

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) Конструювання та дизайну

ДОПУСКАЄТЬСЯ ДО ЗАХИСТУ
Завідувач кафедри
Конструювання машин і обладнання
(назва кафедри)

Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(ПІБ)

_____ (підпис)

— ” _____ 2025 р.

БАКАЛАВРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ
ДЛЯ ЗБОРУ ЯБЛУК

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування
(код і назва)

Гарант освітньої програми

д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Володимир БУЛГАКОВ
(ПІБ)

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

д.т.н., професор
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(ПІБ)

к.т.н.
(науковий ступінь та вчене звання)

_____ (підпис)

Анастасія ЛЯШКО
(ПІБ)

Виконав

_____ (підпис)

Щальнікова Дар'я Володимирівна

(ПІБ студента)

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ БІОРЕСУРСІВ
І ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ УКРАЇНИ

Факультет (ННІ) Конструювання та дизайну

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Конструювання машин і обладнання

д.т.н., професор Вячеслав ЛОВЕЙКІН
(науковий ступінь, вчене звання) (підпис) (ПІБ)

— ” — 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на виконання бакалаврської кваліфікаційної роботи студенту

Щальнікової Дар'ї Володимирівни

(прізвище, ім'я, по батькові)

Спеціальність 133 – Галузеве машинобудування

(код і назва)

Тема бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проекту бакалавра) **РОЗРОБКА
КОНСТРУКЦІЇ РОБОТИЗОВАНОЇ ПЛАТФОРМИ ДЛЯ ЗБОРУ ЯБЛУК**

затверджена наказом ректора НУБіП України від «4» грудня 2024 р. №2265 «С»

Термін подання завершеної роботи (проекту) на кафедру 2025 червня 06

(рік, місяць, число)

Вихідні дані до бакалаврської кваліфікаційної роботи (дипломного проекту бакалавра)

Технологічна схема застосування гвинтового конвеєра

Перелік питань, які потрібно розробити:

1. Провести аналіз існуючих конструкцій роботизованих платформ для збору яблук
2. Розглянути перспективи створення нових роботизованих платформ
3. Виконати розрахунок роботизованої платформи
4. Розглянути питання охорони праці при роботі з роботизованими платформами для збору яблук
5. Виконати розрахунок економічної ефективності

Перелік графічних документів (за потреби)

1. Загальний вигляд

Дата видачі завдання — «4» грудня 2024 р.

Керівник бакалаврської кваліфікаційної роботи

Вячеслав ЛОВЕЙКІН.

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Анастасія ЛЯШКО

(підпис)

(прізвище та ініціали)

Завдання прийняв до виконання

Дар'я ЩАЛЬНІКОВА

(підпис)

(прізвище та ініціали студента)

ЗМІСТ

ЗМІСТ	4
РЕФЕРАТ	5
РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ	8
1.1. Актуальність розробки	8
1.2. Загальні відомості про збір яблук	9
1.3. Аналіз конструкцій роботів для збору яблук	11
1.4. Аналіз конструкцій робочих органів	14
1.5. Аналіз конструкцій приводів	17
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ	21
2.1. Визначення товщини стінки ланок.....	21
2.2. Розрахунок планетарного механізму приводу ланок маніпулятора.....	27
РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ	45
РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ.....	51
4.1. Загальна економія на оплаті праці (з урахуванням роботи платформи).....	51
4.2. Амортизація при 10 роках:	52
4.3. Чистий ефект:	52
4.4. Термін окупності:.....	52
ВИСНОВКИ.....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	55
ДОДАТКИ.....	57

					01.09 – КР. 2265 –Є” 2024.12.16. 014 ПЗ
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	
Розроб.		Щальнікова			Літ.
Перевір.		Ляшко А.П.			Арк.
					4
					Акрушіє
					53
Н. Контр.					ЗМІСТ
Затверд.					НУБіП України

РЕФЕРАТ

Бакалаврська кваліфікаційна робота складається з пояснювальної записки на 57 аркушах друкованого тексту, містить 4 розділи, висновки, список використаних джерел із 15 найменувань, 21 рисунка, 5 таблиць і додатки.

У першому розділі розглянуто загальні відомості про збір яблук, проаналізовано конструкції існуючих роботизованих платформ для збору фруктів та перспективи їх удосконалення. Обґрунтовано вибір оптимальних конструктивних рішень для розробки нової роботизованої платформи.

Другий розділ присвячено розрахунку конструкції платформи для збору яблук. Виконано розрахунок основних параметрів, зокрема визначено товщину стінок ланок, а також виконано розрахунок планетарного механізму привода ланок маніпулятора.

У третьому розділі розглянуто питання охорони праці при експлуатації робота-маніпулятора, визначено основні вимоги до безпеки, можливі ризики та заходи їх мінімізації, а також правила технічного обслуговування і ремонту.

Четвертий розділ містить розрахунок економічної ефективності впровадження розробленої конструкції. Проведено аналіз витрат на матеріали, роботи, комплектуючі та автоматизацію. Оцінено економічну доцільність проєкту, що підтверджує його фінансову привабливість і конкурентоспроможність.

Ключові слова: робот-маніпулятор, роботизована платформа, збір яблук, конструкція.

					01.09 – КР. 2265 –Є” 2024.12.16. 014 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Щальнікова.Д.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Ляшко А.П.				5	
Н. Контр.					РЕФЕРАТ		
Затверд.					НУБіП України		

ВСТУП

Сучасний етап розвитку аграрного сектору характеризується інтенсивним впровадженням інноваційних технологій, спрямованих на підвищення продуктивності, зменшення витрат та оптимізацію виробничих процесів. Однією з ключових галузей сільського господарства є садівництво, де збір урожаю, зокрема яблук, залишається трудомістким та ресурсозатратним етапом. Традиційні методи ручного збирання плодів пов'язані з низкою проблем: дефіцит кваліфікованої робочої сили, висока вартість послуг, залежність від сезонних факторів, а також ризик пошкодження плодів. Ці обмеження актуалізують необхідність розробки автоматизованих рішень, здатних забезпечити ефективний, точний та екологічно безпечний збір урожаю.

Роботизовані платформи для збору фруктів стають перспективним напрямком агроінженерії, інтегруючи досягнення у галузях комп'ютерного зору, машинного навчання, мехатроніки та штучного інтелекту. Такі системи дозволяють не лише скоротити витрати на виробництво, але й підвищити якість продукції за рахунок мінімізації механічних пошкоджень, оптимізувати терміни збору та забезпечити сталість процесів незалежно від зовнішніх умов. Однак створення універсальної роботизованої платформи для збору яблук потребує врахування низки технічних викликів, таких як ідентифікація плодів у різних фазах дозрівання, адаптація до різноманітних форм крон дерев, забезпечення стабільності роботи в умовах нерівномірного освітлення чи перешкод.

Метою даної дипломної роботи є розробка конструкції роботизованої платформи для збору яблук, яка поєднує високу точність визначення місцеположення плодів, адаптивність до умов саду та енергоефективність.

					01.09 – КР. 2265 –Є” 2024.12.16. 014 ПЗ		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			
<i>Розроб.</i>		Щальнікова.Д.			<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушіє</i>
<i>Перевір.</i>		Ляшко А.П.				6	
					ВСТУП НУБіП України		
<i>Н. Контр.</i>							
<i>Затверд.</i>							

Завдання дослідження включають аналіз існуючих аналогічних систем, проектування механічної частини платформи з урахуванням особливостей садових насаджень, обґрунтування вибору сенсорних та виконавчих модулів, а також моделювання алгоритмів управління для автономного переміщення та маніпуляцій з плодами.

Актуальність роботи обумовлена потребою українських аграріїв у сучасних технологіях, здатних конкурувати на міжнародному ринку, знижуючи собівартість продукції та підвищуючи її якість. Практична цінність полягає у створенні прототипу, який може стати основою для подальшого масштабування та впровадження в реальні виробничі умови. Дослідження також сприятиме розвитку вітчизняної робототехніки, демонструючи можливості інтеграції міждисциплінарних знань для вирішення актуальних завдань аграрного сектору.

Структура роботи включає теоретичний аналіз проблематики, опис методології проектування, та розрахунки основних компонентів системи.

					01.09 – КР. 2265 –Є” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ

1.1. Актуальність розробки

Сучасне сільське господарство стикається з низкою викликів, пов'язаних зі зростанням попиту на продовольчу продукцію, обмеженістю трудових ресурсів та необхідністю підвищення ефективності виробництва. Однією з ключових галузей, яка потребує інноваційних підходів, є садівництво, зокрема збирання фруктів, таких як яблука. Традиційні методи збору урожаю, що ґрунтуються на ручній праці, є трудомісткими, часозатратними та часто недостатньо ефективними. Це призводить до збільшення витрат і зниження конкурентоспроможності продукції на ринку.

Розробка роботизованої платформи для збору яблук є актуальною через наступні причини:

1. *Дефіцит робочої сили.* У багатьох регіонах спостерігається нестача кваліфікованих працівників для збору урожаю, що особливо гостро проявляється в період масового дозрівання фруктів. Автоматизація цього процесу дозволить компенсувати нестачу кадрів.

2. *Підвищення ефективності.* Роботизовані системи здатні працювати безперервно, що значно скорочує час збору урожаю та збільшує продуктивність.

3. *Зменшення витрат.* Використання роботів дозволяє знизити витрати на оплату праці, а також мінімізувати втрати урожаю через людський фактор.

4. *Екологічність.* Сучасні роботизовані платформи можуть бути розроблені з урахуванням екологічних вимог, що дозволяє зменшити вплив на навколишнє середовище.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Щальнікова.Д.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Ляшко А.П.				8	
Н. Контр.					РОЗДІЛ 1. ОБГРУНТУВАННЯ РОЗРОБКИ		
Затверд.							
					НУБіП України		

1. Конкурентоспроможність. Впровадження інноваційних технологій у сільське господарство дозволяє підвищити якість продукції та забезпечити її конкурентоспроможність на міжнародному ринку.

Таким чином, розробка роботизованої платформи для збору яблук є важливим кроком у напрямку модернізації сільського господарства, що відповідає сучасним вимогам ефективності, екологічності та економічної доцільності.

1.2. Загальні відомості про збір яблук

Збір яблук — це процес, який здається простим лише на перший погляд. Насправді він вимагає не лише фізичних зусиль, але й знань, досвіду та обережності, щоб не пошкодити плоди чи дерева. Традиційно яблука збирають вручну: працівники обережно знімають кожен плід, сортують його за розміром, кольором і якістю, а потім упаковують. Однак із розвитком технологій з'явилися нові способи збору, які значно полегшують цей процес. Одним із таких інноваційних підходів є роботизований збір.

Роботизований збір яблук ґрунтується на використанні спеціальних машин, які поєднують у собі механічні, електронні та програмні компоненти. Ось основні принципи їх роботи:

1. Сканування та ідентифікація. Роботи оснащені камерами, лазерами та іншими сенсорами, які "бачать" дерево та плоди на ньому. Вони аналізують розмір, колір і навіть стан яблука, щоб визначити, чи готове воно до збору.

2. Механічний збір. Замість людських рук використовуються роботизовані «руки» – маніпулятори зі спеціальними захватами або вакуумними пристроями (рис.1.1). Вони обережно знімають яблука, не пошкоджуючи їх або гілки.

3. Сортування та упаковка. Після збору плоди автоматично передаються на конвеєр, де їх сортирують за різними параметрами: розміром,

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		9

кольором, ступенем стиглості (рис.1.2). Це робиться за допомогою програм, які "вчаться" розпізнавати якісні плоди.

4. Автономність. Багато таких роботів можуть самостійно пересуватися садом завдяки системам GPS або навігації. Вони "знають", де знаходяться дерева, і можуть працювати без постійного контролю людини.

5. Адаптація. Роботизовані системи можна налаштувати під різні типи садів: чи то низькі дерева, чи то високі, густі посадки чи розріджені. Це робить їх універсальними для різних господарств.

Роботизований збір яблук – це не просто "модна" технологія. Він вирішує кілька серйозних проблем такі як економія часу, зменшення витрат, зменшення пошкоджених плодів та можливість масштабуватися.



Рис.1.1. Роботизована «рука» маніпулятора



Рис.1.2 Конвеєр для сортування і фасування яблук

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		10

1.3. Аналіз конструкцій роботів для збору яблук

Роботизовані системи для збору яблук є складними технічними пристроями, які поєднують у собі механічні, електронні та програмні компоненти. Їх конструкції можуть відрізнятися залежно від призначення, типу саду та технологічних вимог. Проте всі вони мають спільні елементи, які забезпечують їх ефективну роботу. Розглянемо основні типи конструкцій та їх особливості.

Мобільні платформи

Мобільні роботизовані платформи є одним із найпоширеніших рішень для збору яблук. Вони оснащені колесами або гусеницями, що дозволяє їм пересуватися між рядами дерев (рис.1.3). Основні компоненти таких платформ:

- Шасі: забезпечує стабільність і маневреність у саду.
- Система навігації: GPS, лідари або камери для автономного пересування.
- Енергоживлення: акумулятори або сонячні панелі для забезпечення тривалої роботи.



Рис.1.3. Мобільна роботизована платформа

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Маніпулятори

Маніпулятори – це «руки» робота, які безпосередньо виконують збір плодів. Вони можуть мати різну конструкцію:

- Механічні захвати: використовують пальці або щупальця для обхоплення яблука.
- Вакуумні пристрої: засмоктують плоди за допомогою повітряного потоку (рис.1.4).
- М'які матеріали: для мінімізації пошкоджень плодів.

Маніпулятори часто оснащені сенсорами тиску, щоб контролювати силу стискання.



Рис.1.4. Робот з вакуумною системою захвату

Системи комп'ютерного зору

Це «очі» робота, які дозволяють йому бачити та аналізувати навколишнє середовище. Основні елементи:

- Камери: для отримання зображень дерев і плодів.
- Лазерні сканери: для визначення відстані до об'єктів.
- Штучний інтелект: для розпізнавання яблук, їх розміру, кольору та ступеня стиглості.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

Системи сортування та упаковки

Після збору яблука потрапляють на конвеєрну стрічку, де вони автоматично сортируються (рис.1.5). Конструкція таких систем включає:

- Конвеєри: для транспортування плодів.
- Сенсори: для аналізу параметрів яблук.
- Сортувальні механізми: для розподілу плодів за категоріями.



Рис.1.5. Конвеєр для сортування

Джерела живлення

Роботизовані платформи потребують енергії для роботи. Найчастіше використовуються:

- Акумулятори: для автономної роботи.
- Гібридні системи: поєднання акумуляторів і сонячних панелей.

Типи конструкцій залежно від саду

- Для низьких дерев: компактні роботи з короткими маніпуляторами (рис.1.3).
- Для високих дерев: платформи з висувними "руками" або навіть дронами для збору плодів у верхніх ярусах (рис.1.4).
- Для густих посадок: вузькі платформи з високою маневреністю.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

Таблиця 1.1.

Порівняльний аналіз конструкцій

Тип конструкції	Переваги	Недоліки
Мобільні платформи	Висока маневреність, автономність, підходить для великих садів.	Вимагає рівного рельєфу, може бути дорогим у виробництві.
Стаціонарні системи	Проста конструкція, нижча вартість.	Обмежена зона дії, не підходить для великих садів.
Дрони	Можливість збору з високих дерев, висока точність.	Обмежений час роботи через малу ємність.

Висновок: конструкції роботів для збору яблук постійно вдосконалюються, що дозволяє їм ставати більш ефективними, точними та доступними. Вибір конкретної конструкції залежить від умов саду, бюджету та технологічних вимог. Найперспективнішими є мобільні платформи з автономними системами навігації та маніпуляторами, які поєднують в собі точність і ефективність.

1.4. Аналіз конструкцій робочих органів

Робочі органи є ключовим компонентом роботизованих систем для збору яблук, оскільки саме вони безпосередньо взаємодіють із плодами. Від їх конструкції залежить ефективність збору, швидкість роботи та мінімізація пошкоджень яблук і дерев. Розглянемо основні типи робочих органів, їх конструктивні особливості та принципи роботи.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

Механічні захвати

Механічні захвати є одним із найпоширеніших типів робочих органів. Вони працюють за принципом обхоплення плоду та відділення його від гілки. Основні елементи конструкції:

- Пальці або щупальця: виготовлені з м'яких матеріалів (гума, силікон) для мінімізації пошкоджень плодів.
- Привід: механічний або пневматичний, що забезпечує рух пальців.
- Сенсори тиску: для контролю сили стискання, щоб уникнути пошкодження яблук.

Переваги:

- Простота конструкції.
- Надійність у роботі.

Недоліки:

- Обмежена швидкість збору.
- Можливість пошкодження плодів при неправильному налаштуванні.

Вакуумні пристрої

Вакуумні робочі органи використовують повітряний потік для захоплення та утримання плодів. Конструкція включає:

- Вакуумний насос: створює необхідний рівень розрідження.
- Присоски: м'які насадки, які контактують із поверхнею яблука.
- Система керування: регулює силу смоктання.

Переваги:

- Висока швидкість збору.
- Мінімальний ризик пошкодження плодів.

Недоліки:

- Вимагає стабільного джерела енергії.
- Може бути неефективним для плодів із нерівною поверхнею.

Обертові щітки

Обертові щітки використовуються для збору яблук шляхом "вичісування" їх із гілок. Конструкція включає:

					01.09 – КР. 2265 "С" 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Щітки: виготовлені з м'якого матеріалу, щоб не пошкодити плоди.
- Привід: забезпечує обертання щіток.
- Направляючі: для спрямування плодів у збірний контейнер.

Переваги:

- Висока продуктивність.
- Підходить для масового збору.

Недоліки:

- Може пошкоджувати плоди або гілки при неправильному використанні.
- Обмежена точність.

Комбіновані системи

Комбіновані робочі органи поєднують у собі кілька технологій, наприклад, механічні захвати та вакуумні пристрої. Такі системи забезпечують більш гнучкий підхід до збору плодів.

Переваги:

- Висока точність і ефективність.
- Можливість адаптації до різних типів плодів.

Недоліки:

- Складність конструкції.
- Вища вартість.

Інноваційні рішення

Останнім часом з'являються новітні конструкції робочих органів, наприклад:

М'які роботизовані пальці: використовують штучні м'язи для більш точного захоплення.

- Адаптивні захвати: здатні змінювати форму залежно від розміру та форми плоду.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

Порівняльний аналіз робочих органів

Тип робочого органу	Переваги	Недоліки
Механічні захвати	Надійність, простота конструкції	Обмежена швидкість, ризик пошкодження плодів
Вакуумні пристрої	Висока швидкість, мінімальний ризик пошкоджень	Вимагає стабільного джерела енергії
Обертові щітки	Висока продуктивність, підходить для масового збору	Може пошкоджувати плоди або гілки
Комбіновані системи	Висока точність, гнучкість	Складність конструкції, вища вартість

Висновок: вибір робочого органу залежить від конкретних умов експлуатації, таких як тип саду, розмір плодів та вимоги до швидкості збору. Найперспективнішими є комбіновані системи, які поєднують переваги різних технологій, забезпечуючи високу ефективність та мінімальний ризик пошкодження плодів.

1.5. Аналіз конструкцій приводів

Приводи є важливою складовою роботизованих систем для збору яблук, оскільки вони забезпечують рух робочих органів, маніпуляторів та інших механічних компонентів. Вибір типу приводу впливає на продуктивність, точність та енергоефективність роботи. Розглянемо основні типи приводів, їх конструктивні особливості та сферу застосування.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Електричні приводи

Електричні приводи є одним із найпоширеніших рішень у сучасних роботизованих системах. Вони працюють за рахунок електродвигунів, які перетворюють електричну енергію на механічний рух.

Конструктивні особливості:

- Електродвигуни: змінного або постійного струму.
- Редуктори: для зменшення швидкості обертання та збільшення крутного моменту.
- Системи керування: мікроконтролери або драйвери для точного регулювання руху.

Переваги:

- Висока точність позиціонування.
- Простота інтеграції з електронними системами керування.
- Відсутність викидів, що робить їх екологічно чистими.

Недоліки:

- Обмежений крутний момент у порівнянні з гідравлічними приводами.
- Вимагає стабільного джерела живлення.

Пневматичні приводи

Пневматичні приводи використовують стиснене повітря для створення руху. Вони часто застосовуються у вакуумних системах захоплення плодів.

Конструктивні особливості:

- Пневмоциліндри: для забезпечення лінійного або обертального руху.
- Компресори: для створення стисненого повітря.
- Клапани: для регулювання потоку повітря.

Переваги:

- Висока швидкість роботи.
- Простота конструкції та обслуговування.
- Відсутність необхідності у зворотному зв'язку для базових операцій.

Недоліки:

- Обмежений контроль над точністю позиціонування.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
						18
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- Вимагає додаткового обладнання (компресори, трубопроводи).

Гідравлічні приводи

Гідравлічні приводи використовують рідину під тиском для створення великого зусилля. Вони застосовуються у важких умовах, де потрібен високий крутний момент.

Конструктивні особливості:

- Гідроциліндри: для лінійного руху.
- Гідромотори: для обертального руху.
- Насоси та клапани: для регулювання потоку рідини.

Переваги:

- Високий крутний момент.
- Здатність працювати під великими навантаженнями.

Недоліки:

- Складність конструкції та обслуговування.
- Вища вартість у порівнянні з електричними приводами.
- Можливі витіки рідини, що робить їх менш екологічно чистими.

Комбіновані приводи

Комбіновані приводи поєднують у собі переваги різних типів приводів. Наприклад, електричний привід може використовуватися для точного позиціонування, а гідравлічний — для забезпечення великого зусилля.

Переваги:

- Гнучкість у роботі.
- Можливість адаптації до різних завдань.

Недоліки:

- Складність конструкції.
- Вища вартість.

Інноваційні рішення

Останнім часом з'являються новітні типи приводів, наприклад:

- П'єзоелектричні приводи: використовують ефект п'єзоелектрика для точного мікропереміщення.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- М'які приводи: виготовлені з еластичних матеріалів, які змінюють форму під дією електричного струму або тиску.

Таблиця 1.3

Порівняльний аналіз приводів

Тип приводу	Переваги	Недоліки
Електричні	Висока точність, екологічність, простота керування	Обмежений крутний момент, залежність від джерела живлення
Пневматичні	Висока швидкість, простота конструкції	Обмежений контроль над точністю, вимагає додаткового обладнання
Гідравлічні	Високий крутний момент, здатність працювати під навантаженням	Складність конструкції, вища вартість, можливі витіки рідини
Комбіновані	Гнучкість, адаптивність до різних завдань	Вища вартість, складність конструкції

Висновок: вибір типу приводу залежить від конкретних вимог до роботизованої системи. Для збору яблук найчастіше використовуються електричні приводи через їхню точність та екологічність, однак у випадках, де потрібне велике зусилля, можуть застосовуватися гідравлічні або комбіновані системи. Пневматичні приводи є ефективними для швидкісних операцій, таких як вакуумний збір плодів.

РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ

2.1. Визначення товщини стінки ланок

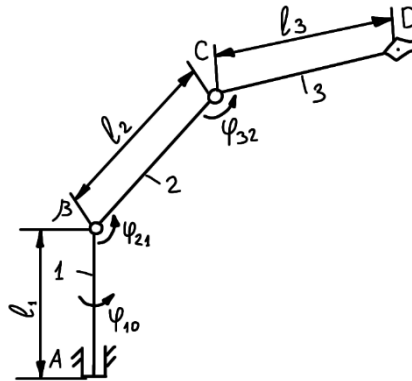
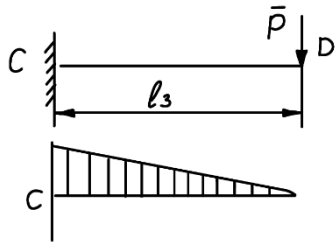


Рис. 2.1. Маніпулятор для збору яблук

1. Розрахунок ланки

$$P = P_B + P_3 \quad (2.1)$$



P – вага вантажу (яблука) і захватного пристрою

Нехай вага вантажу:

$$P_B = m_B * g = 0,5 * 9,81 = 4,95 \text{ Н} \approx 5,0 \text{ Н} \quad (2.2)$$

Захват:

$$P_3 = 0,5 * P_B = 0,5 * 5 = 2,5 \text{ Н} \quad (2.3)$$

Тоді навантаження на ланку 3 P приймаю таке значення:

$$P = P_B + P_3 = 5,0 + 2,5 = 7,5 \text{ Н} \quad (2.4)$$

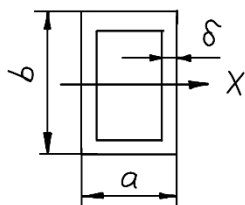
Довжина ланки $l_3 = 0,8 \text{ м}$.

$$M_C = P * l_3 = 7,5 * 0,8 = 6,0 \text{ Н*м} \quad (2.5)$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ						
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ			Літ.	Арк.	Акрушів	
Розроб.		Щальнікова.Д.								21	
Перевір.		Ляшко А.П.									
Н. Контр.											
Затверд.											
					НУБіП України						

Нехай ланка 3 має переріз у вигляді пустотілої прямокутної труби.

Ланка 3 працює на згин.



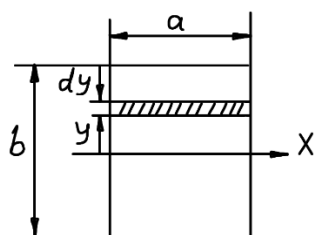
$$\zeta = M_C/w_x = \leq [\zeta] \quad (2.6)$$

тут w_x – момент опору площі поперечного перерізу ланки 3. $[\zeta] = 425 \cdot 10^6$ – допустиме навантаження на згин матеріалу ланки 3.

Для визначення моменту опору знайдемо момент інерції площі поперечного перерізу відносно осі x:

$$J_x = J_{cx} - J_{nx}$$

Нехай $a = 0,05$ м. $b = 0,075$ м.



$$J_{cx} = 2 \int_0^{b/2} ay^2 dy = 2a \frac{y^3}{3} \Big|_0^{b/2} = 2 \frac{ab^3}{3 \cdot 8} = 2 \frac{ab^3}{24} = \frac{ab^3}{12} = 1,76 \cdot 10^{-6} \quad (2.7)$$

$$W_{cx} = \frac{J_{cx}}{b/2} = \frac{2J_{cx}}{b} = \frac{ab^2}{6} = 4,69 \cdot 10^{-5} \quad (2.8)$$

Пустотілий прямокутник буде мати розміри:

$$a_1 = a - 2\delta \text{ та } b_1 = b - 2\delta$$

Тоді момент опору для полого прямокутника відносно осі x буде дорівнювати:

$$W_{nc} = \frac{(a-2\delta)(b-2\delta)^2}{6} = 6,23 \cdot 10^{-4}$$

$$\begin{aligned} W_x &= W_{cx} - W_{nx} = [ab^2 - (a-2\delta)(b-2\delta)^2]/6 = \\ &= [ab^2 - (a-2\delta)(b^2 - 4b\delta + 4\delta^2)]/6 = \\ &= [ab^2 - ab^2 + 4ab\delta - 4a\delta^2 + 2b^2\delta - 8b\delta^2 + 8\delta^3]/6 = \\ &= [(4ab + 2b^2)\delta - 4(a+2b)\delta^2 + 8\delta^3]/6 \end{aligned} \quad (2.9)$$

Якщо підставити числові значення то отримаємо:

$$W_x = [2b(2a+b)\delta - 4(a+2b)\delta^2 + 8\delta^3]/6 =$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		22

$$[2b(2a+b)\delta - 2(a+2b)\delta^2 + 4\delta^3]/3 =$$

$$[0,075(0,1+0,075)\delta - 2(0,05+0,15)\delta^2 + 8\delta^3]/3 =$$

$$(0,0131\delta - 0,4\delta^2 + 8\delta^3)/3 \quad (2.10)$$

$$W_x = \frac{Mc}{[\sigma]} \quad (2.11)$$

$$8\delta_3^3 - 0,4\delta_3^2 + 0,0131\delta_3 = 3 \frac{Mc}{[\sigma]} \quad (2.12)$$

В залежності від обраного матеріалу, необхідно розв'язати рівняння:

$$8\delta^3 - 0,4\delta^2 + 0,0131\delta = 18/[\zeta] = 18/(425 \cdot 10^6) \quad (2.13)$$

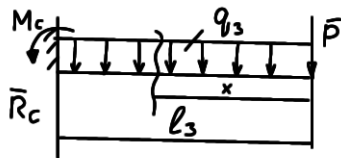
Маса ланки маніпулятора:

$$M_3 = 2(a+b)\delta_3 \cdot l_3 \rho = 2 \cdot (0,05+0,075) \cdot 0,002 \cdot 0,8 \cdot 7,8 \cdot 10^3 \quad (2.14)$$

Вагу ланки розподілимо по її довжині з

питомим навантаженням

$$Q_3 = \frac{m_3 \cdot g}{l_3} = 2(a+b)\delta_3 \cdot \rho \cdot g \quad (2.15)$$



$$M_x = Px + q_3 \cdot x^2/2$$

$$M_{c1} = P \cdot l_3 + q_3 \cdot l_3^2/2 \quad (2.16)$$

$$R_{c1} = P + q_3 \cdot l_3$$

Тепер розв'яжемо рівняння (2.12) з повним значенням моменту в точці С M_{c1} , тобто:

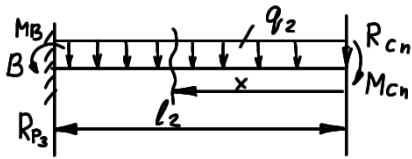
$$8 \cdot \delta_3^3 - 0,4 \cdot \delta_3^2 + 0,0131 \cdot \delta_3 = 3 \frac{M_{c1}}{[\sigma]} \quad (2.17)$$

Після того як буде знайдено нове значення товщини стінки δ_{31} , знайдемо за формулами (2.14) і (2.15) нові значення маси ланки m_{31} та розподіленого навантаження q_{31} і за формулами (2.16) визначимо нові значення моменту M_{c2} і реакції R_{c2}

Розрахунки проводимо до тих пір поки товщина стінки попереднього розрахунку δ_{3n-1} не співпаде з наступним розрахунком δ_n , тобто $\delta_{3n-1} = \delta_n$.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		23

Аналогічно проводимо розрахунок другої ланки манипулятора для якої розрахункова схема буде мати вигляд (рис.)



Для першого розрахунку ланки 2 приймаємо що її розміри поперечного перерізу дорівнюють розмірам останнього розрахунку для ланки 3, тобто $\delta_2 = \delta_{3n}$, $q_2 = q_{3n}$

```

WOLFRAM CLOUD
Plan: Basic UPGRADE
(named)

(* Розв'язання рівняння  $8x^3 - 0.4x^2 + 0.0131x = 3M/b$  з  $M = 6$  і  $b = 425$  *)

(* Задаємо конкретні значення параметрів *)
mv = 0.5; (* маса яблука *)
σ = 425 * 10^6; (* допустиме напруження на згин матеріалу ланки 3 *)
g = 9.81;
l3 = 0.8; (* довжина 3 ланки *)
Pv = mv * g (* вага вантажу *)
P3 = 0.5 * Pv (* вага захвату *)
P = Pv + P3 (* навантаження на ланку 3 *)
M = P * l3

(* Обчислюємо праву частину рівняння *)
rightSide = 3 * M / σ

(* Результат:  $3 * 6 / 425 = 18 / 425 \approx 0.0423529$  *)
(* Створюємо рівняння з підставленими значеннями *)
equation = 8 * δ^3 - 0.4 * δ^2 + 0.0131 * δ == 3 * M / σ;

(* Використовуємо NSolve для чисельного розв'язку *)
solutions = NSolve[equation, δ, Reals]

(* Виведення лише числових значень коренів *)
δValues = δ /. solutions

(* Перевірка коренів шляхом підстановки назад у рівняння *)
leftSide = 8 * δ^3 - 0.4 * δ^2 + 0.0131 * δ /. solutions;
verification = Table[{δValues[[i]], leftSide[[i]], rightSide, Abs[leftSide[[i]] - rightSide]}, {i, 1, Length[solutions]}];
Grid[Join[{"Значення δ", "Ліва частина", "Права частина", "Похибка"}, verification], Frame -> All]

```

Рис. 2.2. Вихідні дані для розв'язання рівняння та програмний код В Wolfram Cloud

```

Out[ ]:= 4.905

Out[ ]:= 2.4525

Out[ ]:= 7.3575

Out[ ]:= 5.886

Out[ ]:= 4.15482×10-8

Out[ ]:= {{δ → 3.17193×10-6}}

Out[ ]:= {3.17193×10-6}

Out[ ]:=

```

Значення δ	Ліва частина	Права частина	Похибка
3.17193×10 ⁻⁶	4.15482×10 ⁻⁸	4.15482×10 ⁻⁸	0.

Рис. 2.3. Результат розв'язок для 1 ланки

```

In[ ]:= a = 0.05; (* розмір ланки 3 *)
b = 0.075; (* розмір ланки 3 *)
δ1 = 0.002; (* обрана відповідно до стандарту товщина матеріалу *)
ρ = 7.8 * 10^3; (* об'ємна вага Ст3 *)
q3 = 2 * (a + b) * δ1 * ρ * g; (* уточнена вага ланки 3 *)
M1 = P * l3 + q3 * l3^2 / 2; (* Уточнений момент *)

```

WOLFRAM CLOUD Plan: Basic UPGRADE

```

(* Обчислимо праву частину рівняння *)
rightSide = 3 * M1 / σ
(* Результат : 3 * 6 / 425 = 18 / 425 ≈ 0.0423529 *)

(* Створимо рівняння з підставленими значеннями *)
equation2 = 8 * δ3^3 - 0.4 * δ3^2 + 0.0131 * δ3 == 3 * M1 / σ;

(* Використовуємо NSolve для чисельного розв'язку *)
solutions2 = NSolve[equation2, δ3, Reals]

(* Виведення лише числових значень коренів *)
δ3Values = δ3 /. solutions2

(* Перевірка коренів шляхом підстановки назад у рівняння *)
leftSide = 8 * δ3^3 - 0.4 * δ3^2 + 0.0131 * δ3 /. solutions2;
verification = Table[{δ3Values[[i]], leftSide[[i]], rightSide, Abs[leftSide[[i]] - rightSide]}, {i, 1, Length[solutions2]}];
Grid[Join[{"Значення δ3", "Ліва частина", "Права частина", "Похибка"}, verification], Frame → All]

```

```

Out[ ]:= 1.27969×10-7

Out[ ]:= {{δ3 → 9.77151×10-6}}

Out[ ]:= {9.77151×10-6}

Out[ ]:=

```

Значення δ3	Ліва частина	Права частина	Похибка
9.77151×10 ⁻⁶	1.27969×10 ⁻⁷	1.27969×10 ⁻⁷	2.64698×10 ⁻²³

Рис. 2.4. Вихідні дані та код розв'язку для 2 ланки

```

In[ ]:=
δ31 = 0.002; (* обрана відповідно до стандарту товщина матеріалу *)
ρ = 7.8 * 10^3; (* об'ємна вага Ст3 *)
q31 = 2 * (a + b) * δ31 * ρ * g; (* нове значення ваги ланки 3 *)
M2 = P * l3 + q31 * l3^2 / 2; (* нові значення момент *)
δ2 = δ31;
q2 = q31;
R2 = P + q31 * l3;
l2 = 1;
Mv1 = M2 + R2 * l2 + q2 * l2^2 / 2 (* нові значення момент *)
q21 = 2 * (a + b) * δ21 * ρ * g; (* значення ваги ланки 2 *)
(* Обчислюємо праву частину рівняння *)
rightSide = 3 * Mv1 / σ
(* Результат : 3 * 6 / 425 = 18 / 425 ≈ 0.0423529 *)

(* Створюємо рівняння з підставленими значеннями *)
equation3 = 8 * δ22^3 - 0.4 * δ22^2 + 0.0131 * δ22 == 3 * Mv1 / σ;

(* Використовуємо NSolve для чисельного розв'язку *)
solutions22 = NSolve[equation3, δ22, Reals]

(* Виведення лише числових значень коренів *)
δ22Values = δ22 /. solutions22

```

Рис. 2.5. Уточнення вихідних даних

```

δ22Values = δ22 /. solutions22

(* Перевірка коренів шляхом підстановки назад у рівняння *)
leftSide = 8 * δ22^3 - 0.4 * δ22^2 + 0.0131 * δ22 /. solutions22;
verification = Table[{δ22Values[[i]], leftSide[[i]], rightSide, Abs[leftSide[[i]] - rightSide]}, {i, 1, Length[solutions22]}];
Grid[Join[{"Значення δ22", "Ліва частина", "Права частина", "Похибка"}, verification], Frame -> All]

Out[ ]:= 75.2231
Out[ ]:= 5.30986×10-7
Out[ ]:= {{δ22 -> 0.0000405836}}
Out[ ] Copy to clipboard.
Out[ ]:=


| Значення δ22 | Ліва частина             | Права частина            | Похибка |
|--------------|--------------------------|--------------------------|---------|
| 0.0000405836 | 5.30986×10 <sup>-7</sup> | 5.30986×10 <sup>-7</sup> | 0.      |


```

Рис. 2.6. Розв'язок для 2 ланки

$$\begin{aligned}
 M_X &= M_{cn} + R_{cn} * x + q_2 * x^2 / 2 \\
 M_B &= M_{cn} + R_{cn} * l_2 + q_2 * l_2^2 / 2 \\
 R_B &= R_{cn} + q_2 * l_2
 \end{aligned}
 \tag{2.18}$$

Тоді розв'яжемо рівняння:

$$8*\delta_{21}^3 - 0,4*\delta_{21} + 0,0131*\delta_{21} = 3 \frac{M_{c1}}{[\sigma]} \quad (2.19)$$

Розв'язавши рівняння (19) знайдемо повну товщину стінки ланки 2 δ_{21} .

Після чого визначимо масу другої ланки:

$$m_{21} = 2(a+b)\delta_{21} * l_2 * \rho \quad (2.20)$$

і розподілимо навантаження від її ваги:

$$q_{21} = \frac{m_{21} * g}{l_2} = 2(a+b) \delta_{21} * \rho * g \quad (2.21)$$

Після чого знаходимо нові значення моменту M_{B1} та реакції R_{B1} за формулами (18), замінивши в них q_2 на q_{21} . В результаті чого рівняння (19) буде мати вигляд:

$$8*\delta_{22}^3 - 0,4*\delta_{22} + 0,0131*\delta_{22} = 3 \frac{M_{B1}}{[\sigma]} \quad (2.22)$$

Розрахунки проводимо до тих пір поки товщина стінки попереднього розрахунку δ_{2n-1} не співпадуть з наступним розрахунком δ_{2n} , тобто $\delta_{2n-1} = \delta_{2n}$.

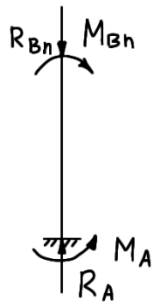


Рис.

Розрахункова
схема ланки 1

Ланка 1 працює на згин і повздовжний стиск.

Вддовж стержня діє постійний момент M_{Bn} і $M_1 = - M_{Bn}$.

2.2. Розрахунок планетарного механізму приводу ланок маніпулятора

Вихідні дані:

Тип приводу: гусеничний

Кількість приводних двигунів: $n_d = 2$ (по 1 на борт)

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

Тип приводних двигунів: гідравлічний радіально-поршневий двигун.

Тип бортового редуктора: планетарний 2К-Н типу А.

Номінальна швидкість переміщення: $V_n=12$ км/год.

Максимальна маса платформи $m_f=1200$ кг.

Номінальне тягове зусилля $F_t=4200$ Н.

Час напрацювання бортової передачі $t_h=20\ 000$ год.

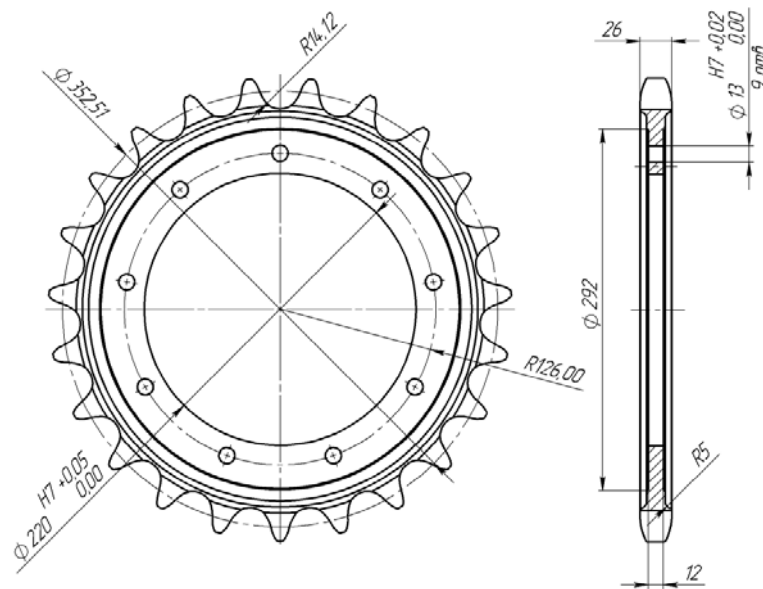


Рис. 2.7. Габаритні розміри приводної зірочки

Кількість зубів $Z=23$;

Крок $t=48$.

2.2.1 Визначення потужності приводних двигунів

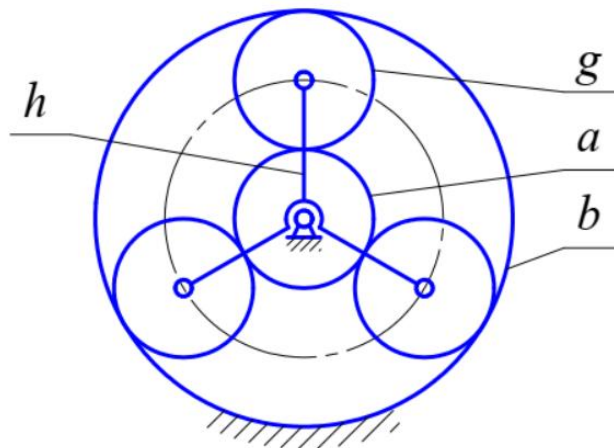


Рис.2.8. Схема планетарної передачі 2К-Н типу А.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

a і b – центральні колеса, g – сателіт, h – водило.

Визначення сили опору переміщенню робота:

$$F_c = f \cdot g \cdot m_r = 0,1 \cdot 9,81 \cdot 1200 = 1177,2$$

де: $f=0,1$ коефіцієнт супротиву переміщення.

Визначення загального коефіцієнту корисної дії двигуна та бортового редуктора:

$$\eta_z = \eta_d \cdot \eta_r,$$

$$\eta_z = 0,91 \cdot 0,97 = 0,88.$$

Визначення необхідної потужності двигунів:

$$P' = \frac{(F_t + F_c) \cdot V \cdot n}{3600 \cdot \eta_z \cdot k_z} / n_d = \frac{(4200 + 1177,2) \cdot 12}{3600 \cdot 0,88 \cdot 0,9} / 2 = 11,31 \text{ кВт}$$

де $k_z = 0,9$ – коефіцієнт запасу

В якості приводних двигунів виберемо двигун GM03-50

характеристики якого наведені в таблиці 1

Таблиця 2.1

GM03-50	-	-
Робочий об'єм	см ³ /об	49
Крутний момент	Нм/бар	0.80
Номінальний тиск	Бар	200
Максимальний тиск	Бар	390
Номінальні оберти	Об/хв	805
Максимальні оберти	Об/хв	1150
Номінальна потужність	кВт	12.35
ККД гідромеханічний	-	0.96
ККД об'ємний	-	0.95
Маса двигуна	кг	12

Визначення частоти обертання приводної зірочки (вихідного валу бортового редуктора) при номінальній швидкості переміщення платформи:

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

$$n_h = \frac{50 \cdot Vn}{3 \cdot D_3 \cdot \pi} = \frac{50 \cdot 12}{3 \cdot 0.35251 \cdot 3.14} = 180.688$$

2.2.2 Кінематичний та енергетичний розрахунок планетарної передачі

В якості бортового редуктора приймемо планетарну передачу 2К-Н кінематична схема якої наведена на рис. 1.1. Планетарні передачі даного типу мають передаточне відношення в одноступінчастому варіанті від 3 до 9

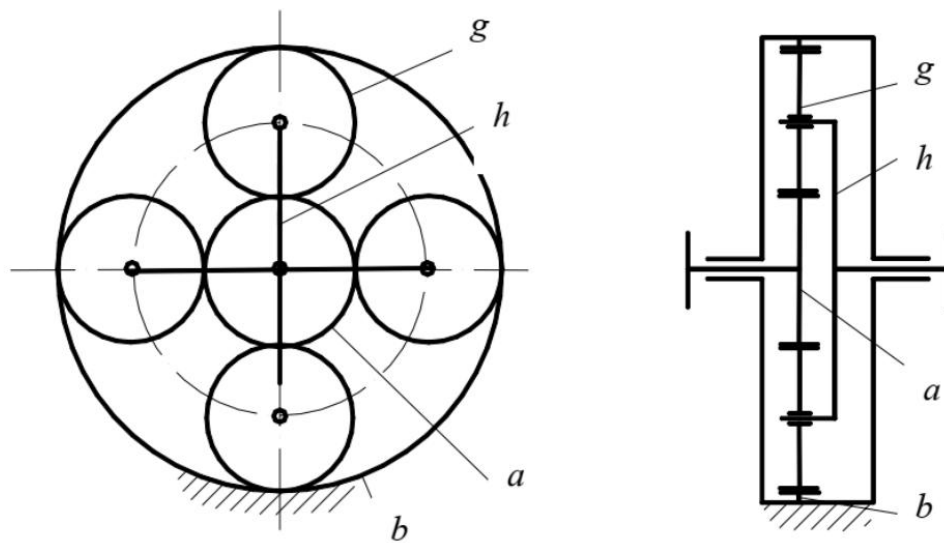


Рис. 2.9. Кінематична схема планетарної передачі 2К-Н а – центральне колесо (вхідний вал); g – сателіт; b – центральне колесо; h – водило (вихідний вал)

Визначення загального передаточного числа планетарної передачі бортового редуктора:

$$U'_{nl} = \frac{na}{nh} = \frac{805}{180.688} = 4.455$$

Визначимо кількість сателітів із умови сусідства:

$$a'_c = \frac{0.9 \cdot \pi}{\arcsin\left(\frac{U'_{пл}-2}{U'_{пл}}\right)} = \frac{0.9 \cdot 3.14}{\arcsin\left(\frac{4.45-2}{4.45}\right)} = 4.8$$

Приймаємо $a_c = 4$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

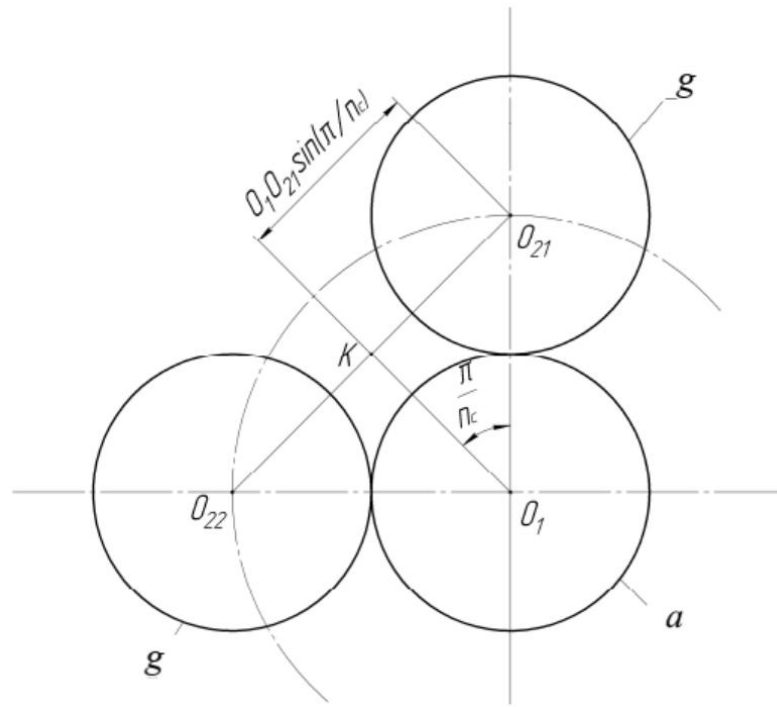


Рис. 2.10. Умова сусідства сателітів

Визначимо крутний момент двигуна та відповідно крутний момент на центральному колесі а:

$$T_a = T_{гд} * P_{max} * 10^3 = 0.80 * 390 * 10^3 = 312\ 000$$

Визначимо частоту обертання центрального колеса а, в оберненому русі (при зупиненому водилі h):

$$n_a^h = n_a - n_h = 805 - 180.7 = 624.312$$

Визначимо частоту обертання центрального колеса b, в оберненому русі (при зупиненому водилі h):

$$n_b^h = - n_h = - 180.688$$

Визначимо передаточне число між сателітами g та центральним колесом b в оберненому русі (при зупиненому водилі h):

$$U_{gb}^h = \frac{U'_{пл} - 1}{\frac{U'_{пл}}{2} - 1} = \frac{4.45 - 1}{\frac{4.45}{2} - 1} = 2.815$$

Визначимо передаточне число між центральним колесом а, та сателітами g в оберненому русі (при зупиненому водилі h):

$$U_{ag}^h = \frac{U'_{пл}}{2} - 1 = \frac{4.45}{2} - 1 = 1,23$$

Визначимо передаточне число між сателітами g та центральним колесом a в оберненому русі (при зупиненому водилі h):

$$U_{ga}^h = \frac{1}{\frac{U_{пл}}{2} - 1} = \frac{1}{\frac{4.45}{2} - 1} = 0.815$$

Передаточні відношення між центральним колесом a та сателітами g, швидкість обертання сателіту:

$$n_g^h = \frac{nah}{U_{ag}^h} = \frac{624.3}{1.22} = 508,564$$

Приймаємо коефіцієнт нерівномірності $k_{нер} = 1.22$ для 4 сателітів та без плаваючих центральних коліс.

$$T_{ag} = \frac{T_a * k_{нер}}{ac} = \frac{312000 * 1.22}{4} = 95\ 160$$

$$T_{gb} = \frac{T_a * U_{ag}^h * k_{нер}}{ac} = \frac{312000 * 1.23 * 1.22}{4} = 116\ 818$$

2.2.3 Визначення допустимих контактних напружень $[\sigma_H]$ для планетарної передачі 2К-Н типу А.

Колесо a – сталь 12ХН3А; вид термообробки – Цементация; твердість зубів на поверхні - HRC 56

Сателіти g – сталь 12ХН3А; вид термообробки – Цементация; твердість зубів на поверхні – HRC 63

Колеса b – сталь 40Х; вид термообробки – Поверхневе гартування; твердість зубів на поверхні - HRC 49

Для кожного зубчастого колеса визначаються допустимі контактні напруження та допустиме значення згину зубів:

$$[\zeta_{H\ lim\ a}] = 23 * HRC = 23 * 56 = 1288\ МПа$$

$$[\zeta_{H\ lim\ g}] = 23 * HRC = 23 * 56 = 1288\ МПа$$

$$[\zeta_{H\ lim\ b}] = 17 * HRC + 200 = 17 * 50 + 200 = 1050\ МПа$$

$$[\zeta_{F\ lim\ a}] = 800; [\zeta_{F\ lim\ g}] = 800; [\zeta_{F\ lim\ b}] = 650$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

Характеристики планетарної передачі

Колесо	a	g	b
n	$n_a^h = 624.312$	$n_g^h = 508.564$	$n_b = 180.688$
c	$c_a = 4$	$c_g = 1$	$c_b = 4$
k_{FC}	1	0.75	1

Приймаємо $S_H = 1.3$

Визначимо кількість циклів навантаження для кожного зубчастого колеса:

$$N_{HEa} = 60 * n_a^h * c_a * t_h = 60 * 624.312 * 4 * 20\,000 = 2\,996\,640\,000$$

$$N_{HEg} = 60 * n_g^h * c_g * t_h = 60 * 761.3 * 1 * 20\,000 = 913\,560\,000$$

$$N_{HEb} = 60 * n_b * c_b * t_h = 60 * 180.7 * 4 * 20\,000 = 867\,360\,000$$

Твердість поверхні зубів колеса $HRC_a = 60$, тоді приймаю

$$N_{HOa} = 12 * 10^7 = 120\,000\,000$$

Твердість поверхні зубів колеса $HRC_g = 60$, тоді приймаю

$$N_{HOg} = 12 * 10^7 = 120\,000\,000$$

Твердість поверхні зубів колеса $HRC_b = 50$, тоді приймаю

$$N_{HOb} = 30 * HB^{2.4} = 30 * 485^{2.4} = 83733900$$

$N_{HEa} > N_{HOa}$, тоді $K_{HLa} = 1$

$N_{HEg} > N_{HOg}$, тоді $K_{HLg} = 1$

$N_{HEb} > N_{HOb}$, тоді $K_{HLb} = 1$

Допустиме контактне напруження для передач:

$$[\zeta_H]_a = \frac{\sigma_H \lim a}{S_H} * K_{HLa} = \frac{1288}{1.3} * 1 = 991 \text{ МПа}$$

$$[\zeta_H]_g = \frac{\sigma_H \lim g}{S_H} * K_{HLg} = \frac{1288}{1.3} * 1 = 991 \text{ МПа}$$

$$[\zeta_H]_b = \frac{\sigma_H \lim b}{S_H} * K_{HLb} = \frac{1050}{1.3} * 1 = 808 \text{ МПа}$$

тоді:

$$[\zeta_H]_{ag} = 991 \text{ МПа}; [\zeta_H]_{gb} = 808 \text{ МПа}$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

2.2.4 Визначення допустимих напружень згину [σ_F] для планетарної передачі 2К-Н типу А.

При роботі зубів центральних коліс а і b однією стороною $k_{FC} = 1,0$.
Зуби сателіту g зачіплюються з центральними колесами різними сторонами зуба, тому $k_{FC} = 0,75$

$$\text{Приймаю } S_{Fa} = S_{Fg} = S_{Fb} = 1.8$$

$$N_{FO} = 4 \cdot 10^6 = 4\,000\,000$$

Визначимо кількість циклів навантаження для кожного зубчастого колеса:

$$N_{FEa} = 60 \cdot n_a^h \cdot c_a \cdot t_h = 60 \cdot 624.3 \cdot 4 \cdot 20\,000 = 2\,996\,640\,000$$

$$N_{FEg} = 60 \cdot n_g^h \cdot c_g \cdot t_h = 60 \cdot 761.3 \cdot 1 \cdot 20\,000 = 913\,560\,000$$

$$N_{FEb} = 60 \cdot n_b^h \cdot c_b \cdot t_h = 60 \cdot 180.7 \cdot 4 \cdot 20\,000 = 867\,360\,000$$

$$N_{FEa} > N_{FOa}, \text{ тоді } K_{FLa} = 1$$

$$N_{FEg} > N_{FOg}, \text{ тоді } K_{FLg} = 1$$

$$N_{FEb} > N_{FOb}, \text{ тоді } K_{FLb} = 1$$

Знаходимо допустиме напруження на згин:

$$G_{Fa} = \frac{\sigma_{F \lim a}}{S_{Fa}} \cdot K_{FLa} \cdot k_{FCa} = \frac{1288}{1.8} \cdot 1 \cdot 1 = 444 \text{ МПа}$$

$$G_{Fg} = \frac{\sigma_{F \lim g}}{S_{Fa}} \cdot K_{FLg} \cdot k_{FCg} = \frac{1449}{1.8} \cdot 1 \cdot 0.75 = 333 \text{ МПа}$$

$$G_{Fb} = \frac{\sigma_{F \lim b}}{S_{Fa}} \cdot K_{FLb} \cdot k_{FCb} = \frac{1033}{1.8} \cdot 1 \cdot 1 = 361 \text{ МПа}$$

де: $k_{FCi}=1,0$ - для центральних коліс а і b. Для сателітів $k_{FCi}= 0,75$ при цементації та поверхневому гартуванні.

2.2.5 Визначення основних параметрів передачі а-g

Основними параметрами передачі а-g будуть діаметр d_1 меншого з коліс, число його зубів z_1 та модуль зачеплення передачі.

Приймаю: $K' = 1.2$ - коефіцієнт навантаження.

$\psi'_{bd} = 0.5$ - коефіцієнт робочої ширини вінця зубів колеса.

Розрахунковий ділильний діаметр колеса а:

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		34

$$d'_a = 77 \cdot 3 \sqrt{\frac{\text{Tag} \cdot K \cdot (U_{ag} \cdot h + 1)}{[\sigma_H] a g^2 \cdot \psi'_{bd} \cdot U_{ag} \cdot h}} = 77 \cdot 3 \sqrt{\frac{95160 \cdot 1.2 \cdot (1.228 + 1)}{991^2 \cdot 0.5 \cdot 1.228}} = 57.755$$

Розрахункове значення робочої ширини вінця зубчастого колеса:

$$b'_w = \psi'_{bd} \cdot d'_a = 0.5 \cdot 57.755 = 28.88$$

Приймаю $b_w = 30$

Дійсне значення коефіцієнта робочої ширини вінця зубів колеса відносно його ділильного діаметра:

$$\psi_{bd} = \frac{b/w}{d/a} = \frac{30}{57.755} = 0.52$$

Значення колової швидкості:

$$V = \frac{\pi \cdot d'_a \cdot n_{ah}}{6 \cdot 10^4} = \frac{3.14 \cdot 57.755 \cdot 624,312}{60000} = 1.9 \text{ м/с}$$

Дійсне значення коефіцієнту навантаження:

$$K = K_\beta \cdot K_v = 1.05 \cdot 1.04 = 1.1$$

де: $K_\beta = 1.05$ - коефіцієнт нерівномірності розподілу навантаження по ширині зубчастого вінця. $K_v = 1.04$ - коефіцієнту динамічного навантаження.

2.2.6 Визначення модуля зачеплення планетарної передачі.

Приймаю: $Y'_F = 3.9$ - коефіцієнт форми зуба. $[\zeta_F] = 333 \text{ МПа}$ - значення допустимого згинаючого напруження.

Знайдемо значення модуля:

$$m' = \frac{2 \cdot \text{Tag} \cdot K \cdot Y'_F}{d'_a \cdot b_w \cdot [\sigma_F]} = \frac{2 \cdot 95160 \cdot 1.2 \cdot 3.9}{57.755 \cdot 30 \cdot 333} = 1.42$$

Приймаю $m = 1.5$

Знайдемо кількість зубів центрального колеса а:

$$z'_1 = z_a = \frac{d'_a}{m} = \frac{57.755}{1.5} = 38.5$$

Приймаю $z_1 = 36$

$Y_F = 3.77$

2.2.7 Підбір кількості зубів та уточнення передаточних чисел планетарної передачі 2К-Н типу А.

Якщо $U'_{пл} \geq 4$ тоді:

$$z'_a = z_1 = 36$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		35

Ведемо допоміжний коефіцієнт:

$$\lambda' = \frac{U'_{пл}}{a_c} * z_a = \frac{4,455}{4} * 36 = 40,097$$

Приймаю $\lambda = 40$

Знайдемо кількість зубів центрального колеса b:

$$z_b = \lambda * a_c - z_a = 69 * 4 - 62 = 124$$

Знайдемо кількість зубів сателіта g:

$$z'_g = \frac{z_b - z_a}{2} = \frac{124 - 36}{2} = 44$$

Визначимо дійсні передаточні числа:

$$U_{пл} = \frac{z_b}{z_a} + 1 = \frac{124}{36} + 1 = 4,444$$

Визначимо розбіжність між заданим та отриманим передаточним числом, яка повинна становити не більше $\Delta U_{пл} \leq 0,03$.

$$\Delta U_{пл} = \frac{U_{пл} - U'_{пл}}{U'_{пл}} = \frac{4,444 - 4,455}{4,455} = 0.0025$$

Якщо $U'_{пл} \geq 4$ тоді:

$$U^h_{ag} = z_g / z_a = 76 / 62 = 1,222$$

$$U^h_{gb} = z_b / z_g = 214 / 76 = 2,818$$

2.2.8 Визначення геометричних параметрів зачеплення планетарної передачі 2К-Н типу А.

Знайдемо міжосьову відстань між центральним колесом а та сателітом g:

$$a_w = a = m * \frac{z_a + z_g}{2} = 1,5 * \frac{36 + 44}{2} = 60$$

Знайдемо ділильні діаметри зубчастих коліс:

$$d_a = m * z_a = 1,5 * 36 = 54$$

$$d_g = m * z_g = 1,5 * 44 = 66$$

$$d_b = m * z_b = 1,5 * 124 = 186$$

Знайдемо діаметри вершин зубчастих коліс:

$$d_{a(a)} = d_a + 2 * m = 54 + 2 * 1,5 = 57$$

$$d_{a(g)} = d_g + 2 * m = 66 + 2 * 1,5 = 69$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		36

$$d_{a(b)} = d_b - 2 * m = 124 - 2 * 1,5 = 183$$

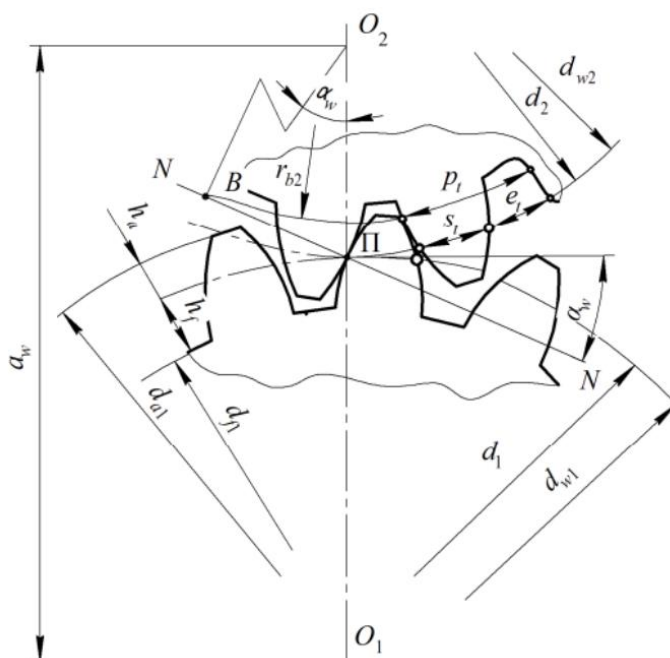


Рис. 2.11. Основні геометричні параметри евольвентного зачеплення

Знайдемо діаметри впадин зубчастих коліс:

$$d_{f(a)} = d_a - 2 * m = 36 - 2 * 1,5 = 51$$

$$d_{f(g)} = d_g - 2 * m = 44 - 2 * 1,5 = 63$$

$$d_{f(b)} = d_a + 2 * m = 124 + 2 * 1,5 = 128$$

Нормальна товщина зуба:

$$S_n = \frac{\pi}{2} * m = \frac{3,14}{2} * 1,5 = 2,355$$

Визначаю коефіцієнт корисної дії планетарного редуктора ККД однієї циліндричної пари $\eta_{\text{цил.}} = 0,985$

$$\eta_{\text{пл.}} = 1 - \left(1 - \frac{1}{U_{\text{пл.}}}\right) * (1 - \eta_{\text{цил.}}^2) = 1 - \left(1 - \frac{1}{4,45}\right) * (1 - 0,985^2) = 0,98$$

Визначимо дійсні крутні моменти в зачепленні g-b:

$$T_{gb} = T_{ag} * U_{ag}^h = 95160 * 1,22 = 116307$$

Дійсний крутний момент:

$$T_h = T_a * \eta_{\text{пл.}} * U_{\text{пл.}} = 312000 * 0,98 * 4,45 = 1\,354\,640$$

Визначимо значення радіальної сили в зачепленні a-g:

$$F_{t1} = 2 * \frac{T_{ag}}{d_a} = 2 * \frac{95160}{54} = 3524,44$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		37

2.2.9 Визначення ширини зубчастого колеса $b_{w(b)}$

Визначимо дійсне значення коефіцієнту форми зуба Y_F :

$$Y_{F(b)} = \frac{4*zb}{zb+20} = \frac{4*124}{124+20} = 3,44$$

Визначимо ширину зубчастого вінця колеса b із розрахунку на згинальну міцність:

$$b_{w(F)} = \frac{2*Tgb*K*YF(b)}{d(b)*m*[\sigma F]b} = \frac{2*116307*1,2*3,44}{124*1,5*361} = 8,79$$

Визначимо коефіцієнт торцевого перекриття:

$$\varepsilon_a = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{z_g} - \frac{1}{z_b} \right) = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{44} - \frac{1}{124} \right) = 1,83$$

Визначимо коефіцієнт, який враховує сумарну довжину контактних ліній:

$$z_\varepsilon = \sqrt{\left(\frac{4 - \varepsilon_a}{3} \right)} = \sqrt{\left(\frac{4 - 1,83}{3} \right)} = 0,85$$

Визначимо ширину зубчастого вінця колеса b із розрахунку на контактну міцність:

$$b_{w(H)} = \frac{4,74*10^5 * z_\varepsilon^2 * Tgb * K * (Uhg b - 1)}{dg^2 * [\sigma H] gb^2 * Uhg b} = \frac{4,74*10^5 * 0,85^2 * 116307 * 1,2 * (2,818 - 1)}{66^2 * 808^2 * 2,818} = 9,4$$

Якщо $b_{w(F)} = 8,79 < b_{w(H)} = 9,4$ тоді $b_{w(b)} = b_{w(H)}$

Значення $b_{w(b)} = 30$, прийнято згідно конструктивних рішень по ГОСТ 6636–69

2.2.10 Перевірка на контактну міцність планетарної передачі 2К - Н типу А

Виконується умова $z_a = 36 \leq z_g = 44$, тоді:

$$T_1 = T_{ag} = 95\ 160$$

$$d_1 = d_{(a)} = 54$$

$$z_1 = z_a = 36$$

$$z_2 = z_g = 44$$

$$U = z_2 / z_1 = 44 / 36 = 1,22$$

$$\psi_{bd} = b_w / d_1 = 30 / 54 = 0,52$$

					Арк.
					38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ

Визначимо коефіцієнт торцевого перекриття:

$$\epsilon_a = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{z_g} - \frac{1}{z_b} \right) = 1,88 - 3,2 * \left(\frac{1}{44} - \frac{1}{124} \right) = 1,83$$

Визначимо допустиме контактне напруження:

$$\zeta_H = \frac{688 * z \epsilon}{d_1} * \sqrt{\left(\frac{T_1 * K * (U+1)}{b w * U} \right)} = \frac{688 * 0,846}{62} * \sqrt{\left(\frac{95160 * 1,2 * (1,22+1)}{30 * 1,22} \right)} = 862 \text{ МПа}$$

$\zeta_H = 862 < [\zeta_H]_{ag} = 991$ – Умова виконується.

2.2.11 Проведення перевірки згинаючої міцності планетарної передачі 2К-Н типу А

Виконується умова $z_a = 36 \leq z_g = 44$, тоді:

$$T_1 = T_{ag} = 95\ 160$$

$$d_1 = d_{(a)} = 54$$

$$z_1 = z_a = 36$$

$$z_2 = z_g = 44$$

Знаходимо значення коефіцієнту $Y_{F(a)}$, та $Y_{F(g)}$:

$$\zeta_{F(a)} = \frac{2 * T_1 * K * Y_{F(a)}}{d_1 * b w * m} = \frac{2 * 95160 * 1,2 * 3,02}{62 * 25 * 1} = 322$$

$$\zeta_{F(g)} = \zeta_{F(a)} * \frac{Y_{F(g)}}{Y_{F(a)}} = 322 * \frac{3,16}{3,02} = 326$$

$$Y_{F(a)} = 3,74$$

$$Y_{F(g)} = 3,66$$

$$\zeta_{F(a)} = 322 < [\zeta_{F(a)}] = 444$$

$$\zeta_{F(g)} = 326 < [\zeta_{F(g)}] = 333$$
 – Умова виконується

2.2.12 Визначення типорозміру підшипників

Підбір підшипників для опори сателітів

Визначимо мінімально допустиму товщину вінця, яка забезпечить згинальну міцність сателіту:

$$h_g = 0,5 * m * \sqrt{z_g} = 0,5 * 1,5 * \sqrt{44} = 4,97$$

Найбільший діаметр отвору під підшипник:

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		39

$$D' = d_{f(g)} - 2 \cdot h_g = 63 - 2 \cdot 4,97 = 53,06$$

Радіальне навантаження яку сприймає найбільш навантажена опара сателіта:

$$F_r = \frac{4 \cdot T_a \cdot k_{нер}}{d_a \cdot a_c \cdot n_n} = \frac{4 \cdot 312000 \cdot 1,22}{54 \cdot 4 \cdot 2} = 3524,44$$

де: $n_n = 2$ – кількість підшипників в опорі.

Приведене радіальне навантаження:

$$P = V \cdot F_r \cdot K_b \cdot K_T = 1,2 \cdot 3524,44 \cdot 1,3 \cdot 1 = 5498,13$$

де: V – коефіцієнт обертання кільця підшипника відносно вектора навантаження ($V=1,2$ при обертанні зовнінього кільця), K_b – коефіцієнт запасу ($K_b=1,3$), K_T – температурний коефіцієнт ($K_T=1$).

Еквівалентне число обертів підшипника:

$$L_E = (N_{HE})_g \cdot 10^{-6} = 6\,102\,760\,00 \cdot 10^{-6} = 610.276$$

Розрахункову динамічну вантажопідйомність одного підшипника, який входить в склад опори сателіту:

$$C_{розр.} = P \cdot \left[\frac{L_E}{n_{зам} + 1} \right]^{1/n'} = 5498,13 \cdot \left[\frac{913,56}{6+1} \right]^{1/3} = 21034 \text{ Н}$$

$n_{зам}$ – запланована кількість замінів підшипників за весь термін роботи планетарної передачі; n' – показник ступення, який залежить від типу підшипника ($n' = 3$ для роликкових підшипників).

Обираю роликовий підшипник 204 (2 шт.), з такими параметрами:

$$d = 20; D = 47; B = 14; F = 26,5; D_1 = 38,44; r_{1,2min} = 1; r_{3,4min} = 0,6; S_{max} = 1$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ док.ум.	Підпис	Дата		40

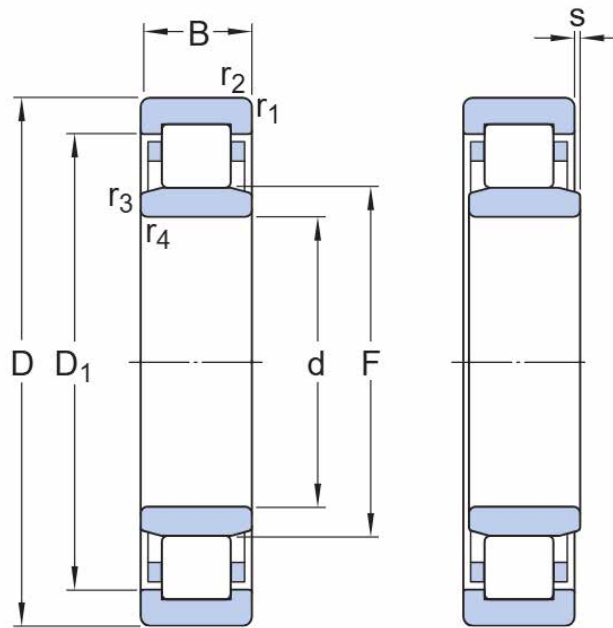


Рис. 2.12. Геометричні розміри підшипника для сателіта

Визначення геометричних параметрів водила

Конфігурація щоки водила визначають з наступних співвідношень:

Діаметр щоки водила:

$$D_h = m \cdot (z_a + z_g) + d + (20 \dots 30) = 1,5 \cdot (36 + 44) + 20 + (20 \dots 30) = 160 \dots 170$$

Товщина щоки водила:

$$t_h = (0,05 \dots 0,065) \cdot d_b = (0,05 \dots 0,065) \cdot 186 = 9,3 \dots 12,09$$

Товщина перемички водила:

$$t_n = (1,5 \dots 2) \cdot t_h = (1,5 \dots 2) \cdot (9,3 \dots 12,09) = 13,95 \dots 24,18$$

Діаметр отвору у водилі:

$$d_h = (d_a)_a + 10 = 57 + 10 = 67$$

Приймаю: $D_h = 170$; $t_h = 12$; $t_n = 20$.

Стопорні кільця:

- Зовнішні: по DIN471

$$D_1 = 20; s = 1,2_{0,06}; D_3 = 18,5_{0,4}^{0,13}; A = 4; B = 2,6; D_5 = 2; D_2 = 19_{0,13} (h11);$$

$$m = 1,3; n = 1,5; D_4 = 28,4; FR = 17,1$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

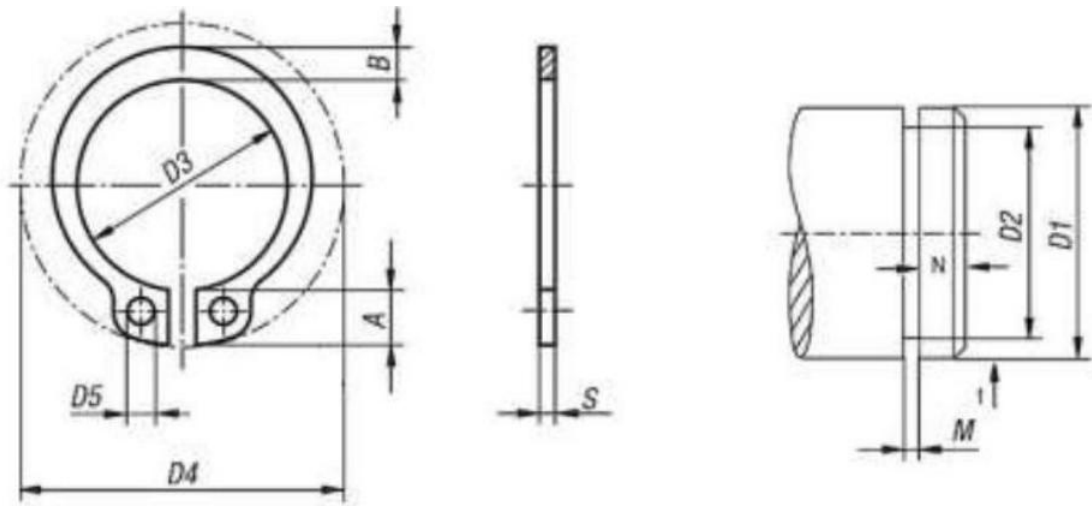


Рис. 2.14. Стопорні кільця зовнішні по DIN 471

- Внутрішні: по DIN472

$d_1 = 47$; $d_3 = 50,5_{0,46}^{+1,1}$; $d_4 = 33,5$; $d_2 = 49,5$ H12; $FR/KN = 43,5$; $s = 1,75$; m H13 = 1,85

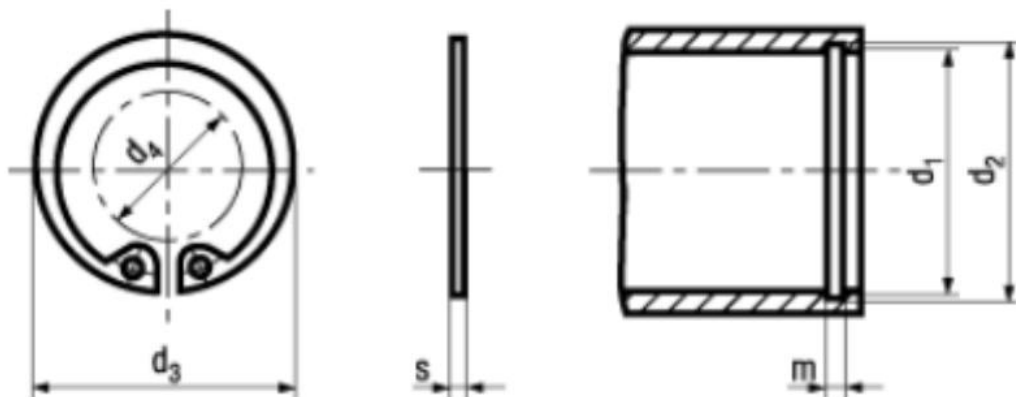


Рис. 2.15. Стопорні кільця внутрішні по DIN 472

Підбір підшипників для вхідного і вихідного валів

Радіальне навантаження яку сприймає найбільш навантажена опара (вхідного вала) колеса а:

$$F_{ra} = \frac{4 \cdot T_a \cdot k_{нер}}{d_a \cdot m_n} = \frac{4 \cdot 312000 \cdot 1,22}{54 \cdot 2} = 14\ 097$$

Приведене радіальне навантаження:

$$P = V \cdot F_{ra} \cdot K_b \cdot K_T = 1,2 \cdot 14\ 097 \cdot 1,3 \cdot 1 = 21\ 992$$

Еквівалентне число обертів підшипника:

$$L_{Ea} = (N_{HE})_a \cdot 10^{-6} = 2\ 996\ 640\ 000 \cdot 10^{-6} = 2997$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Розрахункову динамічну вантажопідйомність одного підшипника, який входить в склад опори колеса а:

$$C_{a \text{ розр.}} = P * \left[\frac{LEa}{n_{\text{зам}} + 1} \right]^{1/n'} = 21\,992 * \left[\frac{2997}{6+1} \right]^{1/3} = 135\,690 \text{ Н}$$

Радіальне навантаження яку сприймає найбільш навантажена опара (вихідного вала):

$$F_{\text{rh}} = \frac{4 * Th * k_{\text{нер}}}{aw * 2 + dg} = \frac{4 * 1354640}{60 * 2 + 66} = 29\,132$$

Приведене радіальне навантаження:

$$P = V * F_{\text{rh}} * K_b * K_T = 1,2 * 29\,132 * 1,3 * 1 = 45\,446$$

Еквівалентне число обертів підшипника:

$$L_{\text{Eah}} = (N_{\text{HE}})_b * 10^{-6} = 867\,360\,000 * 10^{-6} = 868$$

Розрахункову динамічну вантажопідйомність одного підшипника, який входить в склад опори колеса b:

$$C_{a \text{ розр.}} = P * \left[\frac{LEb}{n_{\text{зам}} + 1} \right]^{1/n'} = 45\,446 * \left[\frac{868}{6+1} \right]^{1/3} = 193\,264 \text{ Н}$$

Діаметр вхідного вала:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{Ta}{0,2 * [\tau_k]}} = \sqrt[3]{\frac{321000}{0,2 * 190}} = 20,36 \text{ Приймаю } d = 40 \text{ мм}$$

Діаметр вихідного вала:

$$d \geq \sqrt[3]{\frac{Ta}{0,2 * [\tau_k]}} = \sqrt[3]{\frac{1354640}{0,2 * 130}} = 37,35 \text{ Приймаю } d = 55 \text{ мм}$$

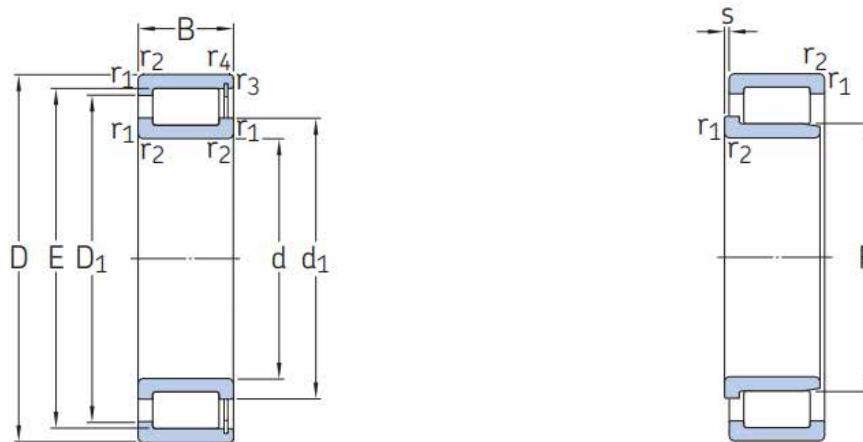


Рис. 2.16. Геометричні розміри підшипника для вхідного і вихідного валів

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

Вхідний вал (підшипник NJG 2308 VH) 2 шт: $d = 40$; $D = 90$; $B = 33$; $C = 145$; маса – 1 кг.

Вихідний вал (підшипник NJG 2313 VH) 2шт: $d = 65$; $D = 140$; $B = 48$; $C = 303$;

Сальник 40*90*12 HMSA10 RG: $d_1 = 40$; $D = 90$; $b = 12$.

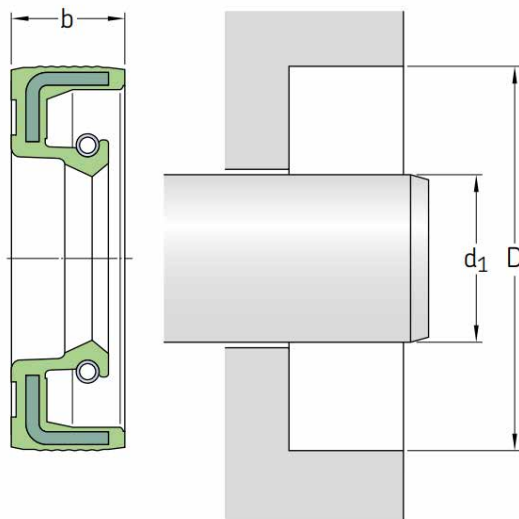


Рис. 2.17. Геометричні розміри сальника вхідного вала

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

РОЗДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ

Сучасне сільське господарство активно інтегрує робототехнічні системи для підвищення ефективності та зменшення залежності від ручної праці. Роботизовані маніпулятори, що використовуються для збору врожаю яблук, мають значний потенціал для оптимізації процесів, вони пришвидшують збір врожаю, мінімізують втрати та працюють у складних для людей умовах. Однак впровадження таких технологій пов'язане з низкою ризиків, які потребують ретельного аналізу та системного підходу до забезпечення безпеки.

Під час експлуатації роботизованих маніпуляторів безпека праці стає ключовим аспектом, оскільки їх експлуатація пов'язана з взаємодією рухомих механізмів, електрообладнання та програмних алгоритмів у динамічному середовищі. Незважаючи на високий ступінь автономності, ці системи можуть становити загрозу як для операторів, так і для перехожих, наприклад, через механічні травми, електричні несправності або збої в управлінні. Крім того, зовнішні фактори, такі як погодні умови або характеристики місцевості, ще більше ускладнюють організацію безпечної експлуатації.

Мета цього розділу — визначити основні небезпеки, що виникають під час роботи з роботами для збору яблук, та запропонувати комплекс заходів для їх запобігання. Розглянемо які можуть бути небезпечні ситуації та їх причини:

1. Механічні травми:

- Зіткнення з рухомими частинами маніпулятора (швидкі рухи маніпулятора в зоні роботи оператора; непередбачуваний збій у системі управління, що призводить до різкого переміщення важелів).
- Защемлення кінцівок (потрапляння рук, ніг або одягу між ланками маніпулятора або в зоні захоплення; відсутність захисних кожухів на

		шарнірах).			01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Щальнікова.Д.			Літ.	Арк.	Акрушів
Перевір.		Ляшко А.П.				45	
Н. Контр.					РОДІЛ 3. ОХОРОНА ПРАЦІ		
Затверд.							
					НУБіП України		

- Падіння робота (на схилах або нерівній поверхні; перевантаження захватів під час підйому важких гілок або ящиків).

- Пошкодження гострими елементами (наявність незахищених металевих кромки, кріплень або зламаних деталей).

2. Електричні небезпеки:

- Ураження струмом (пошкодження ізоляції електрокабелів; контакт з оголеними проводами під час обслуговування).

- Коротке замикання (потрапляння води в електронні компоненти, наприклад під час дощу чи миття; перегрів акумуляторів або двигунів).

- Статична електрика (накопичення заряду в сухих умовах, що впливає на чутливі датчики).

3. Програмні та системні збої:

- Некоректна робота алгоритмів (помилки у розпізнаванні об'єктів, наприклад, робот плутає людину з деревом; затримки в обробці даних з датчиків, що призводять до запізнілої реакції).

- Кіберзагрози (злам системи управління через Wi-Fi/Bluetooth; віруси, які порушують роботу ПЗ).

- Відмова датчиків (хибні спрацьовування або ігнорування перешкод через забруднення лідарів/камер).

4. Зовнішні фактори та навколишнє середовище

- Падіння гілок/плодів (вібрація від роботи маніпулятора спричиняє обрив важких гілок).

- Погодні умови (туман або дощ знижують точність датчиків; сильний вітер розгойдує робота, збільшуючи ризик падіння).

- Взаємодія з дикою природою (тварини та птахи можуть потрапити в зону роботи та отримати травми).

5. Шум, вібрація та ергономіка

- Тривалий вплив шуму (рівень шуму від двигунів і редукторів перевищує 85 дБ, що шкідливо для слуху).

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		46

- Вібрація, яка передається оператору через пульт управління, викликає втому.

- Ергономічні ризики (незручний інтерфейс управління змушує оператора приймати незручні пози).

Для забезпечення безпеки під час експлуатації роботів-маніпуляторів необхідно впроваджувати комплексний підхід, який охоплює технічні, програмні, організаційні та екологічні рішення, а також забезпечує індивідуальний захист персоналу.

Технічні рішення передбачають встановлення системи аварійного зупинення, що включає інфрачервоні та ультразвукові датчики присутності для автоматичного відключення робота при наближенні людини. Навколо робочої зони розміщуються фізичні бар'єри — сітки або прозорі щити, які ізолюють небезпечні ділянки. Для запобігання перевантажень використовуються датчики ваги на захватах, які блокує підйом вантажу при перевищенні допустимої маси, а гіроскопи та стабілізатори забезпечують стійкість робота на нерівних поверхнях. Електрична безпека досягається завдяки вологостійким корпусам (клас IP67), встановленню пристроїв захисного відключення (УЗО) та регулярній перевірці ізоляції мультиметром. Критичні системи, такі як датчики та алгоритми управління, дублюються для мінімізації наслідків збоїв.

Програмні заходи спрямовані на покращення надійності роботи системи. Алгоритми управління тестуються за допомогою симуляторів (наприклад, ROS-Gazebo), де відпрацьовуються сценарії зіткнень. Для підвищення точності розпізнавання перешкод застосовується машинне навчання. Кібербезпека забезпечується шифруванням каналів зв'язку, двофакторною аутентифікацією та регулярними оновленнями програмного забезпечення для усунення вразливостей.

Організаційні заходи включають обов'язкове навчання операторів, яке охоплює не лише базову роботу з роботом, а й відпрацювання аварійних ситуацій (наприклад, евакуацію при заклинюванні механізмів). Персонал

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
						47
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

проходить сертифікацію, а всі етапи роботи документуються — ведуться журнали оглядів обладнання та протоколи перевірки датчиків. Для зменшення ризиків територія поділяється на зони: роботи та люди працюють у ізольованих секторах зі світловою та звуковою сигналізацією.

Індивідуальний захист передбачає використання засобів індивідуального захисту (ЗІЗ): шоломів для захисту від ударів, антивібраційних рукавичок, навушників із шумозаглушенням. Для роботи в умовах поганої видимості оператори одягають спецодяг зі світловідбивними елементами.

Екологічні заходи спрямовані на зменшення впливу на довкілля. Використовуються біорозкладні мастильні матеріали, а датчики монтуються для виявлення тварин у робочій зоні, що запобігає їх травмуванню.

Приклад впровадження заходів для робота-маніпулятора:

Система SafeStop з лідачами, які сканують зону 360° та зупиняють робота при виявленні руху в радіусі 2 м.

Ергономічний пульт управління з сенсорним екраном, голосовим керуванням та підтримкою жестів для зручності оператора.

Періодичний аудит — щомісячна перевірка програмного забезпечення на вразливості та калібрування датчиків для підтримки стабільної роботи.

Моніторинг та оцінка ефективності заходів:

Для гарантії довгострокової безпеки впровадження роботизованих систем потребує постійного моніторингу та систематичного аудиту. Одним із ключових інструментів є щоквартальні перевірки обладнання, які проводяться відповідно до міжнародних стандартів ISO 10218 (безпека промислових роботів) та ISO 13849 (функціональна безпека систем керування). Ці стандарти забезпечують відповідність технічних параметрів вимогам безпеки, зокрема у сфері механічної стабільності, електробезпеки та програмної надійності.

Важливим елементом моніторингу є аналіз інцидентів за допомогою методу root cause analysis (RCA). Цей підхід дозволяє виявити глибинні

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
						48
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

причини аварійних ситуацій — від технічних збоїв до людського фактору — та розробити превентивні заходи. Наприклад, якщо робот несподівано зупинився через перегрів двигуна, RCA допомагає встановити, чи причиною було недостатнє охолодження, помилка в алгоритмі керування чи несвоєчасне технічне обслуговування.

Для оптимізації роботи системи необхідний регулярний збір даних про продуктивність: кількість аварійних зупинок, час реакції системи аварійного відключення, частота збоїв датчиків. Ця інформація аналізується за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення, що дозволяє виявляти тенденції, прогнозувати ризики та корегувати налаштування обладнання.

Психологічні аспекти роботи з роботами: Впровадження робототехніки створює нові виклики для операторів, які часто стикаються зі стресом через високий рівень відповідальності або страх перед технічними збоями. Для мінімізації цих ризиків рекомендовано впроваджувати тренінги зі стресостійкості, де персонал навчається діяти в умовах невизначеності, наприклад, під час раптового відмови датчиків або кібератак. Інноваційним рішенням є симуляція аварійних сценаріїв у віртуальній реальності, яка дозволяє операторам відпрацювати дії без реальної загрози.

Крім того, психологічна підтримка має бути інтегрована в щоденну практику. Регулярні консультації зі спеціалістами, групові обговорення та створення «зон психологічного розвантаження» на робочих місцях допомагають знизити тривожність та підвищити ефективність команди.

Додаткові технічні та системні рішення: Для запобігання раповим відключенням критичних систем необхідне резервне живлення, наприклад, акумулятори з функцією fail-safe, які автоматично активуються при перебоях у електромережі. Екологічний аспект враховується через встановлення сонячних панелей, що не лише зменшує залежність від зовнішніх джерел, а й знижує вуглецевий слід технологій.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк. 49
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтеграція роботів у мережі «розумного фермерства» вимагає стандартизованих протоколів зв'язку, таких як ROS Industrial, які запобігають конфліктам між пристроями. Для захисту даних від кібератак застосовуються блокчейн-технології, що забезпечують децентралізоване зберігання інформації та її цілісність.

Законодавча база та страхові механізми:

Сертифікація обладнання відповідно до Директиви ЄС 2006/42/ЄС є обов'язковим кроком для легалізації роботів на ринку. Ця директива регулює вимоги до машинної безпеки, включаючи оцінку ризиків, тестування та маркування. Окрім того, страхування цивільної відповідальності стає невід'ємною частиною роботи з робототехнікою, особливо у випадках, коли збої штучного інтелекту можуть призвести до значних збитків.

Висновок: впровадження роботизованих систем у сільському господарстві — це баланс між інноваціями та безпекою. Наприклад, ферми в Нідерландах досягли 40-відсоткового зниження травматизму завдяки системам SafeStop та щорічним аудиторам. Такий успіх базується на комплексному підході: технічні вдосконалення поєднуються з постійним моніторингом, навчанням персоналу та дотриманням стандартів. Це не лише мінімізує ризики, а й створює основу для сталого розвитку аграрного сектору в умовах технологічної революції.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
						50
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ

Вихідні дані:

Продуктивність платформи: 60 кг яблук/год (менше ніж у розрахунку раніше, бо робот може працювати повільніше).

Продуктивність людини: 20 кг/год

Річна кількість годин роботи: 1500 год

Річна кількість зібраних яблук: $60 \times 1500 = 90\,000$ кг = 90 тонн

Середня заробітна плата збирача (з нарахуваннями): 12 000 грн/місяць
 $\times 12$ міс = 144 000 грн/рік

Кількість людей, що забезпечують аналогічну продуктивність:

Необхідна кількість людей = $20/60 = 3$

Вартість платформи: 1 000 000 грн

Термін служби: 5 років

Експлуатаційні витрати: 50 000 грн/рік

Оплата праці оператора/техніка: 15 000 грн/місяць $\times 12$ міс = 180 000 грн/рік

4.1. Загальна економія на оплаті праці (з урахуванням роботи платформи)

Економія від заміщення 3 збирачів:

$$\Delta W = 3 \times 144,000 = 432,000 \text{ грн/рік}$$

Витрати на оплату праці оператора:

$$W_{\text{опер}} = 180,000 \text{ грн/рік}$$

Чиста економія на оплаті праці:

$$\Delta W_{\text{чиста}} = 432,000 - 180,000 = 252,000 \text{ грн/рік}$$

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Шальнікова.Д.			Літ.	Арк.	Акрушіє
Перевір.		Ляшко А.П.				51	
Н. Контр.					РОДІЛ 4. ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ		
Затверд.							
					НУБіП України		

4.2. Амортизація при 10 роках:

$$A=1,000,000/10=100,000 \text{ грн/рік}$$

4.3. Чистий ефект:

$$E_{\text{ч}}=252,000-100,000-50,000=102,000 \text{ грн/рік}$$

4.4. Термін окупності:

$$T_{\text{ок}}=1,000,000/(252,000-50,000)\approx 4,95 \text{ років}$$

Але оскільки термін служби – 10 років, платформа окупиться і буде приносити прибуток ще 5 років.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі виконано розробку конструкції роботизованої платформи для збору яблук, яка відповідає сучасним вимогам до продуктивності, енергоефективності та екологічної безпеки. У ході дослідження було проаналізовано існуючі рішення щодо роботизації збирання яблук, зокрема в контексті використання їх аналогів у сільськогосподарських роботизованих системах. Це дозволило виявити ключові проблеми та перспективи вдосконалення конструкцій, які можуть бути інтегровані в автоматизовані платформи для агросектора.

Розроблена конструкція роботизованої платформи враховує специфіку садових насаджень і здатна забезпечувати автономний збір яблук за допомогою інтеграції сучасних сенсорних систем, комп'ютерного зору, мехатроніки та алгоритмів штучного інтелекту. Проведено комплексний розрахунок основних конструктивних елементів, маніпулятора та привод, зокрема визначено необхідні потужності приводних двигунів, параметри планетарної передачі, міцність та стійкість основних елементів конструкції. Запропонована платформа має високу маневреність і здатність адаптуватися до різних умов роботи, забезпечуючи мінімізацію пошкоджень урожаю та підвищення якості продукції.

В роботі розглянуто питання охорони праці при експлуатації роботизованої платформи. Визначено основні потенційні ризики, розроблено заходи безпеки для операторів і навколишнього середовища, розглянуто правила технічного обслуговування і ремонту обладнання. Це дозволяє забезпечити безпечну експлуатацію платформи у виробничих умовах.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ			
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Щальнікова.Д.			Літ.		Арк.	Акрушів
Перевір.		Ляшко А.П.				53		
Н. Контр.					ВИСНОВКИ			НУБіП України
Затверд.								

Також проведено економічну оцінку ефективності впровадження запропонованої конструкції, яка включає розрахунок витрат на матеріали, роботи, комплектуючі та автоматизацію. Аналіз показав, що використання такої платформи дозволяє значно знизити собівартість збору яблук за рахунок економії на трудових ресурсах та підвищення продуктивності, забезпечуючи тим самим високу фінансову привабливість і конкурентоспроможність технології на внутрішньому та міжнародному ринках.

Отримані результати можуть бути використані для створення прототипу роботизованої платформи для збору яблук та її впровадження у виробничі процеси на підприємствах агропромислового комплексу. Вони також можуть слугувати основою для подальших наукових досліджень у галузі аграрної робототехніки та інженерії, сприяти розвитку вітчизняних інноваційних технологій, інтеграції міждисциплінарних знань і підвищення ефективності сільського господарства.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Джерела з робототехніки та автоматизації.. *IEEE Xplore*. URL: <https://ieeexplore.ieee.org/Xplore/home.jsp>.
2. База наукових публікацій з інженерії та агротехнологій.. *Science Direct*. URL: <https://www.sciencedirect.com/>
3. Книги і статті з агроінженерії. *SPRINGER NATURE Link*. URL: <https://link.springer.com/>.
4. Дослідження з роботизованого збору фруктів. *ResearchGate*. URL: <https://www.researchgate.net/>.
5. Інновації в сільському господарстві.. *AgriFutures*. URL: <https://agrifutures.com.au/>.
6. Технічна документація з робототехніки. *ROS*. URL: <https://www.ros.org/>.
7. Проектування і управління роботом для збору яблук. *ELSEVIER*. URL: [file:///C:/Users/ellig/Downloads/Telegram%20Desktop/de-an2011%20\(2\).pdf](file:///C:/Users/ellig/Downloads/Telegram%20Desktop/de-an2011%20(2).pdf).
8. Автоматизований робот для збору яблук. *Wiley Online-Bibliothek*. URL: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/epdf/10.1002/rob.22268>.
9. Робот збирач яблук тестується в Новій Зеландії. *KAS-Technologie*. URL: <https://kas32.com/ua/post/view/457?srsltid=AfmBOopxsRyvl-YeLXjyZ5G7pvsVBWK5dG7x2ypJdb2rOsso7a3yDaGK>.
10. Apple Harvest Robot, розроблений компаніями Kuka та Digital Workbench. *Agtech*. URL: <https://agtecher.com/uk/product-uk/apple-harvest-robot/>.
11. Ripe Robotics Eve. *Youtube*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=O3Xejlz8fKo>.
12. Роботизована платформа NARO. *Youtube*. URL: <https://www.youtube.com/watch?v=aQivr2PrCp4>.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ		
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Щальнікова, Д.			СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ		
Перевір.		Ляшко А.П.					
Н. Контр.					Літ.	Арк.	Акрушів
Затверд.					55	НУБіП України	

13. База міжнародних патентів. *Wipo*. URL:

<https://www.wipo.int/portal/en/index.html>.

14. Звіти про інновації в сільському господарстві. *AgriFutures*. URL:

<https://agrifutures.com.au/>.

15. Дані про автоматизацію в садівництві. *Usda*. URL:

<https://www.usda.gov/>.

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		56

ДОДАТКИ

					01.09 – КР. 2265 “С” 2024.12.16. 014 ПЗ			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		Щальнікова.Д.			ДОДАТКИ	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Акрушів</i>
<i>Перевір.</i>		Ляшко А.П.					57	
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затверд.</i>								
					НУБіП України			