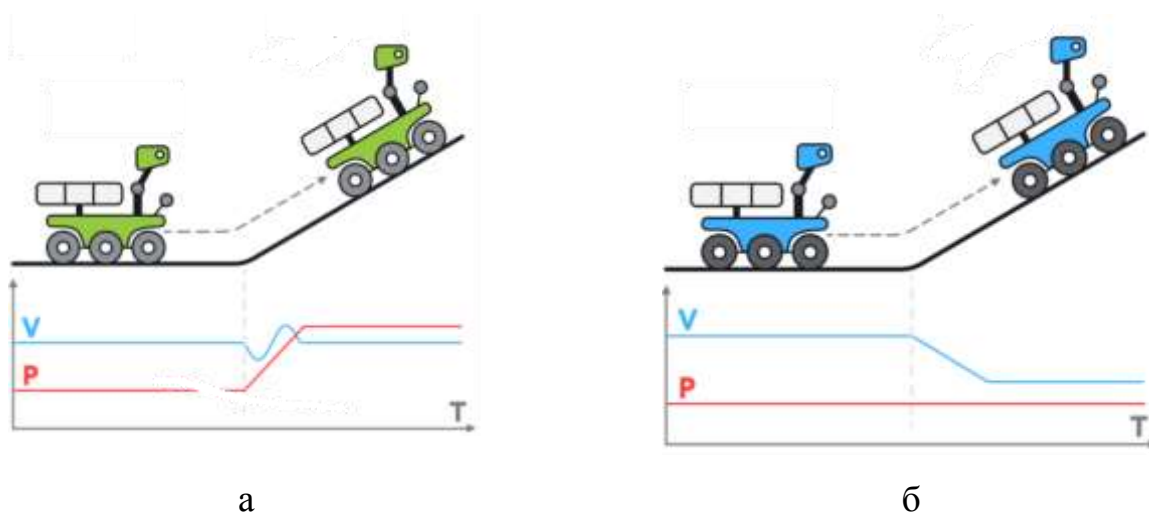


Рис. 2.14. Системи управління зі зворотним зв'язком та без нього. На графіку V – швидкість ровера, P – потужність, що подається на двигун,

MovPower - це серія високопродуктивних підсилювачів потужності, спеціально розроблених для роботи в системах керування на основі постійних комутаторних двигунів, хоча їх також можна використовувати для керування

іншими типами навантажень: наприклад, для контролю інтенсивності ламп або прожекторів, що працюють на постійному струмі. Вони особливо підходять для використання на роботизованих платформах, оскільки дозволяють синхронно керувати різними приводами без затримок.

MovPower використовується у легкій промисловості, освітній, військовій, наземній та підводній роботах, медицині, аніматроніці, мехатроніці тощо.

Для управління приводами необхідний підсилювач потужності, оскільки:

1) Рівень струму, що надходить з порту мікроконтролера (близько 200 мА), занадто малий для роботи приводів;

2) Напруга живлення електроприводів набагато більша за ту, яка може забезпечити мікроконтролер;

3) Електропривод є індуктивним навантаженням, отже, безпосередньо підключати мікроконтролер до приводу не можна через можливі індуктивні викиди. Як підсилювач потужності приймемо двонаправлений драйвер двигунів постійного струму MovPower Lite компанії Movicom.

Основними перевагами драйвера є:

Робоча напруга: $5.5 \div 36$ В

Робочий струм: до 8 А

Піковий струм: до 30 А

Частота ШІМ (макс.): 20 кГц

Реверсивне керування

Захист від перевантаження за струмом та від перегріву.

Драйвер двигуна постійного струму з мікросхемою DRV8838 Pololu,, розроблений для гнучкого керування споживачем постійного струму до 3 ампер (короткочасний), і до 15 ампер при напрузі від 6 до 30 вольт.



Рис. 2.15. Драйвер двигуна постійного струму з мікросхемою DRV8838 Pololu

Модуль також забезпечує плавне регулювання вихідної потужності за робочого навантаження.

Драйвер 2A Mini. Цей драйвер не відрізняється за продуктивністю від інших драйверів L298N. Він також може керувати двома постійними двигунами (з підтримкою PWM) або одним кроковим двигуном. Однак він має одну незаперечну перевагу серед модулів L298N цього класу.

Технічні характеристики:

- драйвер L298N;
- можливість одночасно керувати двома постійними двигунами;
- робоча напруга від 5 до 35 В постійного струму;
- робочий вихідний струм на моторному каналі 2А;
- вісім діодів захисту від струму в напрямку — контролер двигуна;
- максимальне споживання електроенергії — 20 Вт. (при температурі $T = 75$
- температурний діапазон $-25\text{ }^{\circ}\text{C} \sim +130\text{ }^{\circ}\text{C}$;

можливість короткого замикання PWM до 5 вольт (зберігає два порти на контролері).



Рис. 2.16. L298N Motor Controller Module міні

2A Grove - I2C MotorDriver. Привід двигуна Grove I2C може безпосередньо керувати кроковим двигуном або двигуном постійного струму. Його серцем є двоканальний драйверний чіп Н-моста (L298P), який може обробляти струм до 2 А на канал, керований Atmel ATmega8L, який забезпечує зв'язок I2C, наприклад, з Arduino. Обидва двигуни можуть керуватися одночасно, маючи різну швидкість та напрямок. Він може живити два щіткових двигуни постійного струму або один 4-провідний двофазний кроковий двигун. Для живлення двигуна потрібне джерело живлення від 6 В до 15 В, а також вбудований регулятор напруги 5 В, який може жити шину I2C та Arduino (вибирається перемичкою). Всі лінії драйвера захищені діодами від зворотної електрорушійної напруги.

- Сумісний з Grove
- Інтерфейс I2C
- Регульована швидкість двигуна та напрямок обертання
- Змінна адреса ведомого пристрою апаратним забезпеченням

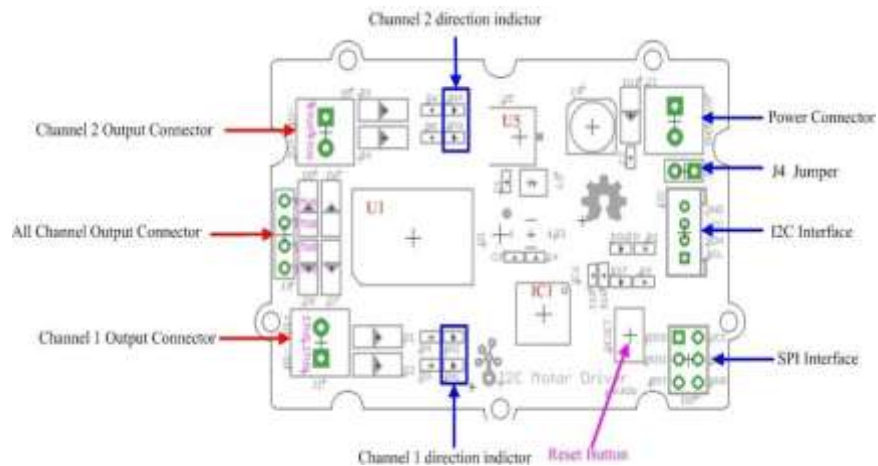


Рис. 2.17. 2A Grove - I2C Motor Driver

Модуль з 2-канальним драйвером двигуна постійного струму L298P. Дозволяє керувати двома двигунами постійного струму напругою від 6 до 12 В і струмом до 1 А на канал. Плата оснащена роз'ємом Grove, тому її можна використовувати з Base Shield V2 і розширенням Arduino. Модуль спілкується через інтерфейс I2C і живиться від 5 В. Повна документація модуля з прикладами використання доступна на сторінці продукту.



а



б

Рис. 2.18. Схема підключення 2AGrove - I2CMotorDriver

Встановлення

git clone https://github.com/Seeed-Studio/Grove_I2C_Motor_Driver_v1_3.git

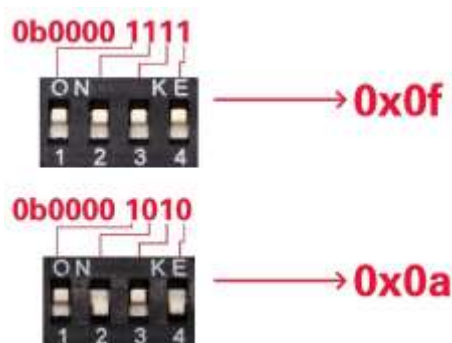
Використання

Просто скопіюйте папку Grove_I2C_Motor_Driver_v1_3 до вашої колекції бібліотек Arduino. Наприклад, arduino-1.6.12/libraries. Наступного разу, коли ви запуснете Arduino IDE, у вас буде нова опція в Sketch -> Include Library -> Grove_I2C_Motor_Driver_v1_3. Перегляньте включені приклади в

1. Встановіть адресу

Драйвер двигуна I2C V1.3

- Встановлення адреси за допомогою перемикача номера – це нова функція, додана до нового драйвера двигуна I2C.



- Потім залиште налаштування адреси в програмі такими ж, як і налаштування адреси на драйвері двигуна I2C. Адреса за замовчуванням у програмі — 0x0f.
- // default I2C address is 0x0f
- #define I2C_ADDRESS 0x0f
- void setup() {
- Motor.begin(I2C_ADDRESS);
- }

Примітка: Адреса за замовчуванням 0x0F для (L298). Адресу можна змінити за допомогою контактів адреси I2C на друкованій платі.

На драйвері двигуна I2C (L298) STM32

Адреса I2C за замовчуванням — 0x0f

Додайте перемичку на роз'єм адреси I2C, щоб змінити адресу

2. Привід 2 двигунів постійного струму

- Існує 5 функцій для керування двигунами постійного струму:
- // Set the speed of a motor, speed is equal to duty cycle here
- void speed(unsigned char motor_id, int _speed);
- // Stop one motor
- void stop(unsigned char motor_id);
- // Set the frequency of motor
- void frequency(unsigned int _frequency);

- // Set the timeout in ms
- void timeout(unsigned int _timeout);
- // Get the timed out status
- uint16_t gettimedout();

Функція speed() може керувати одним двигуном із потрібною вам швидкістю.

Швидкість колеса - це значення, яке обчислює енкадер. Синусоїдальний сигнал бере від енкадера, період якого залежить від швидкості обертання вала двигуна. За допомогою АЦП (аналогово-цифрового перетворювача) аналоговий сигнал перетворюється на послідовність цифрових значень. Енкадер оптичний інкрементний 400 імпульсів (E6B2-CWZ6C 400P/R – Omron), див. рис.



Рис. 2.19. Енкадер оптичний інкрементний 400 імпульсів (E6B2-CWZ6C 400P/R – Omron),

Опис: Енкадер оптичний інкрементний 400 імпульсів, робоча напруга: DC5-24V, максимальна механічна швидкість 6000 об/хв, частота: 100 kHz, 5 проводів, вихід: NPN відкритий колектор. VCC-коричневий, 0V-синій, А-чорний, В-білий, Z-помаранчевий; Кількість положень: 400

Вбудовані мережі (RS485/422, CAN, Ethernet)

Для передачі окремих модулів системи керування необхідно мати вбудовану мережу, через яку проходяться команди керування та дані для читання. Мережа має бути одночасно простою і багатофункціональною.

RS-485 (рекомендований стандарт 485 або EIA/TIA-485-A) є

рекомендованим стандартом для передачі даних через двопровідний напівдуплексний багатоточковий послідовний симетричний канал зв'язку. Спільний розвиток Альянсу електронних індустрій (EIA) та Асоціації телекомунікаційної індустрії (TIA).

Стабілізатор для камери

Стабілізатор для камери - незамінний інструмент для отримання стабільного зображення без тремтіння.



Рис. 2.20. Стабілізатор для камери

Сучасні 3-осьові гімбали нівелюють вібрації та випадкові рухи оператора, створюючи ефект повітряного руху камери.

Механічні та електронні стабілізатори

Класичні механічні стабілізатори (Steadicam) – системи з балансирним механізмом. Вони не потребують акумулятора та забезпечують органічний рух, але потребують тривалого навчання. Електронні гімбали працюють інакше: три безщіткові двигуни коригують положення камери в реальному часі на основі даних гіроскопа. Вони значно простіші в освоєнні.

Вибір стабілізатора по вантажопідйомності

Основний параметр – максимальне навантаження (payload). Для смартфонів та екшн-камер – до 300 г. Для бездзеркальних систем без об'єктиву – 1–2 кг. Повноцінний DSLR з важким об'єктивом вимагає гімбала з навантаженням 3-5

кг і більше.

Популярні бренди та моделі

- **DJI Ronin серія** - RS3, RS4, RS5 - лідери ринку професійних гімбалів з розумними режимами стабілізації.
- **Zhiyun Crane серія** - Crane 4, Crane M3 - доступні гімбали з широким функціоналом.
- **Moza серія** – цікаві рішення для професійних користувачів.

Перед увімкненням двигунів важливо правильно відбалансувати камеру на гімбалі. Погане балансування перевантажує мотори та погіршує стабілізацію. Більшість сучасних гімбалів оснащені інструкціями для правильного балансування.

Крім базової стабілізації, сучасні гімбали пропонують низку інтелектуальних режимів. Follow Mode - гімбал плавно слідує за рухами оператора по заданих осях, дозволяючи плавно вести камеру слідом за суб'єктом. Lock Mode — камера жорстко зафіксована в одному напрямку, незалежно від рухів оператора. Sport Follow Mode – прискорене реагування на рухи, що підходять для динамічної зйомки. POV Mode – всі осі вільні, створюючи ефект камери «від першої особи».

Розширені гімбали DJI RS підтримують AutoTrack — автоматичне відстеження вибраного об'єкта зйомки без участі оператора. Функція Time Lapse та Motion Lapse дозволяє програмувати плавні рухи камери для створення таймлапсів. Panorama автоматично знімає кілька кадрів для створення широкоформатного панорамного зображення.

Балансування гімбала: покрокове керівництво

Правильне балансування - запорука довгої роботи моторів та якісної стабілізації. Почніть з осі нахилу (Tilt): відпустіть фіксатор і відрегулюйте позицію камери вперед-назад так, щоб вона залишалася горизонтальною без участі двигуна. Потім вісь крена (Roll): відрегулюйте положення камери ліворуч-праворуч для горизонтального балансу. Нарешті, вісь панорамування (Pan): камера повинна залишатися нерухомою після повороту будь-якої сторони.

Після балансування увімкніть живлення – правильно збалансований гімбал практично не навантажує мотори.

3. СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

У середовищах без кліток або вільного виходу мобільні роботи та автономні мобільні роботи (AMR) патрулюють підлоги, щоб автоматично виявляти, збирати й сортувати яйця.

Робот використовує панорамну камеру з кутом огляду 360 градусів у поєднанні з алгоритмами глибокого навчання (наприклад, YOLOv8) для визначення місцезнаходження яєць на підлозі або в погано освітлених кутках. Роботизовані руки з м'якими захопленнями в силіконових рукавичках або спеціалізованими механізмами підмітання збирають яйця, не пошкоджуючи їх, і безпечно їх зберігають.

Дослідження в галузі сільськогосподарської робототехніки спираються на інтеграцію спеціальних систем машинного навчання з периферійними обчисленнями для досягнення аналізу в режимі реального часу безпосередньо в курнику

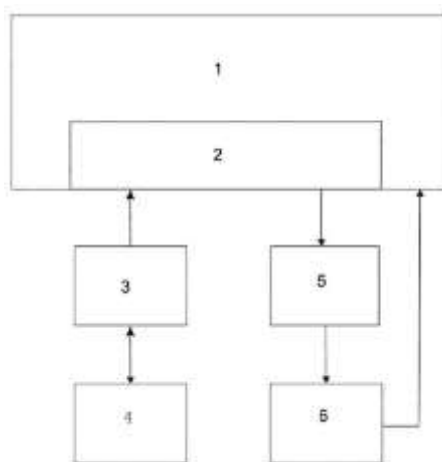


Рис. 3.1. Технічне рішення - система аналізу параметрів яєць птиці вільного виходу, що містить центр обробки даних хмарних обчислень, патент CN103793842A (КНР): 1 - сервер бази даних; 2 - колектор 3 - RFID-мітка; 4 - пристрій для друку - 5 та двовимірний код.

Центр обробки даних хмарних обчислень 1 підключений до колектора 3 через мережу. Колектор 3 розташований у пташиному гнізді та має

ідентифікаційний номер. RFID-мітка 4 розташована на нозі птиці. Центр обробки даних хмарних обчислень 1 включає сервер бази даних 2, сервер бази даних 2 підключений до пристрою друку 5 через мережу, і пристрій друку 5 може друкувати двовимірну кодову етикетку 6 для зчитування інформації про несучість птиці, а двовимірна кодова етикетка 6 прикріплена до тіла яйця.

Винахід пропонує спосіб відстеження яєць птиці вільного виходу, що включає такі етапи:

- колектор 3 розміщується в гнізді, RFID-мітка 4 розміщується на нозі птиці, а основна інформація, така як записи про годівлю птиці та епідемічні записи, записується в центрі обробки даних хмарних обчислень 1;

- після того, як збирач 3 у гнізді збере дані, самоідентифікаційний номер та інформація про кількість птиці надсилаються до центру обробки даних хмарних обчислень 1;

- центр обробки даних хмарних обчислень 1 підраховує дані птиці про яйця, що відкладаються в гнізді, та підтверджує стан відкладання яєць ;

- друкуючий пристрій 5 друкує двовимірну кодову етикетку 6;

- коли яйце зібрано, персонал носить надруковану двовимірну кодову етикетку 6 та наклеює її на тіло яйця в гнізді відповідно до номера зав'язі, надрукованого на етикетці;

- споживач отримує веб-посилання на інформацію про виробництво яєць птиці , скануючи QR-код на етикетці 6.

Винахід використовує повну систему збору інформації для точного відстеження кожного яйця та отримання інформації про порядок яєць. Відомі різні пристрої для отримання динамічних зображень яєць, зокрема такий, що складається з пристрою для транспортування яєць - 1, високошвидкісної промислової камери - 3, перемикача ближнього інфрачервоного випромінювання - 4 та перемикача положення ближнього інфрачервоного випромінювання - 5, плати керування реле - 6, джерела світла - 7, темної камери - 8 та комп'ютера - 9.

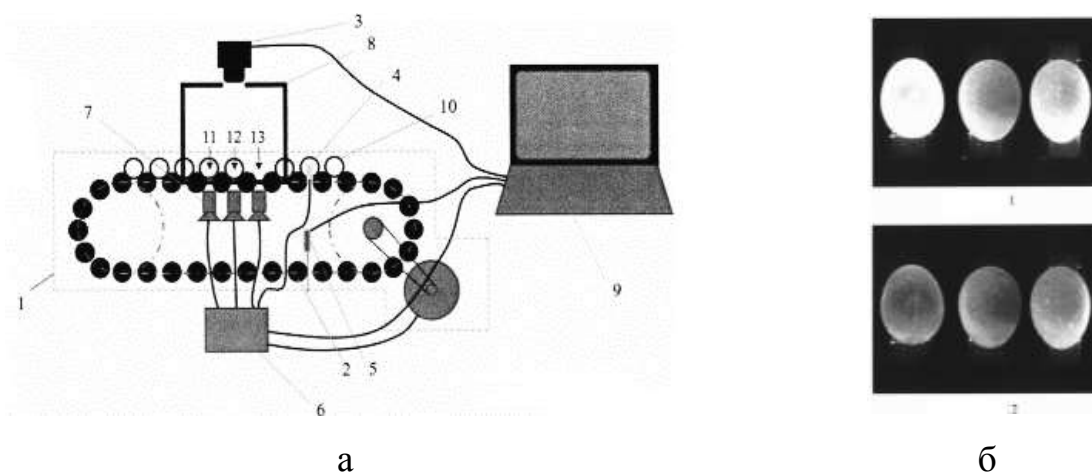


Рис. 3.2. Новий пристрій для отримання динамічних зображень яєць, патент CN110455806A (КНР).

Основною ідеєю цього винаходу було створення пристрою для динамічного отримання зображень яєць, який може стабільно одержувати зображення, автоматично керувати джерелами світла та налаштовувати параметри зйомки. Пристрій для отримання динамічних зображень яєць вартий уваги тим, що: під час отримання зображення:

- спочатку використовують дві високошвидкісні промислові камери для безперервного отримання двох зображень протягом 50 мс, і ці два зображення включають світло, що проходить від трьох яєць за двох параметрів зйомки.

- потім з цих двох зображень вирізають три яйця;

- зображення області яйця зі значенням сірого ближче до 100 на кожному зображенні яйця, зібраному за двома параметрами зйомки, зберігають на комп'ютері для подальшого аналізу.

Відомий новий метод просвічування яєць для визначення стану яєць між 13-м та 17-м днями інкубації, зокрема для точної ідентифікації живого чи мертвого стану яйця.

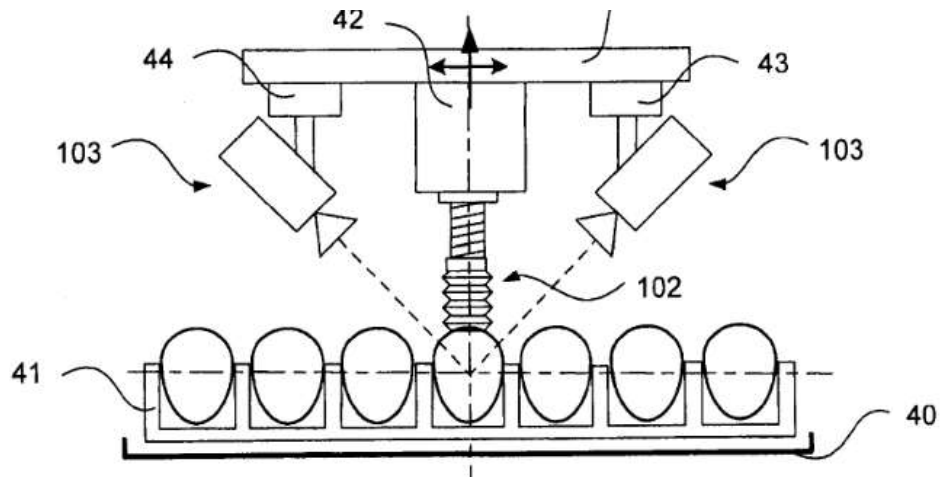


Рис. 3.4. Новий пристрій для отримання динамічних зображень яєць, патент JP2001027612A (Японія).

Відповідно до особливості варіанту реалізації винаходу за патентом JP2001027612A (Японія), технологія одержання зображень яєць для подальшого кількісного аналізу містить такі кроки:

- освітлення верхньої частини яйця, розташованого таким чином, що його вісь обертання є практично вертикальною, бажано за допомогою джерела світла, розташованого над яйцем, близько до осі обертання яйця;
- отримання зображення верхньої частини освітленого яйця камерою, розташованою поблизу джерела світла, причому вісь отримання зображення камери утворює кут від 0 до 70° з опорною площиною, перпендикулярною до осі обертання яйця та розташованою посередині відстані між тупим та гострим кінцями яйця.

Метод також дозволяє оцінити наявність або відсутності повітряної комірки у верхній частині яйця та, таким чином, визначити його свіжість. Також метод дозволяє виявляти пошкодження на шкаралупі яйця, зокрема тріснуту шкаралупу.

Відомий захищений патентом США апарат для перевірки яєць, здатний розпізнавати дефектні яйця з високою точністю, рис. 3.5.

Метод реалізовано таким чином: світильник - 1, що містить синій світлодіод та камеру - 3, розташований над яйцем, а світильник - 4, що складається з червоного та жовтого світлодіодів, розташований під яйцем.

Зображення поверхні шкаралупи яйця, сфотографоване синім світлом світильника 1, обробляється процесором обробки зображень 6, і розмір забруднень оцінюють за їх контуром.

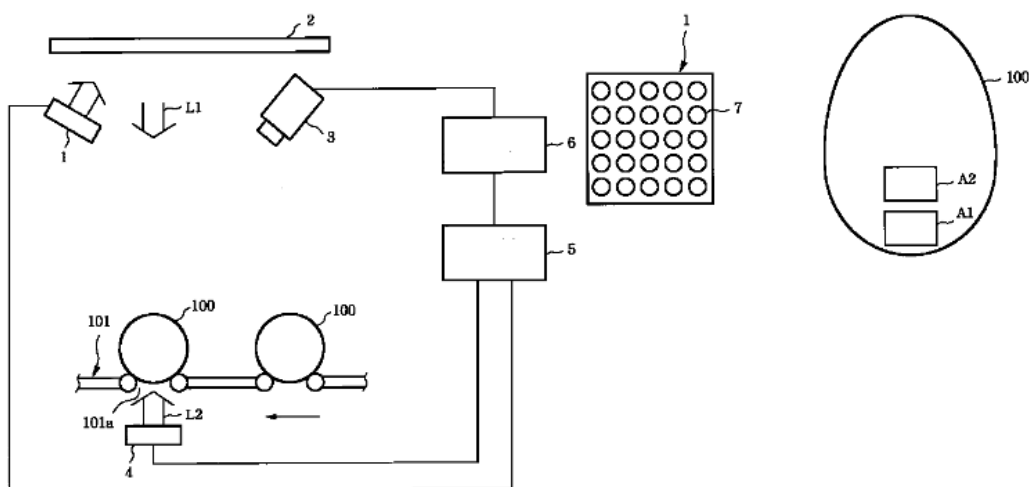


Рис. 3.5. Нова схема для отримання динамічних зображень яєць, патент US7505149B2 (США).

Одержують проекційне зображення поверхні шкаралупи яйця в момент, коли червоний світлодіод світиться, і товщину шкаралупи яйця перевіряють за різницею яскравості між торцевою та центральною частинами яйця. Проекційне зображення піддають обробці для отримання контуру тріщини або смуги. Тріснуте та смугасте яйце розрізняють за ступенем паралелізації. Свіжість яйця змінюється відповідно до яскравості зображення, знятого шляхом увімкнення світильника 1.

Розуміння поля зору камери машинного зору

Поле зору (FOV) камери машинного зору визначає фізичну область, яку система візуалізації може захопити й проаналізувати. Цей критичний параметр визначає розмір об'єктів, які можна перевірити, досяжний рівень деталізації та вимоги до позиціонування автоматизованих систем. Розуміння того, як розраховувати та оптимізувати FOV, є важливим для розробки ефективних застосувань машинного зору.

Основні принципи оптики

Розрахунки поля зору камери машинного зору базуються на подібних трикутниках та базовій геометричній оптиці. Зв'язок між розміром сенсора,

фокусною відстанню та робочою відстанню створює ефект лінійного масштабування, який визначає фізичну область, що охоплюється камерою.

Machine Vision Camera Field of View (FOV) Calculator

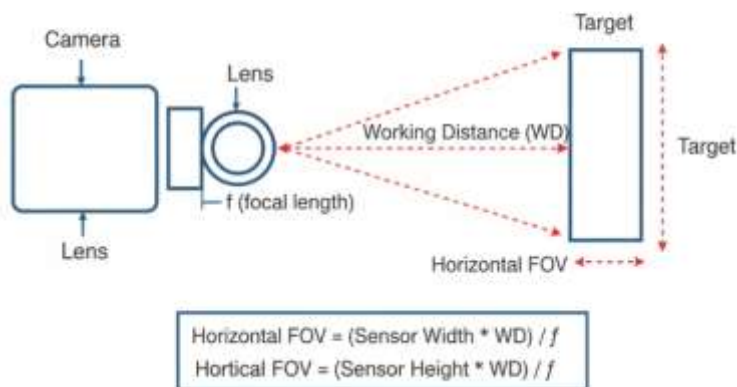


Рис. 3.6. Схема розрахунку камери

Калькулятор поля зору камери використовує фундаментальний принцип, згідно з яким відношення розміру сенсора до фокусної відстані дорівнює відношенню поля зору до робочої відстані. Це співвідношення впливає з геометричних властивостей системи об'єктивів і залишається постійним незалежно від конкретної камери або комбінації об'єктивів.

Коли світло від об'єкта проходить через об'єктив, воно формує зображення на сенсори. Розмір цього зображення відносно сенсора визначає, яка частина реального світу захоплюється. Об'єктив з меншою фокусною відстанню створює ширше поле зору, тоді як довша фокусна відстань забезпечує вужче та збільшене зображення цільової області.

Розрахунки поля зору

Горизонтальне поле зору:

$$FOV_H = (S_W / f) \times WD$$

Вертикальне поле зору:

$$FOV_V = (S_H / f) \times WD$$

Площа поля зору:

$$Area = FOV_H \times FOV_V$$

Де:

- S_W = Ширина датчика (мм)
- S_H = Висота датчика (мм)
- f = Фокусна відстань (мм)
- WD = Робоча відстань (мм)

Sensor Width (mm):

6.4

Sensor Height (mm):

5.2

Focal Length (mm):

15

Working Distance (mm):

1000

Results:

426.67

Horizontal FOV (mm)

346.67

Vertical FOV (mm)

147911

Area (mm²)

Практичне застосування в автоматизації. В автоматизованих системах виробництва та контролю якості правильний розрахунок поля зору гарантує, що камери можуть охопити всю зону контролю, зберігаючи при цьому достатню роздільну здатність для виявлення дефектів. Загальні застосування включають: *Системи роботизованого зору:* Роботи, оснащені системами зору, використовують розрахунки поля зору (FOV) для визначення оптимального розташування камери для операцій «захоплення та розміщення». Поле зору повинно охоплювати весь робочий простір, забезпечуючи при цьому достатню

щільність пікселів для точної ідентифікації та визначення місцезнаходження об'єктів.

Інспекція складальної лінії: Камери контролю якості, розташовані вздовж виробничих ліній, потребують точних розрахунків поля зору, щоб забезпечити повне охоплення продукції, що рухається конвеєрними системами. Калькулятор поля зору камери допомагає визначити оптимальну висоту та кут монтажу для отримання стабільних результатів інспекції.

Вимірювання розмірів: Під час використання машинного зору для вимірювання розмірів поле зору безпосередньо впливає на точність вимірювання. Правильно розраховане поле зору гарантує, що вся деталь поміститься в поле зору камери, одночасно максимізуючи співвідношення пікселів на міліметр для точних вимірювань.

Аналіз роздільної здатності: З сенсором 1920×1440 пікселів ця установка забезпечує приблизно 16 пікселів на міліметр ($1920 \text{ пікселів} / 120 \text{ мм}$), що достатньо для виявлення дефектів розміром понад 0,1 мм.

Стратегії оптимізації

Оптимізація поля зору камери машинного зору передбачає балансування кількох конкуруючих факторів:

Роздільна здатність проти охоплення: Більші поля зору зменшують кількість пікселів на одиницю площі, що потенційно обмежує здатність виявляти невеликі дефекти. Калькулятор поля зору камери допомагає знайти оптимальний баланс між площею огляду та вимогами до роздільної здатності.

Обмеження робочої відстані: Фізичні обмеження у виробничому середовищі можуть впливати на розміщення камери. Розрахунок поля зору (FOV) для різних варіантів об'єктів допомагає визначити рішення, що відповідають обмеженням простору, зберігаючи при цьому вимоги до інспекції.

Міркування щодо глибини різкості: Об'єктиви з ширшою діафрагмою, що використовуються для більших полів зору, можуть зменшити глибину різкості, що вимагатиме точнішого контролю робочої відстані. Це особливо важливо під

час огляду об'єктів різної висоти або під час використання кутових положень камери.

Розширені розрахунки та виправлення

Реальні системи машинного зору можуть вимагати додаткових обчислень, окрім базових розрахунків поля зору:

Спотворення об'єктива: Ширококутні об'єктиви можуть створювати бочкоподібне або подушкоподібне спотворення, яке впливає на фактичне поле зору, особливо поблизу країв зображення. Процедури калібрування можуть виправити ці ефекти, але ефективне поле зору може бути меншим за розраховані значення.

Кутове поле зору: Для камер, встановлених під кутом або таких, що обстежують криволінійні поверхні, важливі розрахунки кутового поля зору. Кутове поле зору в градусах можна розрахувати за формулою: $\theta = 2 \times \arctan(\text{розмір_сенсора} / (2 \times \text{фокусна_відстань}))$.

Телецентричні об'єктиви: Телецентричні оптичні системи підтримують стабільне збільшення по всьому полю зору, що робить їх ідеальними для вимірювання розмірів. Розрахунки поля зору (FOV) для телецентричних об'єктивів дотримуються тих самих принципів, але забезпечують більш передбачувані результати по всій площі зображення.

Найкращі практики проектування систем

Під час впровадження систем машинного зору кілька найкращих практик забезпечують оптимальну продуктивність:

Запаси безпеки: Розробіть поле зору на 10-20% більшим за мінімально необхідну зону огляду, щоб врахувати варіації положення та механічні допуски в системі автоматизації.

Інтеграція освітлення: Розраховане поле зору визначає вимоги до освітлення. Переконайтеся, що системи освітлення забезпечують рівномірне освітлення по всій розрахованій області поля зору.

Багатокамерні системи: Для великих зон огляду кілька камер з розрахованими перекриваючимися полями зору можуть забезпечити повне покриття, зберігаючи

при цьому достатню роздільну здатність. Для надійних алгоритмів зшивання область перекриття повинна становити щонайменше 10% від поля зору кожної камери.

Проектування систем машинного зору часто вимагає додаткових інженерних розрахунків, які працюють разом з аналізом поля зору. До них належать розрахунки вибору об'єктивів, аналіз рівномірності освітлення та вимоги до точності позиціонування під час керування рухом. Розуміння взаємозв'язку між цими різними параметрами дає змогу проектувати надійні автоматизовані системи контролю.

4.2. Вібраційні випробування за різного освітлення

Частота власної вібрації мобільного наземного дрона зазвичай лежить у діапазоні від 1 до 50 Гц для шасі (підвіски). Цей показник є критично важливим для того, щоб апарат уникав резонансу під час руху по нерівностях, і щоб уникнути пошкоджень бортових систем, таких як камери або маніпулятори [1, 2, 3, 4, 5].

Власні частоти вібрації можна розділити на кілька ключових зон:

- Коливання підвіски та корпусу: Для більшості колісних та гусеничних роботів

перша частота власних коливань шасі становить близько 1,5 – 3,5 Гц. [1–5]

- Вібрація несучої рами (каркаса): Структурні резонанси механічної рами можуть виявлятися при більш високих частотах - від 20 до 120 Гц. [6–9]

- Рухомі вузли та маніпулятори: Частота власних коливань штанг, роботизованих рук або антенних щоглів на платформі зазвичай лежить у вузькому діапазоні від 4 до 40 Гц [10–14].

Оцінемо **власну вібрацію** мобільного робота з такими параметрами:

- Маса робота (M): 25 кг.
- Кількість коліс: 4

- Жорсткість одного колеса (k_k): Рекомендуємо використовувати литі поліуретанові шини. Їхня радіальна жорсткість, наприклад, становить 20000 Н/м.

1. Знаходимо загальну жорсткість системи (K_e):

Так як колеса навантажені приблизно однаково і працюють паралельно, їх загальна жорсткість становить:

$$K_e = 4 \cdot 20000 = 80000 \text{ Н/м}$$

2. Обчислимо власну частоту вертикальних коливань f_n :

Підставляємо значення у формулу:

$$f_n = \frac{1}{2 \times 3,14} \sqrt{\frac{80000}{25}} = 9,84 \text{ Гц.}$$

Робот має власну частоту 9,84 Гц. Якщо він буде рухатися по нерівностям (або працювати на віброуючій поверхні), і частота зовнішнього впливу відповідає цьому значенню, виникає резонанс, який призведе до розкачування або втрати зчеплення з поверхнею [15–18].

Наведені вібрації зазвичай залежать від взаємодії рушія з ґрунтом і частоти обертання електромоторів, перебуваючи в гармоніках $1X$, $2X$ (де X — оборот на секунду) [1, 2, 19–22].

Під час дослідження коливань мобільних машин розглядаються випадкові процеси з типовими кореляційними функціями або їхніми апроксимаціями [28–33]. Вплив на мобільну машину нерівностей поверхні загалом може розглядатися як нерегулярне збурення. Оскільки самі мобільні машини мають властиву кожній із них частоту коливань, то вони виділяють ті частоти збурень, які близькі до власної частоти коливань. При цьому рух називається «нерегулярною хиткою» [23–27] - коливальним процесом із випадковою амплітудою та періодом.

Приклад розрахунку параметрів вібрації робота

Мобільний робот переміщується на колесах діаметром $D = 0,25$ м, а в приводах використовуються двигуни, що обертаються з частотою $= 3000$ об/хв (обертів за хвилину).

Визначення базових частот ():

Для перекладу обертів за хвилину (об/хв) у герці (Гц) застосовується формула $f = n / 60$,

Частота обертання вала двигуна: $f_{\text{ов}} = 3000 / 60 = 50$ Гц

Розрахунок частоти від взаємодії з ґрунтом:

Колесо має $= 10$ ґрунтозацепів (або долає нерівності кожні $6,28$ см), а робот рухається зі швидкістю $= 1,0$ м/с, частота ударів (коливань) розраховують за формулою:

$$f_{\text{колеса}} = v \cdot n / \pi D = 1 \cdot 10 / 3,14 \cdot 0,25 = 15,9 \text{ Гц}$$

4. Розрахунок віброприскорення:

Під час випробування давач зафіксував пікове вібропереміщення $= 0,2$ мм ($0,0002$ м) на частоті обертання $f_{\text{ов}} = 50$ Гц. Амплітуду віброприскорення (A) можна оцінити за формулою гармонічних коливань:

$$A = (2\pi f^2 \cdot s)$$

$$A = (2 \cdot 3,14 \cdot 50)^2 \cdot 0,0002 \approx 19,7 \text{ м/с}^2.$$

Світло впливає на життєві ритми тварини. За оптимальних умов воно позитивно впливає на ріст і розвиток курей, регулюючи метаболізм білків, мінералів, вітамінів і вуглеводів, тим самим підвищуючи продуктивність худоби та її репродуктивну функцію. Основні параметри, що впливають на видиме світлове випромінювання у тварин, включають частоту світла, інтенсивність світла та його спектральний склад. Частота світла впливає на статеву зрілість тварин та птиць: коротший світловий день затримує статеву зрілість, тоді як довший світловий день її прискорює. Фізіологічний і клінічний стан тварини, виробничі показники та якість підстилки змінюються залежно від інтенсивності світла.

Тривалість світлового дня відіграє особливу роль у життєвому циклі птиці. На ранніх стадіях несучок світловий день поступово скорочується на дві-три

хвилини щодня, доки не почнеться несучість. Ця програма освітлення може затримати статевий розвиток курей, дозволяючи їм краще рости та починати нести яйця у фізіологічній зрілості, тим самим підвищуючи продуктивність і якість яєць. На початку періоду несучості світловий день поступово збільшують, щоб стимулювати несучість і забезпечити її високий рівень протягом усього періоду.

Час збільшення освітленості курника вранці та зменшення її ввечері має відповідати відповідним стандартам, а збільшення має бути поступовим протягом 15–20 хвилин, щоб імітувати природну зміну освітлення.

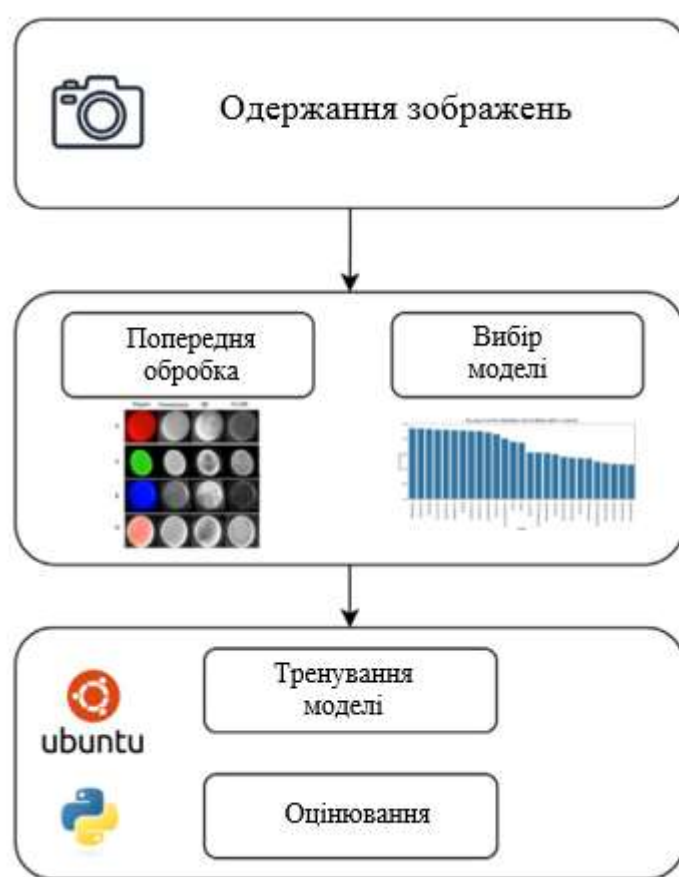


Рис. 3.7. Схема оцінювання впливу освітленості та частоти вібрації на параметри розпізнаних яєць

Завдання впливу освітленості на точність розпізнавання дефектів на поверхні металевої смуг полягали у:

- оцінці впливу освітленості аналізованої поверхні на результати роботи алгоритму розпізнавання дефектів;
- визначенні найсприятливіших умов освітлення для діагностики.

Схема та зображення експериментальної установки наведено відповідно на рис. 5.1. Дана установка складалася із камери (KAMERA), на дні якої розміщений досліджуваний зразок *ES*. З метою усунення попадання відбитої складової світлового потоку на поверхню зразка на внутрішню поверхню камери нанесене покриття з коефіцієнтом відбивання, близьким до нуля, рис. 3.8.

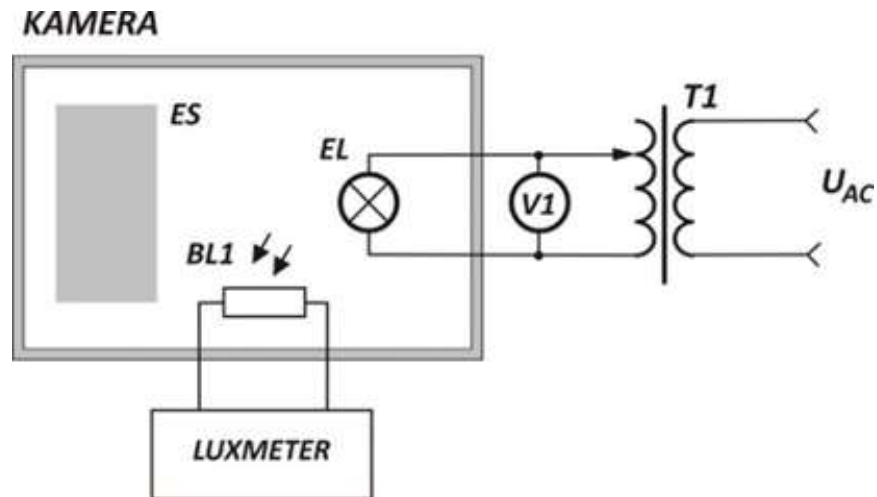


Рис. 3.8. Схема світлотехнічної установки конструкції доц. В.Р. Медвідя



Рис. 3.9. Загальний вигляд експериментальної установки

В якості джерел світла використано змінні модулі з лампою розжарення *EL1* та світлодіодами *EL2*, котрі розташовувались у верхній частині камери.

Живлення цих джерел світла здійснювали відповідно від джерела змінної напруги – лабораторного автотрансформатора та джерела постійної напруги, живлення котрих в свою чергу виконувалось від електричної мережі. Зміну освітленості на поверхні зразка здійснювали шляхом зміни напруги живлення, а отже світлового потоку джерел світла. На модулі з лампою розжарення напруга живлення змінювалась в діапазоні від 80 до 230 В, а для світлодіодного модуля – зміною постійної напруги від 8 до 13 В. Напруга живлення джерел світла фіксувалась вольтметром V1, паралельно під'єднаним до джерел світла. Для підтвердження точності результати розрахунку освітленості співставляли із показами люксметра LUXMETER.

Зображення поверхні яйця отримувал за допомогою фотокамери типу Canon EOS 1300D при числі діафрагми 5, часу витримки затвору 1/60 с та кімнатній температурі через 5 хвилин після подачі напруги на джерела світла, тобто після їх переходу на усталений режим роботи.

Нейронна мережі для розпізнавання дефектів

Для розпізнавання курячих яєць використали нейронну мережу з архітектурою U-net [28–33] (рис. 3.10) із енкодером на основі ResNet152 [33–37], яка дозволяє вирішувати завдання семантичної сегментації зображення, помічаючи масиви пікселів зображення як приналежні пошкодженням. Енкодер ResNet152 дозволяє сформувати детальну карту характерних для пошкоджень ознак, а блок декодера U-net – спроектувати розпізнані на зображенні ознаки назад на початкове зображення.

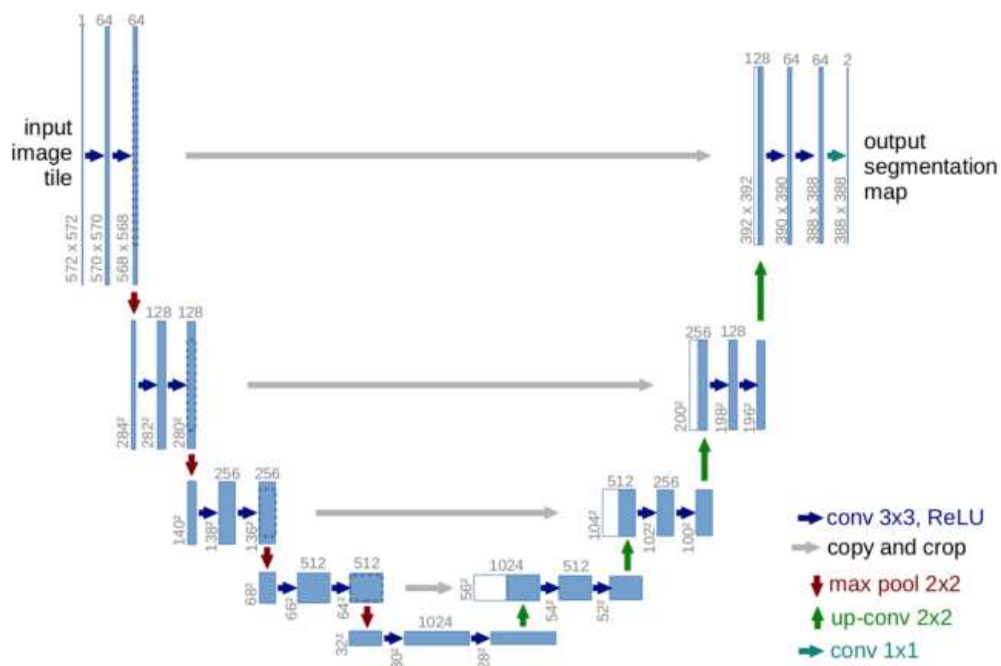


Рис. 3.10. Загальна архітектура нейромережі U-Net. Синіми прямокутниками зображено багатоканальні карти ознак. Кількість каналів зазначено над ними. Білими прямокутниками позначено скопійовані карти ознак. Розмір карти ознак зазначено біля нижнього лівого краю [38–42]. Стрілки показують напрямки операцій

У роботі показано, що на даний момент вже підходи припускають, що комбінування бокового, розсіяного, лазерного та інших видів освітлення може значно покращити якість та інформативність зображень, що отримуються, забезпечуючи більш точне і всебічне виявлення яєць у різних умовах (грунт, трава, асфальтове покриття) [46–49]. Однак, на даний момент немає інформації про широке впровадження цих методів для мобільних роботів. Це означає, що потенціал цих технічних рішень ще був повністю реалізований у промислових умовах, особливо програмно-алгоритмического забезпечення, та його ефективність у тих реальних виробничих процесів залишається предметом подальших досліджень, і експериментів.

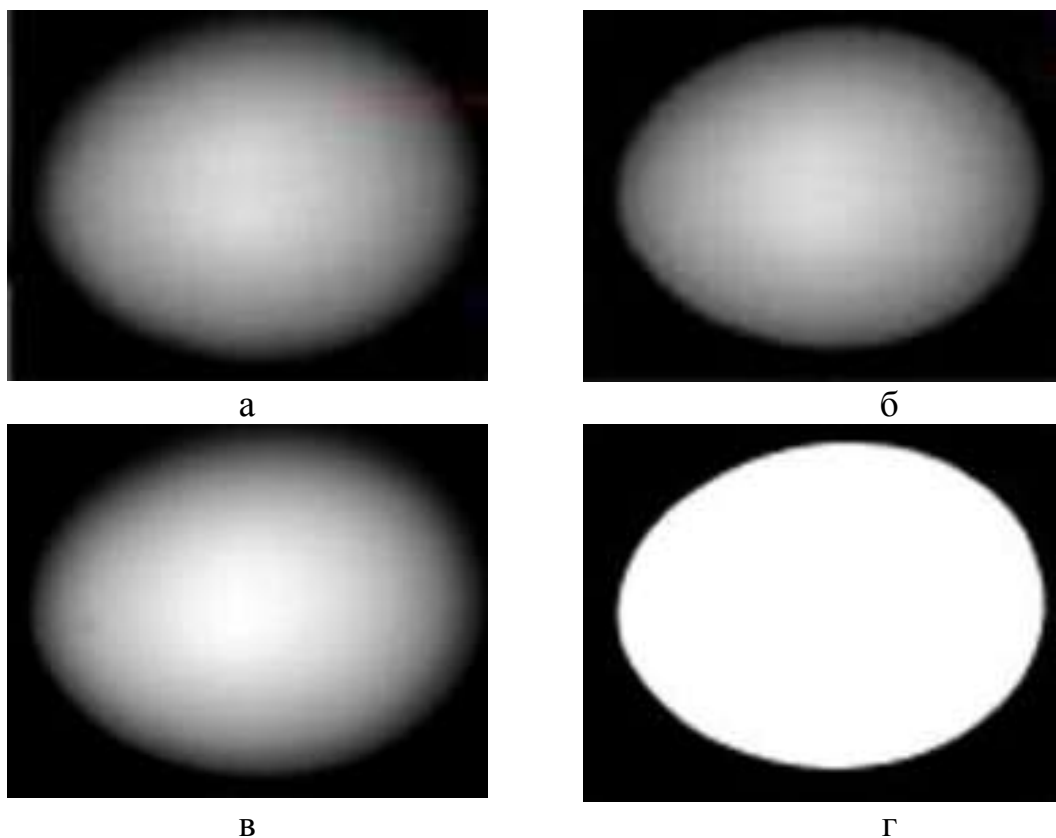


Рис. 3.11. Поверхня курячого яйця, за різних умов освітлення: 47, 260, 723, 980 люкс

В рамках аналізу кваліфікаційної роботи було встановлено, що відомі методи та алгоритми первинної обробки цифрових зображень, одержуваних засобами оптико-цифрового контролю [50–54], добре забезпечують необхідний рівень їх оптичної контрастності для розпізнавання та класифікації за досліджених умов освітлення, рис. 3.12.

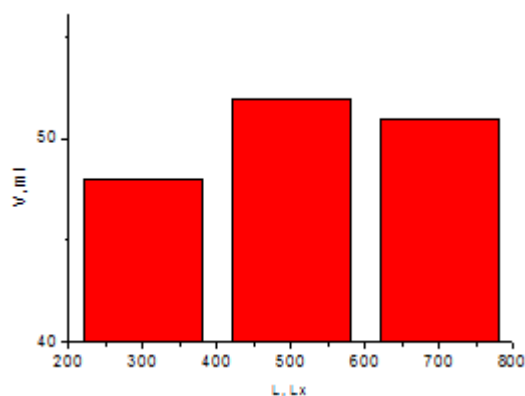


Рис. 3.12. Залежність визначеної площі дефектів від освітленості поверхні яйця

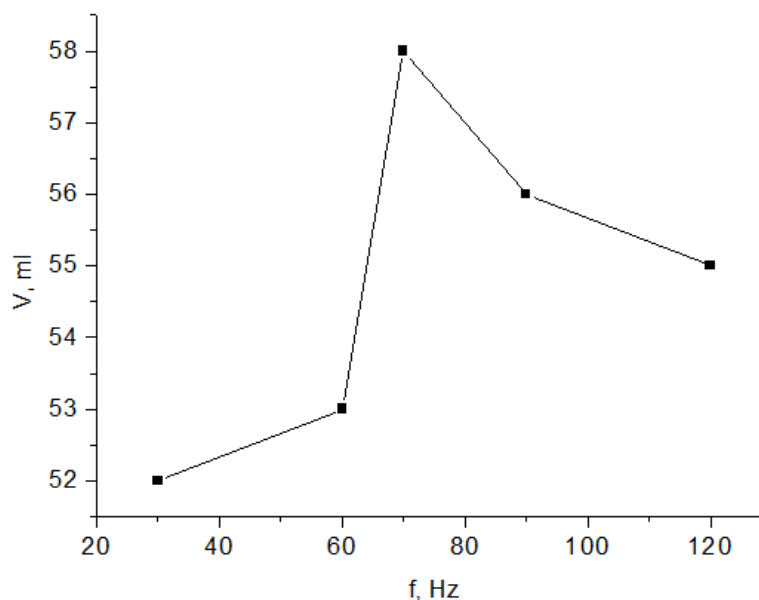


Рис. 3.13. Залежність визначеного об'єму яйця від частоти вібрації

На основі проведених досліджень функціональності автоматизованих систем оптико-цифрового контролю яєць на основі машинного навчання та методів штучного інтелекту встановлено, що незважаючи на відомі інновації та удосконалення [54–58], більшість існуючих підходів не враховують особливості навчання на цифрових зображеннях, отриманих при різних типах освітлення об'єкта контролю стану курячих яєць.

Отже, інтеграція підходів, що дозволяють ефективно працювати з даними, отриманими за різних умов освітлення, є критично важливим напрямом для подальшого розвитку автоматизованих систем оптико-цифрового контролю мобільних роботів .

4. БЕЗПЕКА ЖИТТЄДІЯЛЬНОСТІ, ОСНОВИ ХОРОНИ ПРАЦІ

4.1 Аналіз потенційних небезпек і шкідливих виробничих факторів

Причиною підвищеної вібрації роботів є неправильно підібрані ізолятори вібрацій, які не справляються (або дуже неефективно) з вібраціями, що виникають у системі руху під час пересування через нерівності ґрунту, а також з вібраціями з інших джерел.

Виробники намагаються вирішити цю проблему, просто розглядаючи різні варіанти конструкції підвіски, що не завжди є ефективним. Її можна і слід розв'язати шляхом математичного моделювання підвісних систем і, як результат, отримати конструкцію з кращими еластичними та динамічними характеристиками [43–45].

Через високу вартість і відсутність простого та ефективного методу оцінки ефективності захисту від вібрацій виробники роботів для збирання яєць курей вільного виходу не завжди проводять математичні дослідження моделі, зокрема щодо рівня прискорення вібрації. Для зменшення рівня коливань і динамічних навантажень використовують такі елементи: коливальні маси, еластичні елементи, пружні демпферні елементи, демпфери, динамічні обмежувачі ходу.

Для досліджуваних роботів це насамперед пружинно-ізолюючі елементи, елементи з еластомерів або їх комбінація.

Згідно з літературними джерелами, результатами аналізу та експериментальними даними [62–67], найефективнішим методом вибору еластичних характеристик демпферів амортизаторів системи підвіски є математичне моделювання динамічного навантаження.

Виникають такі дослідницькі завдання:

1. Аналіз і оцінювання підвісних систем роботів та формулювання вимог до конструкцій їхніх підвісних систем.
2. Аналіз можливих способів зменшення динамічного навантаження на підвісну систему обраного об'єкта дослідження на основі вибору еластичних демпфіруючих

характеристик ізоляторів вібрацій.

3. Експериментальні дослідження вібраційних ізоляторів, нові методики випробувань.
4. Обчислювальні дослідження динамічного навантаження із використанням розроблених схем динамічних навантажень, математичних моделей та моделюваних моделей.
5. Формулювання рекомендацій щодо вдосконалення комплексу конструкторських і технологічних параметрів підвіски

Проаналізовано конструкції систем підвіски та методи вибору або контролю еластичних характеристик демпфування. Існують різні типи дорожніх покриттів із різною шорсткістю, і потрібна підвіска, щоб ізолювати робот від вібрацій, зумовлених нерівностями ґрунту.

Крім того, функція підвіски полягає у постійному контакті між шинами та дорожнім покриттям для забезпечення стабільності та керованості робота. Це особливо важливо, коли робот повертає, гальмує або прискорюється.

Конструкція підвіски робота зазвичай складається з блоків підвіски, розташованих у кутах транспортного засобу і з'єднують раму трансмісії з колесами. Будь-яка система амортизації складається з двох основних елементів - пружин і амортизаторів, встановлених паралельно. Пружини поглинають ударні навантаження, спричинені нерівностями дороги. Коли ударне навантаження від нерівності гусениці передається на систему підвіски, пружина стискається й накопичує енергію удару, після чого поступово розширюється та вивільняє поглинуту енергію. Водночас демпфери підвіски розсіюють енергію вібрації. Отже, коли підвіска працює з порушенням, спричиненим нерівністю дороги, демпфер розсіює частину енергії удару. Крім того, вона розсіює накопичену енергію пружини. Таким чином, робота пружини контролюється. Аналогічно, пружини та амортизатори керують рухом рами робота під час повороту.

У більшості роботів у підвісці використовують пружини, які поділяють на 3 типи: спіральні, торсіонні, листові ресори. У деяких випадках, також використовують пневматичні та гідропневматичні пружини. Амортизатори в

системах підвіски автомобіля переважно є гідравлічними амортизаторами. Коли амортизатор стискається або розширюється, гідравлічна рідина проходить через дросельну заслінку. Різниця тиску, створена в цій дросельній заслінці, створює демпфуючу силу. Розмір дросельного клапана визначає коефіцієнт демпфування амортизатора.

Плавна робота - це основне завдання підвіски робота. Цей показник дуже важливий для робіт- збирачів яєць, які мають вищу величину вібраційного прискорення під час експлуатації, ніж інші транспортні засоби. Крім того, динамічний вплив ґрунтового фону є значно вищим, ніж при їзді дорогою. Виникнення додаткового вібраційного навантаження впливають на ефективність, роботи пристрою.

Традиційно джерела вібрацій, що впливають на шумове та вібраційне навантаження робочого місця оператора, поділяють на два класи: бічні та дорожні. Ці джерела викликають коливання в діапазоні 25-20000 Гц, які сприймаються людським вухом і називаються «шумом». Друга категорія джерел - це нерівність доріжки. Частотний діапазон цих коливань зазвичай коливається від 0 до 25 Гц. Цей діапазон включає частоти, які є незручними для людського організму. З цієї причини вібрації від нерівності колії є найбільш негативними щодо плавності пересування робота.

Верхня межа частотного діапазону, в межах якого працюють підвісні системи, зазвичай не перевищує 25 Гц. Плавність їзди робота значною мірою залежить від динамічної поведінки кузова (тобто пружинної маси), яка під час експлуатації піддається комбінації вертикальних, поздовжніх та поперечно-кутових коливань.

Вплив вібрації на тіло людини, особливо на пасажирів транспортних засобів, розглядався у багатьох дослідженнях. Водночас людське тіло реагує по-різному на різні вібрації. Це залежить від напрямку та частоти коливань. Згідно з дослідженнями, людське тіло більш чутливе до горизонтальних вібрацій, ніж до вертикальних. У вертикальному напрямку найбільш чутливим є діапазон 4-8 Гц, що відповідає резонансним частотам органів черевної порожнини. Чутливість у

горизонтальних напрямках найвища в діапазоні 1-2 Гц. Діапазон 0,5-0,75 Гц викликає «морську хворобу». Отже, найбільш «незручні» частоти для людини, і ті, які мають бути ослаблені підвіскою, знаходяться в діапазоні 0,5-10 Гц. На основі цього система підвіски робота в цій роботі була оцінена в цьому діапазоні частот.

Однак, щоб спростити експеримент, часто вимірюють лише величину вертикального прискорення вібрації. У цьому дослідженні вимірювання проводили лише для вертикальної складової.

Прискорення RMS використовують оцінювання системи підвіски з точки зору плавності. Є певні стандарти щодо вимірювання плавності руху сільськогосподарської техніки та максимальних допустимих значень прискорення вібрації, які сприймає водій транспортного засобу. Серед них зазвичай виділяються 2 стандарти ISO:

- ISO 2631-74, який регулює основні питання, пов'язані з вимірюванням рівнів вібрацій та впливом вібрації на здоров'я людини. Стандарт використовує узагальнений коефіцієнт навантаження від вібрацій, який залежить від величини вертикальних і горизонтальних прискорень вібрацій. На основі цього коефіцієнта стандарт встановлює обмеження на робочий час.

- ISO 5008-74. Цей стандарт описує метод вимірювання та аналізу вібраційного навантаження оператора транспортного засобу. Цей стандарт регулює швидкість випробувань (5 і 12 км/год) і, на основі стандарту ISO 2631-74, вводить інформацію про значення максимально допустимої частоти вібрації. На основі всіх цих даних формується кореневе середньоквадратичне значення прискорення, яке потім використовується.

Керованість - це характеристика робота, яка нормує рівень стабільності та безпеки руху, що можна досягти завдяки стабільному контакту шин із дорогою. Індикатор керованості особливо важливий під час маневрів транспортного засобу, таких як повороти, гальмування або прискорення. У таких екстремальних ситуаціях поганий контакт колеса з дорогою може суттєво знизити керованість, що, у свою чергу, впливає на цілість транспортованих яєць.

Керованість безпосередньо пов'язана зі ступенем контакту між колесом і дорогою, що, у свою чергу, залежить від двох факторів: вібрації колеса та корпуса робота. Вертикальний рух колеса здебільшого залежить від нерівності (шорсткості) дороги, а рух кузова відбувається переважно під час зміни напрямку руху робота (повороти, прискорення, гальмування). Водночас вважається, що рух кузова внаслідок повороту робота або його прискорення/гальмування є найбільш проблематичним. Наприклад, при повороті відцентрова сила виштовхує корпус робота назовні. Вона протидіє силі опору, що виникає внаслідок контакту шини з дорогою. Водночас відцентрова сила змушує навантаження на шини зміщуватися з одного боку на інший, що призводить до значного скорочення терміну служби шини. Аналогічно, коли транспортний засіб різко гальмує або прискорюється, навантаження на різні осі змінюється.

Вантажопідйомність транспортного засобу залежить від його різних характеристик. Головна з них - це характеристика системи підвіски робота. Якісна підвіска забезпечує необхідні реакції та запобігає надмірному перенесенню ваги між боками та осями робота. Крім того, ефективна підвіска може контролювати кількість вертикальних вібраційних рухів колеса, які залежать від нерівності гусениці та швидкості робота.

Як уже згадувалося, керованість і плавність ходу є двома основними функціями підвіски робота.

4.2. Оцінювання плавності пересування робота

Оцінювання плавності їзди має певні проблеми, зокрема:

- на відміну від плавності їзди, як згадувалося раніше, немає стандарту для кількісної оцінки керованості роботом. Хорошу керованість забезпечує стабільні контактні навантаження на колесах. Результат зміни контактної (динамічної) сили між шинами та дорогою можна використати для кількісної оцінки керованості. Чим менше динамічне навантаження на колесо, тим вища керованість робота, і навпаки.

- у польових випробуваннях досить складно безпосередньо виміряти значення динамічного навантаження, тому як альтернативу використовують індекс деформації шини. Оскільки шини еластичні, ступінь деформації пропорційна вертикальному навантаженню колеса. Індикатор керованості особливо важливий для сільськогосподарських робіт.

З іншого боку, з року в рік робоча швидкість робота зростає, і вимоги до нього також зростають, оскільки висока швидкість множить ефективність трактора. Тому покращення підвіски - це фактично єдиний спосіб покращити керованість автомобіля.

Основні вимоги до охорони навколишнього середовища представлені в нормативному документі ГОСТ 102-105-85.

Стандарти комплексу ГОСТ Р 60 являють собою сукупність стандартів, що окремо видаються. Стандарти даного комплексу відносяться до однієї з наступних тематичних груп: "Загальні положення, основні поняття, терміни та визначення", "Технічні та експлуатаційні характеристики", "Безпека", "Види та методи випробувань", "Механічні інтерфейси", "Електричні інтерфейси", "Комунікаційні інтерфейси", "Методи програмування", "Методи побудови траєкторії руху (навігація)", "Конструктивні елементи". Стандарти будь-якої тематичної групи можуть відноситися як до всіх робіт і робототехнічних пристроїв, так і до окремих груп об'єктів стандартизації.

Цей стандарт відноситься до тематичної групи "Безпека" і поширюється на наземні сервісні роботи. Він ідентичний міжнародному стандарту ISO 13482:2014, розробленому підкомітетом (SC) 2 "Роботи та робототехнічні пристрої" Технічного комітету (TC) 184 ISO "Системи автоматизації та їх інтеграція". З 1 січня 2016 року ISO/TC184/SC 2 "Роботи та робототехнічні пристрої" перетворено на ISO/TC 299 "Робототехніка".

ВИСНОВКИ

В даній бакалаврській кваліфікаційній роботі розглянуто окремі аспекти функціонування робота збирача яєць, що може використовуватися в різних системах виробництва птиці, а не обмежується лише бройлерними племінними господарствами та комерційними яєчними господарствами. Цей робот може використовуватися в усьому секторі виробництва живої птиці. Наприклад, робот може використовуватися в бройлерному господарстві для курей та індиків для контролю рівня ваги птахів, контролю якості повітря, інформування фермера про мертвих або поранених птахів, збирання та видалення мертвих птахів та догляду за підстилкою для підвищення стандартів добробуту тварин. Ці функції можуть бути реалізовані з мінімальними модифікаціями автономного робота для птахівництва. Досвідчений читач зрозуміє, що розмір робота може змінюватися залежно від типу птахівничого господарства, в якому працює робот.

Робот для птахівництва може використовувати до чотирьох коліс, щоб забезпечити роботу рух під час виконання своїх завдань. Ці чотири колеса можуть бути розташовані у відповідних кутах робота для птахівництва. Вони підтримують основне шасі робота та запобігають його контакту із землею.

В одному з варіантів реалізації робота може містити одну або кілька камер, розміщених на рівні птахів. Ці камери на рівні птахів використовуються для активного виявлення в режимі реального часу зображень яєць, відкладених на підлогу, та повідомлення блоку керування робота про необхідність їх підібрати роботизованою рукою. Камери постійно контролюють внутрішні поверхні сараю, намагаючись виявити яйця. Алгоритм комп'ютерного зору може розпізнати колір або форму яйця або усвідомити, що він раніше бачив подібні зображення, щоб визначити, що це яйце, і його потрібно підняти.

Автономний робот для птахівництва може містити одну або декілька механічних рукояток, присосок, совків та/або підмітальних лопатей для збору яєць з підлоги. Автономний робот може ефективно працювати за допомогою одного або кількох із вищезгаданих методів збору яєць або мертвих птахів з підлоги залежно від конкретного застосування робота.

У конкретному варіанті виконання робот має внутрішню систему зберігання яєць, в яку яйця з підлоги сараю, зібрані роботизованою рукою, поміщаються для безпечного зберігання перед розвантаженням. Кожне яйце матиме свій окремий простір, який запобігає його скочуванню або падінню всередину. Робот може визначити, чи яйце розміщено в окремому просторі, і чи всі ці простори заповнені.

В кваліфікаційній роботі запропоновані заходи з охорони праці. Це дає змогу підвищити безпеку праці, попередити виробничий травматизм та професійні захворювання.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Кирилович В.А., Кравчук А.Р., Добржанський О.О. Системологія аванпроектування колаборативних роботизованих механоскладальних технологій. Монографія. Київ: ТОВ «Наукове вид-во «Нова думка», 2026. – 168 с.
2. Поліщук А.Д. Розроблення рухомої платформи наземного роботизованого комплексу, Дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Автоматизовані та роботизовані механічні системи» спеціальності 131 Прикладна механіка, 2022, Київ, КПІ, 71 с.
3. Приймак М.В. Розроблення основних вузлів шасі наземного роботизованого комплексу: дипломний проект на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Автоматизовані та роботизовані механічні системи» спеціальності 131 «Прикладна механіка», 2024, Київ, КПІ, 94 с.
4. Дубовик Т., Іваницький Д., Левчук І., Гузь Г., & Романчук О. (2025). Розробка наземного керованого дрона підвищеної прохідності з радіокеруванням // Інформаційні технології та суспільство, 2025, 1 (16), 72-79, <https://doi.org/10.32689/maup.it.2025.1.9>
5. Оникійчук Богдан Ігорович Дипломний проект Логістичний робот для тилових військових робіт, на здобуття ступеня бакалавра за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології», 2025, Київ, КПІ. - 65с.
6. MG996R High Torque Metal Gear Dual Ball Bearing Servo. [Електронний ресурс]. Режим доступу: http://www.electronicoscaldas.com/datasheet/MG996R_Tower-Pro.pdf,
7. Tao W. M., Zhang M. J., Ma O. Modeling and vibration suppression for industrial track robots. Proceedings of IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2006, p. 1072-1077.

8. Hayashi K., Yokokohji Y., Yoshikawa T. Tele-existence vision system with image stabilization for rescue robots. Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation, 2005, p. 50-55.
9. Choi Y. W., Kang T. H., Lee S. G. Development of image stabilization system using extended Kalman filter for a mobile robot. International Conference in Swarm Intelligence, Springer Berlin Heidelberg, 2010, p. 675-682.
10. Kasturin A. Planning trajectory of the mobile robot with a camera. Annals of DAAAM and Proceedings, Vol. 26, Issue 1, 2015, p. 407-416.
11. Hayashi K., Tanaka M., Kusaka H., Hashi H. New approach on multi-axial analysis of camera shake. Digest of Technical Papers International Conference on Consumer Electronics, 2010.
12. Nishi K., Ogino R. 3D camera-shake measurement and analysis. IEEE International Conference on Multimedia and Expo, 2007, p. 1271-1274.
13. Kawabata K., Sato H., Suzuki T., Tobe Y. A wireless camera node with passive self-righting mechanism for capturing surrounding view. Vision Sensors and Edge Detection, 2010, <https://doi.org/10.5772/10133>
14. L. Nyberg, M. Tjellander. Camera stabilization.: KTH Royal Institute of Technology School of Industrial Engineering and Management. // Stockholm Sweden, 2017.
15. Liu, H.; Lv, H.; Han, C.; Zhao, Y. Vibration Detection and Degraded Image Restoration of Space Camera Based on Correlation Imaging of Rolling-Shutter CMOS. Sensors 2023, 23, 5953. <https://doi.org/10.3390/s23135953>
16. Основи наукових досліджень і теорія експерименту: Навчальний посібник для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / укл. Ю. Б. Капаціла, П. О. Марущак, В. Б. Савків, О. П. Шовкун. Тернопіль : ФОП Паляниця В.А., 2023. 186 с.
17. Пальчевський Б.О. Автоматизація технологічних процесів / Б.О. Пальчевський - Львів: Світ, 2007. - 392 с.

18. Кавецький В. В. Економічне обґрунтування інноваційних рішень: практикум / В. В. Кавецький, В. О. Козловський, І. В. Причепа - Вінниця: ВНТУ, 2016. – 113 с.
19. Ладанюк А.П., Заєць Н.А., Власенко Л.О. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів.- К.: Ліра-К, 2016. -312 с.
20. Автоматизація виробничих процесів: підручник / В. П. Хорольський, Ю. М. Коренець. - Кривий Ріг: [ДонНУЕТ], 2022. - 400 с.
21. ДСТУ EN 12096:2005 «Вібрація механічна. Повідомлення та перевірка параметрів вібрації» (EN 12096: 1997, IDT)
22. РВ. 1.1-03450778-809 2012 «Рекомендації щодо зниження рівня вібрацій на житлову забудову»;
23. ІСО 4866-90 «Вібрація та удар. Вібрація будівель. Посібник із вимірювання вібрації та оцінки її впливу на будівлю»;
24. ГУ 2957-84 «Методичні рекомендації щодо вимірювань та гігієнічної оцінки вібрації в житлових приміщеннях»;
25. ДСН 3.3.6.039-99 «Санітарні норми виробничої загальної та локальної вібрації»;
26. СанПіН 1304-75 «Санітарні норми допустимих вібрацій у житлових будинках»;
27. ДСТУ ISO/TS 10811-1: 2008 «Вібрація та удар механічні. Вібрація та удар у будівлях з чутливим обладнанням Частина 1. Вимірювання та оцінка» (ISO/TS 10811-1: 2000, IDT)
28. СОУ 42.1-37641918-118: 2014 «Автомобільні дороги. Визначення вібраційного навантаження. Оцінка впливу на будівлі та споруди».
29. Lobaty A.A., Tatur M.M., Ibrahim A.K. An approximate mathematical model for estimating the influence of vibrations on attached elements of a mobile robot video system. «System analysis and applied information science». 2021;(2):20-26. <https://doi.org/10.21122/2309-4923-2021-2-20-26>

30. Shang, Weiyan, Yang, Canjun, Liu, Yunping, Wang, Junming, Design on a Composite Mobile System for Exploration Robot, Shock and Vibration, 2016, 6363071, 14 pages, 2016. <https://doi.org/10.1155/2016/6363071>
31. Gheorghe, V.I.; Cartal, L.A.; Comeagă, C.D.; Mocanu, B.-C.; Rotaru, A.; Nistor, M.-I.; Vartic, M.-V.; Tăbușcă, Ș.A. Intelligent Fault Detection in the Mechanical Structure of a Wheeled Mobile Robot. Technologies 2026, 14, 25. <https://doi.org/10.3390/technologies14010025>
32. Коноваленко І. В. Платформа .NET та мова програмування C# 8.0 : навч. посіб. / І. В. Коноваленко, П. О. Марущак. – Тернопіль : В. А. Паляниця, 2020 – 320 с. <http://library.megu.edu.ua:8180/jspui/handle/123456789/4115>
33. Проектування мікропроцесорних систем керування: навчальний посібник / І.Р. Козбур, П.О. Марущак, В.Р. Медвідь, В.Б. Савків, В.П. Пісьціо. – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2022. – 324 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39189>
34. Капаціла Ю.Б., Савків В.Б. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 60 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48495>
35. Капаціла Ю.Б., Шовкун О.П. Конструкторсько-технологічна практика. Методичні вказівки для здобувачів освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2025. 22 с.
36. Козбур І.Р., Методичні вказівки до виконання лабораторної роботи «Дослідження частотних характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – с. 16. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39207>
37. Козбур І.Р., «Дослідження часових характеристик неперервних лінійних систем», по курсу «Теорія автоматичного управління», для студентів 3 курсу

- спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» / Авт.: Козбур І.Р., Козбур Г.В. Марущак П.О., Савків В.Б. – Тернопіль: ТНТУ, ФПТ, каф. АВ, – 2022. – 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/39206>
38. Автоматизація виробничих процесів. Навчальний посібник для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів. / Я.І. Проць, В.Б. Савків, О.К. Шкодзінський, О.Л. Ляшук. Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2011. 344 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/123456789/1551>
39. Методичні вказівки по роботі з програмним симулятором "AVR simulator IDE" з курсу "Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 21 с.
40. Моделювання нелінійних систем керування у пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2019. - 19 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28057>
41. Моделювання систем керування в пакеті MATLAB SIMULINK, методичні вказівки до виконання лабораторної роботи по курсу «Комп'ютерні методи дослідження систем автоматичного управління», для студентів 4 курсу спеціальності 6.050201 «Системна інженерія» / укл. : І.Р. Козбур , Г.В. Козбур , Р.І. Михайлишин. – Тернопіль : ТНТУ, 2019. - 23 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/28056>
42. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Multisim. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь , В.П. Пісьціо . - Тернопіль : ТНТУ Імені Івана Пулюя, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26404>
43. Проектування та аналіз електричних схем в програмному середовищі Proteus VSM. Методичні вказівки до самостійної роботи студентів з курсу

- "Проектування мікропроцесорних систем керування технологічними процесами" / укл. : В.Р. Медвідь, В.П. Пісьціо. - Тернопіль : ТНТУ, 2018. - 26 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/26397>
44. Методичні вказівки до курсового проектування з курсу "Проектування систем автоматизації" / Савків В.Б., Шкодзінський О.К., Пісьціо В.П. Тернопіль : ТНТУ, 2025. 128 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48646>
45. Лабораторний практикум з проектування та моделювання роботи електропневматичних схем у середовищі програмного пакету «FluidSIM Pneumatics» з курсу «Технічні засоби автоматизації» / укл. : О.К. Шкодзінський. – Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2020. - 32 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/31418>
46. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання курсового проекту з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка”. – Тернопіль: ТНТУ ім. І. Пулюя, 2024. – 53 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/44635>
47. Трембач Р.Б., Медвідь В.Р. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Електроніка і мікросхемотехніка” Модуль 3. «Імпульсна техніка, вторинні джерела живлення, основи цифрової електроніки» – Тернопіль: ТНТУ, 2024. -26 с.
48. Трембач Р.Б., Шовкун О.П. Методичні вказівки до виконання до виконання лабораторних робіт з дисципліни “Інформаційно – вимірювальні системи” Модуль І. «Вимірювальна техніка» – Тернопіль: ТНТУ., 2024. – 67 с.
49. Аналіз стійкості і якості електромеханічної слідкуючої системи. : Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Теорія автоматичного управління», для здобувачів спеціальності 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» освітньо-професійних програм «Комп’ютерно-інтегровані системи автоматики та робототехніки», «Комп’ютеризовані системи управління та прикладне програмування». / укл. І.Р. Козбур, В.П. Пісьціо, В.Б. Савків, П.С. Федорів. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. – 67 с

50. Методичні вказівки для написання розділу «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» в кваліфікаційних роботах здобувачів освітнього рівня „бакалавр”. Для студентів всіх форм навчання рівень вищої освіти перший (бакалаврський)/ укл.: О. Я. Гурик , І. Б. Окіпний. – Тернопіль: ТНТУ імені Івана Пулюя, 2021. - 20 с.
51. Навчально-методичний посібник до практичних заняття з дисципліни «Безпека життєдіяльності, основи охорони праці» для студентів освітнього ступеня бакалавр усіх спеціальностей та форм навчання / Укладачі : О. Я. Гурик, І. Б. Окіпний, В. С. Сенчишин, С. Ю. Мариненко, О. І. Король. Тернопіль : ТНТУ імені Івана Пулюя, 2025. 123 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/48496>
52. Безпека в надзвичайних ситуаціях. Методичний посібник для здобувачів освітнього ступеня «магістр» всіх спеціальностей денної та заочної (дистанційної) форм навчання / укл.: Стручок В. С. Тернопіль: ФОП Паляниця В. А., 2022. 156 с.
53. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 1 [навчальний посібник]. Львів : «Магнолія 2006», 2013. 256 с.
54. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д., Пасічник В. В. Комп’ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник]. Львів : "Магнолія 2006", 2014. 312 с.
55. Микитишин А. Г., Митник М. М., Стухляк П. Д. Телекомунікаційні системи та мережі. Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017. 384 с.
56. Буров Є., Митник М. Комп’ютерні мережі. (у 2-х томах). Львів, Магнолія, 2018.
57. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем. Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 «Автоматизація, комп’ютерно-інтегровані технології та робототехніка» / А. Г. Микитишин, М. М. Митник, О. С. Голотенко, В. В. Карташов. – Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023. – 324 с.
<https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42625>

58. Конспект лекцій з дисципліни «Комп'ютерні системи штучного інтелекту» для студентів спеціальності G7 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка» денної та заочної форми здобуття освіти / уклад. І. С. Дідич. // ТНТУ. – 2025. – С. 92. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/50293>
59. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г., Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995>
60. Ковтко, А., & Савків, В. (2026). Архітектура автоматизованої системи генерації тестів. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 365(3), 346-352. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2026-365-48>
61. Аналіз ефективності мутаційного тестування / А. М. Ковтко, Володимир Богданович Савків, Галина Володимирівна Козбур, Ігор Романович Козбур // Матеріали МНТК „Фундаментальні та прикладні проблеми сучасних технологій“, 28-29 травня 2025 року. — Т. : ФОП Паляниця В. А., 2025. — С. 195–197. — (Моделювання в наукоємних технологіях. Комп'ютерно-інформаційні технології та системи зв'язку. Історичні аспекти, науковий та світоглядний розвиток спадщини Івана Пулюя).
62. Савків, В. Б., & Ковтко, А. М. (2026). Мутаційне тестування як механізм зворотного зв'язку в автоматизованій системі генерації модульних тестів на основі великих мовних моделей. Електротехнічні та інформаційні системи, (109), 278–287. <https://doi.org/10.32782/EIS/2026-109-33>
63. Архітектура автоматизованої системи для генерації модульних тестів на основі штучного інтелекту та мутаційного тестування / А. М. Ковтко, І. Р. Козбур, Володимир Богданович Савків, Галина Володимирівна Козбур // Матеріали XIV МНТКМУС „Актуальні задачі сучасних технологій“, 11-12 грудня 2025. — Т. : ФОП Паляниця В.А., 2025. — С. 278–280. — (Комп'ютерно-інформаційні технології та системи зв'язку).
64. I. Strutynska, H. Kozbur, L. Dmytrotsa, O. Sorokivska, L. Melnyk and R. Grytseliak, "Regarding to the Concept of Small and Medium-Sized Enterprises

- Digitalization in Ukraine: Problems and Solutions," 2021 11th International Conference on Advanced Computer Information Technologies (ACIT), Deggendorf, Germany, 2021, pp. 276-279, doi: 10.1109/ACIT52158.2021.9548382.
65. Паламар М. І., Стрембіцький М. О., Паламар А. М. Проектування комп'ютеризованих вимірювальних систем і комплексів : навч. посіб. Тернопіль : ТНТУ, 2019. 150 с.
66. Валяшек В.Б. Навчальний посібник з курсу: “ Оптимізаційні методи та моделі “ для спеціальностей “Облік і аудит, Фінанси і кредит, Маркетинг, Економічна кібернетика” / Кривень В.А., Валяшек В.Б., Цимбалюк Л.І., Козбур Г.В. – Тернопіль : видавництво ТНТУ, 2015. – 83 с.
67. Савків В.Б., Капаціла Ю.Б., Михайлишин Р.І. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології». Тернопіль.: Видавництво ТНТУ. 2021. 50 с. <https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/35172>