

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Інститут інформатики та радіоелектроніки,  
Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій  
(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра інформаційних технологій електронних засобів  
(повне найменування кафедри)

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту (роботи)  
бакалавра  
(ступінь вищої освіти)

на тему «ПРОЕКТУВАННЯ КОНСТРУКЦІЇ ТА ВИГОТОВЛЕННЯ МАКЕТУ  
ІНТЕРАКТИВНОЇ РУКИ(КОМПЛЕКСНА ТЕМА)»

Виконав: студент(ка) 4 курсу, групи РТ-517  
Спеціальності 172 Радіотехніка та  
телекомунікації

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)  
Інтелектуальні технології мікросистемної  
радіоелектронної техніки

Карамов.В.М.

(прізвище та ініціали)

Керівник Куляба Т.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Польська О.В.

(прізвище та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Інститут, факультет Інститут інформатики та радіоелектроніки,

Факультет радіоелектроніки та телекомунікацій

Кафедра інформаційних технологій електронних засобів

Ступінь вищої освіти бакалавр

Спеціальність 172 «Телекомунікації та радіотехніка»

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Інтелектуальні технології мікросистемної радіоелектронної техніки

(назва освітньої програми(спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

В.о. зав. каф. ІТЕЗ Огренич Є.В.,

канд. техн. наук

«28» 05 2021 року

**ЗАВДАННЯ  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА**

Карамова Владислава Михайловича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Проектування конструкції та виготовлення макету інтерактивної руки (комплексна тема)

Затверджена наказом ректора від « 22 » травня 2021 р. №.

2. Термін виконання роботи: з 16 квітня 2021 року до 31 травня 2021 року

3. Вихідні дані: праці вітчизняних та зарубіжних авторів та інша наукова література за темою дипломної роботи, інтерактивний маніпулятор, програмне забезпечення для моделювання роботи інтерактивний маніпулятор, мова програмування.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, що підлягають розробці):

1 Вступ.

2 Огляд та аналіз робіт і робото технічних пристроїв.

3 Вибір та обґрунтування середовищ розробки.

4 Вибір компонентів електронного макету та розробка схеми їх підключення.

5 Розробка програми.

6 Висновки.

5. Перелік обов'язкового графічного матеріалу: Демонстраційний матеріал у форматі презентації PowerPoint (\*.ppt) – 20 сторінок. формату А4

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ пор	Завдання	Термін виконання	Відмітка про виконання
1	Вибрати тему дипломної роботи	до 06.04.2021	Виконано
2	Затвердити тему і план роботи у наукового керівника	до 10.04.2021	Виконано
3	Визначити статистичну, інформаційну базу дослідження, скласти бібліографію	до 17.04.2021	Виконано
4	Оформити і обговорити з науковим керівником перший розділ роботи	до 27.04.2021	Виконано
5	Оформити і обговорити з науковим керівником другий розділ роботи	до 05.05.2021	Виконано
6	Оформити і обговорити з науковим керівником третій розділ роботи	до 12.05.2021	Виконано
7	Доопрацювати роботу, оформити її кінцевий варіант	до 14.05.2021	Виконано
8	Отримати відгук керівника та рецензію	до 14.05.2021	Виконано
9	Підготувати доповідь на захист	до 15.05.2016	Виконано

#### 1. Консультанти з окремих розділів

Розділ	Консультант (посада, П.І.Б.)	Дата, підпис	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділи 1-4			
Нормоконтроль	Поспєва С.Є.		

2. Дата видачі завдання: 06.05.2021 р.

Керівник дипломної роботи \_\_\_\_\_

(П.І.Б.)

(підпис керівника)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(П.І.Б.)

(підпис випускника)

## РЕФЕРАТ

ПЗ:51с., 1 табл., 31 рис., 2 додатка.

Об'єкт дослідження: створення роботу в умовах Запорізького національного технічного університету. Предмет дослідження: створення інтерактивного маніпулятора, який повторює рухи людини. Мета дослідження: створення інтерактивного маніпулятора за допомогою сучасних технологій, який здатний відтворює рух руки людини.

Методи дослідження: для вирішення поставлених завдань використовувалися як загальнонаукові, так і спеціальні методи наукового пізнання. Системний аналіз, дедуктивний та індуктивний методи використовувалися при визначенні суті понять «робот». Теоретичні дослідження проведені на основі фундаментальних засад конструювання верстатів та машин, технології машинобудування, теорії механізмів і машин, теоретичної механіки та методології науково–технічної творчості. Синтез нових конструкцій верстатів здійснено із застосуванням методу багаторівневого морфологічного синтезу і аналізу.

Наукова новизна полягає в комплексному рішенні реалізації інтерактивного маніпулятора, який повторює рухи людини.

Результати дипломної роботи можуть бути використані на підприємствах і машинобудівельних галузях, медицині, військовій справі тощо.

ЕЛЕКТРИЧНІ КОМПОНЕНТИ, ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ, СИСТЕМА  
КЕРУВАННЯ

**ЗМІСТ**

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ	6
ВСТУП	7
1. ОСНОВИ РОБОТОТЕХНІКИ	9
1.1. Основні поняття і визначення роботів і робото технічних пристроїв	9
1.2. Класифікація роботів	12
1.3. Інтерактивний маніпулятор	14
2. ОПИС ІНТЕРАКТИВНОГО МАНІПУЛЯТОРУ	17
2.1. Основні вимоги	17
3. ВИБІР ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ТА РОЗРОБКА СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ ДО МАКЕТУ	18
3.1 Вибір Flex датчиків(датчиків вигину)	18
3.2 Вибір мікрокомп'ютера	19
3.3 Підбір механічної частини	22
3.4 Елементи живлення	27
3.5 Додаткові комплектуючі	31
3.6 Схема підключення	33
4. ЗБІРКА МАКЕТУ ІНТЕРАКТИВНОГО МАНІПУЛЯТОРА ТА ЙОГО ПРОГРАМУВАННЯ	35
4.1. Збір інтерактивного маніпулятора	35
4.2 Написання програмного коду	41
ВИСНОВКИ	47
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ	49

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ABS	– акрилонітрил бутадієн стерол
Arduino	– апаратна обчислювальна платформа, основними компонентами якої є плата вводу/виводу та середовище розробки на мові Processing/Wiring
PLA	– полілактид
ГОСТ	– державний стандарт
КБ	– конструкторське бюро
НПАОП	– нормативно–правові акти з охорони праці
НС	– надзвичайна ситуація
ОГД	– об’єкт господарської діяльності
ПК	– персональний комп’ютер
ПР	– промисловий робот
СДСН	– синдром довготривалих статичних навантажень
ТЕБ	– техногенно–екологічної безпеки
ЦЗ	– цивільний захист
ЧПК	– числове програмне управління
ЧПУ	– числове програмне управління

## ВСТУП

В даний час робототехніка набирає все більшої популярності у всьому світі й більшість країн вже давно використовує її у своєму виробництві, будівництві, військовій справі, медицині, наукових дослідженнях та у повсякденному житті. Робототехніка починає впливати на багато професій: від промислового виробництва до сільського господарства, від роздрібної торгівлі до царини обслуговування. Згідно з даними Міжнародної федерації робототехніки, на сьогодні у світі функціонує 1,1 млн роботів, а у виробництві автомобілів 80% робочого процесу забезпечують саме машини [6]. Ці технології застосовуються задля вирішення задач, що пов'язані зі звільненням людини від робіт, що створюють загрозу для життя та здоров'я, а також задач, що пов'язані з перенесенням вантажів та монотонними діями [9].

Якщо розглядати роботів–маніпуляторів в якості основного технологічного обладнання, то за їх допомогою можливо вирішення задач стосовно проведення точкового і шовного зварювання, лазерного і плазмового різання, процесу шліфування, складання і сортування деталей [19]. Роботи–маніпулятори існують досить різних розмірів і типів. Різняться вони за типом конструкції та принципом роботи. Можливо віддалене керування оператором або за заданою заздалегідь програмою.

Мета дослідження: створення Інтерактивного маніпулятора за допомогою сучасних технологій, який здатний відтворює рух руки людини.

Виходячи із поставленої мети завданнями дослідження є:

- проаналізувати основні поняття і визначення роботів і робото технічних пристроїв;
- проаналізувати класифікація роботів та визначити до якої класифікації можна віднести Інтерактивний маніпулятор ;
- вивчити та зібрати електрону систему інтерактивного маніпулятора;
- огляд програмного забезпечення інтерактивного маніпулятора;
- зібрати інтерактивний маніпулятор.

Об'єкт дослідження: створення роботу в умовах Запорізького національного технічного університету.

Предмет дослідження: створення Інтерактивного маніпулятора, який повторює рухи людини.

Методи дослідження: Для вирішення поставлених завдань використовувалися як загальнонаукові, так і спеціальні методи наукового пізнання.

Наукова новизна полягає в комплексному рішенні реалізації Інтерактивного маніпулятора, який повторює рухи людини.

Структура роботи. Дипломна робота складається зі вступу, трьох розділів, висновку, списку використаних джерел та додатків. Загальний обсяг роботи становить 51 сторінки. Текст роботи проілюстровано 31 рисунками та 2 таблицями. Список використаних джерел містить 30 найменування. Основний текст роботи доповнений 3 додатками.

## 1 ОСНОВИ РОБОТОТЕХНІКИ

### 1.1 Основні поняття і визначення роботів і робото технічних пристроїв

Робот – автоматичний пристрій, який призначений для здійснення різних операцій механічного типу, діє за програмою, яку було до нього закладено.

У словнику з природничих наук зазначено таке тлумачення терміну робот – це електромеханічний пристрій, здатний до доцільної поведінки в умовах мінливої зовнішньої обстановки, здійснює робочі операції зі складними просторовими переміщеннями.

Професор М. Спрінгер з Університету королеви Марії стверджує, що робот – це пристрій із наступним мінімальним набором властивості та можливості:

- наявність механічної руки;
- здатність самостійно пересуватися;
- наявність виконавчої системи та системи управління;
- наявність комп'ютера, мозку як системи;
- наявність сенсорних пристроїв [1].

Як наука, робототехніка базується на знаннях різних дисциплін та взаємодії з ними (рис. 1.1).

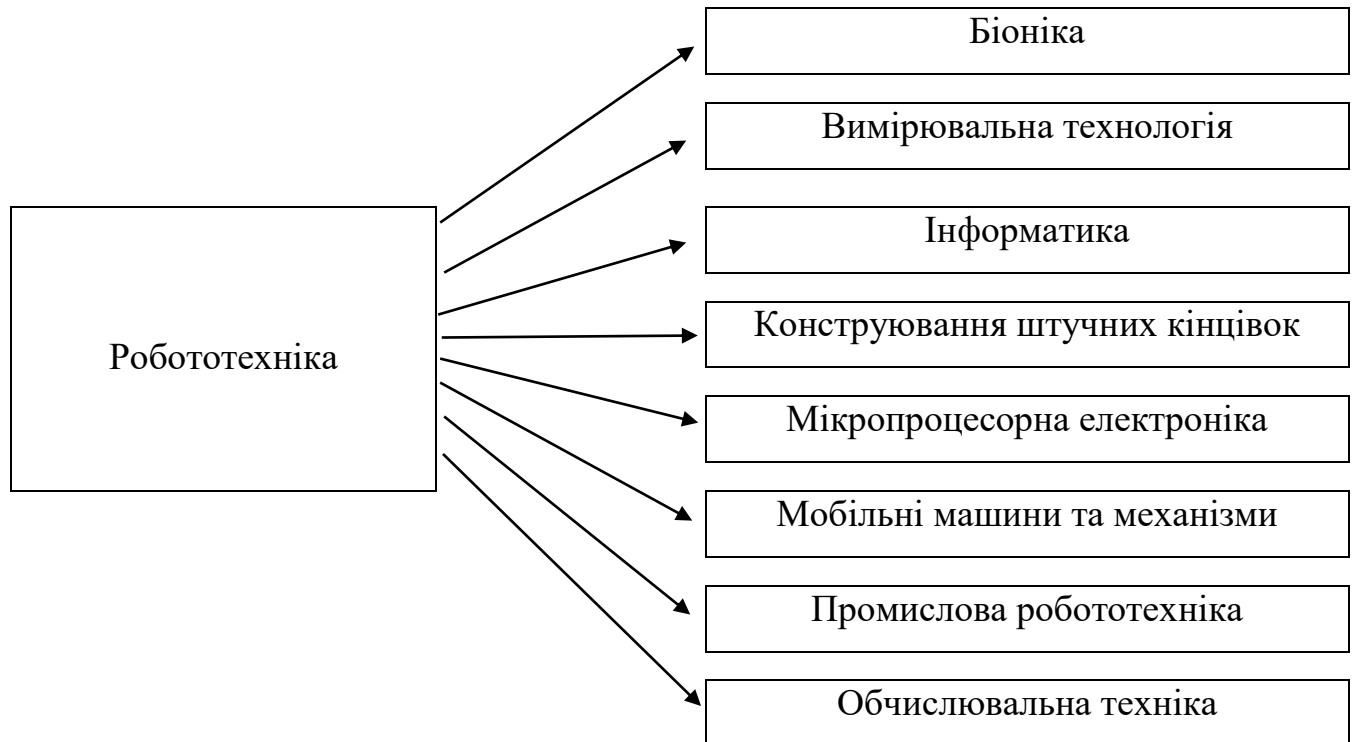


Рисунок 1.1 – Приклад взаємодії робототехніки з різними дисциплінами

У підручнику А.А. Іванова [16] робот описується як автоматична машина, що включає програмований пристрій управління та інші технічні засоби, що забезпечують виконання певних дій, властивих людині в процесі її трудової діяльності, а найдосконаліший робот здатний самостійно вирішувати проблеми самоврядування, пристосовуються до умов навколишнього середовища і виконують складні трудові дії.

Поняття «робот» досить широке, і дуже важко надати ідеальне визначення. Але є загальна риса, яка об'єднує всі пристрої цього типу – це імітація людини під час виконання її роботи. Ця риса дозволяє відокремлювати пристрої, які не є роботами. Наявність «Розуму», сенсорних пристроїв та інших компонентів у роботах визначає функціональність роботи, але жодним чином не впливає на ставлення пристрою до групи роботів.

Різниця між поняттям робот та робототехнічний пристрій полягає в тому, що робот є фізично єдиним механізмом, з'єднаним в одне тіло, а робототехнічний

пристрій фізично не знаходиться в одному корпусі, але управління нею здійснюється з мозку. Можна дати таке поняття робототехнічний пристрій – це технічна система, в якій перетворення та зв'язок енергії, маси та інформації відображаються за допомогою роботів [13]

Робот, як термін, можна розуміти як багатофункціональну машину для виконання механічної роботи, подібної до тієї, яку виконує людина. Ідея створення роботу з'явилася після бажання замінити людину роботом у складних ситуаціях, що загрожують життю. З часом поняття робота стало ширшим, під ним вони стали представляти будь-який автомат, який може замінити людину.

Роботизовані механізми розділяють на три покоління, кожне з яких володіє обмеженими технічними та функціональними можливостями:

- програмні роботи: функціонують відповідно заданої програми;
- адаптивні роботи: мають заздалегідь закладену програму, але не мають можливості внести до неї зміни, тобто не має можливості адаптуватися в процесі експлуатації;
- інтелектуальні роботи: володіють лише одним муніципальним керівництвом за функціонуванням і самостійно приймають рішення на основі процедурних висновків [30]

Загальною особливістю роботів є можливість швидкої зміни або перепрограмування для автоматичного виконання різних дій, передбачених програмою. В Японії під промисловими роботами розуміють машини зі змінною програмою, які використовуються для автоматизації ручної роботи з метою підвищення продуктивності праці. За цим визначенням, промисловий робот, як і людина, наділений трьома можливостями: функціональною, розумовою та фізичною. Разом з тим функціональні можливості означають універсальність, здатність пересуватися в просторі (для роботів усіх поколінь), а розумові можливості – здатність відчуття і сприйняття, пам'ять і логіку, а також здатність вчитися (для роботів 2 і 3 покоління).

## 1.2 Класифікація робіт

Роботи класифікують за різними ознаками. Найпоширенішою та модифікованою є класифікація за цілями та класом завдань, для яких призначений робот; особливості управління; технологічні характеристики.

Розвиток робототехніки створює нові покоління роботів та їх впровадження в нові галузі. Отже, класифікація за метою та класом завдань, до яких визначені роботи, не є повною і певною мірою характеризує шлях розвитку роботів, а тому її також можна назвати «еволюційною». Роботи всіх поколінь можна розділити на дві великі групи: виробничі і дослідницькі (рис. 1.2).

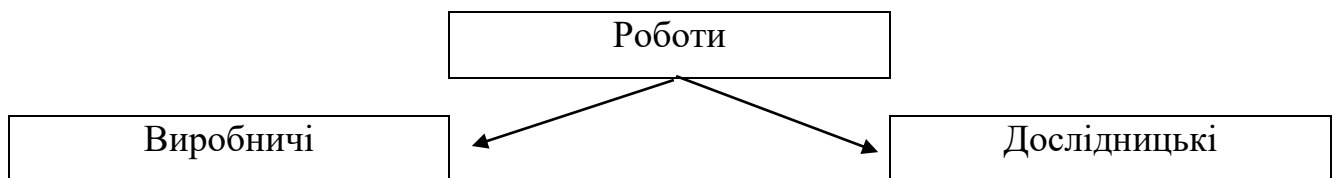


Рисунок 1.2 – Приклад видів робіт

Виробничі роботи призначені для виконання важливих, одноманітних, шкідливих та небезпечних для здоров'я людини фізичних робіт, а також певних видів праці, напруженої розумової роботи (дизайн, інформаційна підтримка, проектування, управління).

Промислові роботи призначені для автоматизації базових та допоміжні операції в різних галузях – машинобудуванні, гірничій, нафтохімічній, металургійній, атомній та інших промисловостях.

За методом управління або ступенем участі людина в управлінні роботом поділяється на три групи: біотехнічна, інтерактивна та автоматична (рис. 1.3).



Рисунок 1.3 – Приклад роботів за методом управління

Біотехнічні роботи функціонують лише за участю людини-оператора, який фактично бере на себе контроль всіх механізмів.

Інтерактивні роботи, на відміну від біотехнічних має пам'ять для автоматичного виконання окремих дій, контролюється по черзі оператором або автоматично.

Автономні роботи можуть працювати цілком самостійно без участі людини-оператора.

За способом переміщення роботів можна поділити на такі види (рис. 1.4)

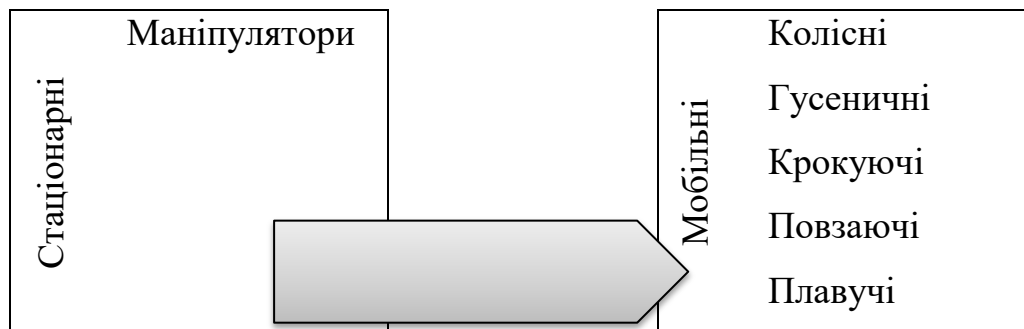


Рисунок 1.4 – Приклад видів роботів за способом переміщення

Також класифікують роботів за показниками, що визначають їх конструкцію. До таких показників відносять:

- тип приводів робота,
- його вантажопідйомність;
- кількість маніпуляторів;

- тип і параметри їх робочої зони;
- рухливість і спосіб розміщення;
- виконання за призначенням.

Рухливість робота визначається наявністю або відсутністю у нього системи пересування. У першому випадку роботи називають мобільними, а в другому – стаціонарними. Відповідно до призначення роботів в них застосовують системи пересування практично усіх відомих на сьогодні типів: від наземних колісних і гусеничних до призначених для пересувань у воді, глибинах землі, в повітрі і космосі.

За способом розміщення стаціонарні і мобільні роботи бувають підлоговими, підвісними (мобільні роботи цього типу зазвичай переміщуються по піднятому рейковому шляху), вбудовуваними в інше устаткування

Виконання робота за призначенням залежить від зовнішніх умов, в яких він повинен функціонувати. Розрізняють виконання нормальне, пилозахисне, теплозахисне, вологозахисне, вибухобезпечне і так далі.

Здійснення класифікація роботів має свої особливості. Розподіл здійснюється при науково обґрунтованому виборі ознак і подальшому розподіленні їх на класифікаційні групи, які представлені в Додатку А.

### **1.3 Інтерактивний маніпулятор**

Сучасне світ – це світ високих технологій, де наука і техніка швидко розвиваються. Багато сучасних технологій використовують злоякісні, шкідливі речовини, що створює безпеку для життя та здоров'я працівників, тому такі процеси вимагають автоматизації процесів. Заміна людей, що працюють у небезпечному середовищі, на роботів, які також можуть використовуватися на будівництвах для підняття важких предметів, в дистанційному управлінні роботами, замінюючи людини на важких або небезпечних роботах. Заміна

людської праці інформаційним управлінням виробничих процесів і є перехід до інформаційного суспільства, що дуже актуально в наш час.

Дослідження робототехніки збільшились завдяки появі нових технологій. Зокрема, інноваційні дослідження, засновані на робототехнічному дизайні рук та рук були реалізовані в декількох дослідницьких центрах світу з 80–х років. Перший протезний робот рука, що складалася з 3 пальців і 1 великого пальця, розроблена Університетом Юти та Массачусетським технологічним інститутом у 1986 році займався вивченням мобільності будівельних машин [9]. Розвиток робототехніки орієнтований на відтворення руку людини.

Інтерактивний маніпулятор – це механізм який відтворює рух руки людини. У даній роботі представлений досвід розробки робо–руки (інтерактивний маніпулятор) на базі плати Arduino. Цей пристрій було розроблено з метою отримання досвіду в створенні роботів–маніпуляторів. Головною функцією інтерактивного маніпулятора була імітація руху, яке виконує оператор. Також в даній роботі представлений досвід аналізу та розробки променево–зап’ясткового суглобу робота, а також управління суглобом за допомогою flex датчика. Пристрій здатний повторювати рухи людини за допомогою спеціальної рукавички, яку одягає оператор. Пристрій повторює рухи людської руки в рукавичці. Пристрій може згинати ті ж пальці, що згинає людина, захоплювати і утримувати предмети (рис. 1.5).



Рисунок 1.5 – Приклад інтерактивного маніпулятора

Основна мета цієї роботи – зібрати макет, розробити електричну схему, підібрати електричні комплектуючі та розробити програмне забезпечення системи, що забезпечує віддалене управління п'ятьма пальцями, якими можна дистанційно керувати за допомогою рукавичок. Цей пристрій можна легко використовувати в галузі медицини, промисловості та оборонної промисловості завдяки розробкам та новим доповненням. Зокрема, його можна використовувати у небезпечних гуманітарних роботах для здоров'я та безпеки людей, таких як утилізація бомб, приватні лабораторні операції.

## 2 ОПИС ІНТЕРАКТИВНОГО МАНІПУЛЯТОРУ

### 2.1. Основні вимоги

Головною вимогою для інтерактивного маніпулятора є можливість відтворювати рухи людини, а саме правої руки. Для цього потрібно щоб маніпулятор міг зчитати та відтворити не тільки два крайні положення пальців, а кожен змінений градус положення пальців. Для того, щоб пальці на інтерактивному маніпуляторі вигинались, треба використовувати серводвигуни, їх перевага є в тому, що завдяки редуктору та контролеру, серводвигуни можуть робити оберти дуже точно, тобто оберт на кожен градус можна контролювати. Для зчитування руху пальців будемо використовувати Flex-датчики(датчики вигину), завдяки своїй будові вони можуть зчитувати кожен градус вигину. Можна сказати, що інтерактивний маніпулятор базується на взаємодії Flex-датчиків(датчиків вигину) та серводвигунів. Технічні критерії інтерактивного маніпулятора зображені в табл. 2.1

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики інтерактивного маніпулятора

Критерій відповідно ГОСТ 25685-83	Параметри інтерактивного маніпулятора
За спеціалізацією	спеціальний
Вантажопідйомність	надлегкі (до 1 кг)
Область застосування	промисловість, наукова діяльність, освітня сфера тощо
Число ступенів рухливості робота	Одна ступінь рухливості
Вид управління	Ручний

### **3 ВИБІР ЕЛЕКТРОННИХ КОМПОНЕНТІВ ТА РОЗРОБКА СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ ДО МАКЕТУ**

#### **2.1 Вибір Flex - датчиків**

В основі побудови інтерактивного маніпулятора була здатність зчитувати і повторювати рухи людського тіла, в нашому випадку людської кисті. Для цього потрібно було придбати або зробити наступні комплектуючі:

- flex – датчики (датчики вигину);
- мікрокомп'ютер Arduino;
- серводвигун;
- акумулятор типу 18560;
- щільна рукавичка;
- конектори типу «мама-мама»;
- конектори типу «мама-тато»;
- конектори типу «тато-тато».

Датчики вигину або «Flex–датчики», використовувані в даному проекті, представляють собою еластичні трубки, з розташованими в них чутливими елементами, кожен з датчиків змінює свій опір залежно від величини вигину. Тобто він перетворює зміну механічної структури в електричний опір, при цьому, чим більше вигин, тим більше значення опору. Датчики вигину або Flex–датчики досить дешеві і прості в застосуванні, тому їх без проблем можна використовувати в проектах з arduino. Датчики працюють на основі вугілля, яке нанесено на пластикову смужку і як у змінного резистора, у нього також змінюється опір. Вигинаючи датчик, котрий вигинається тільки в одному напрямку, в прямому пропорційному відношенні росте і його опір. Приблизний інтервал змін опорів від 9 кОм до 34 кОм. Датчики бувають двох типів розмірів 2.2 дюйма і 4.5 дюймів, в сантиметрах то буде 5,08см і 10,16 відповідно. Отже, виходячи з цього і розмірів середньо статичних пальців, ми обираємо датчик вигину розміром 4.5 дюймів.

Приклад Flex датчика розміром 4.5 дюймів зображений на (рис. 3.1).

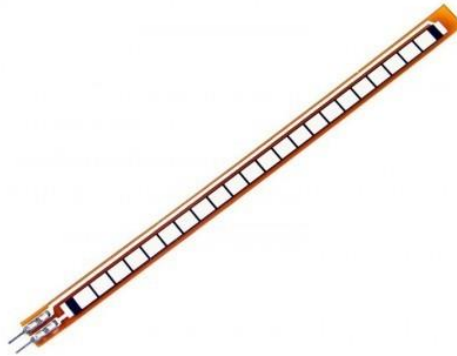


Рисунок 3.1 – Приклад Flex датчика розміром 4.5 дюймів

### 3.2 Вибір мікрокомп'ютера

Нам потрібен мозок нашого проекту, мікрокомп'ютер – до якого будуть під'єднані серводвигуни, датчики вигину і акумулятори. До вибору, ми маємо дуже багато контролерів. Основні з них це:

- raspberry Pi;
- arduino.

Мікрокомп'ютер Raspberry Pi має 64 – розрядний чотирьох ядерний процесор ARM Cortex – A53 з тактовою частотою 1.2 ГГц, на одно кристальному чипі Broadcom BCM2837, 1ГБ оперативної пам'яті типу LPDDR2 SDRAM, цифровий відеовихід HDMI, композитний вихід 3.5 мм, чотири USB - порти, типу USB 2.0, мережу WIFI, 802.11n, 10/100 мб RJ45 Ethernet. Мікрокомп'ютер Raspberry Pi має такі переваги:

- потужний процесор;
- більша кількість вибору мов програмування ;
- має аудіо-вихід;
- може працювати з відео-виходами.

Та все ж таки Мікрокомп'ютер Raspberry Pi має не мало недоліків:

- висока ціна;
- потребує дуже багато електроенергії;
- довге і складне налаштування.

Приклад мікрокомп'ютера Raspberry Pi зображений на (рис. 3.2).



Рисунок 3.2 – Приклад мікрокомп'ютера Raspberry Pi

В свою чергу Arduino типу uno має процесор на 16МГц, 20 портів введення-виведення, 6 аналогових входів, 32кб flash - пам'яті, 2кб з яких виведено під так званий bootloader (він дозволяє з звичайного комп'ютера прошивати Arduino через звичайний USB порт), ця пам'ять постійна і не призначена для зміни в процесі експлуатації пристрою, її призначення це – зберігання програми і супутніх статичних ресурсів. Програмна частина Arduino складається з відкритої програмної оболонки (IDE) для написання програм, їх компіляції та програмування апаратури. Апаратна частина є набором друкованих плат, що продається як офіційним виробником, так і сторонніми виробниками. Простота освоєння середовища розробки – це інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, який дозволяє в найкоротші терміни освоїти середу розробки. Arduino типу uno має такі переваги:

- дуже низьку ціну;

- захист USB від короткого замкнення;
- відносно малі габарити (69x53мм).
- потребує дуже мало електроенергії;
- має декілька способів програмування;
- адаптована для взаємодії з різними датчиками.

Arduino UNO має недоліки, наприклад:

- слабкий процесор;
- мало пам'яті.

Після зрівняння двох типів контролерів, було обрано саме мікрокомп'ютер Arduino Uno. До речі, Arduino контролери бувають таких типів:

- arduino Uno;
- arduino Nano;
- arduino Leonardo;
- arduino Mini;
- arduino Micro;
- arduino Mega;
- arduino Due.

Приклад мікрокомп'ютера Arduino Uno зображений на (рис. 3.3).



Рисунок 3.3 – Приклад мікрокомп'ютера Arduino Uno

### 3.3 Підбір механічної частини

Для того, щоб фаланги пальці інтерактивного маніпулятора рухались, потрібно обрати механізм для руху, тобто двигун. Найбільш популярними і відповідними для нашого проекту є колекторні, безколекторні, та сенсорні двигуни.

Колекторні двигуни маю таку назву, бо колектором то є частина двигуна, що напряду контактує із щітками. Двигун може мати назву колекторний, якщо хоча б одна обмотка його ротора з'єднана із щітками та колектором. Колекторні електродвигуни бувають трьох типів:

- постійного струму;
- змінного струму;
- універсальні.

Універсальні двигуни можуть працювати як від постійного, так і від змінного струму. Вони досі є популярними, незважаючи на те, що наявність щіток є негативним моментом, так як щітки мають звичку стиратися і іскрити. За цим вузлом потрібне постійне спостереження, технічне обслуговування. Серед плюсів колекторних двигунів є:

- можливість плавного регулювання швидкості;
- невисока вартість.

Як і всі електродвигуни, колекторний двигун перетворює електричну енергію в механічну. Він складається з нерухомої частини - статора і рухомий - ротора. У статорі знаходяться обмотки збудження, ротор відповідає за передачу механічної енергії. Одна зі складових частин ротора - вал. З боку, на валу розміщений колекторний вузол, за допомогою якого передається електрична енергія на обмотки ротора. Колекторний тип двигунів має чимало мінусів, до них відносять:

- швидкий знос щіток;
- поява іскор;

- не дуже велика кількість обертів.

Приклад колекторного двигуна зображений на (рис. 3.4).



Рисунок 3.4 – Приклад колекторного двигуна

Відмінно від колекторних двигунів, безколекторні двигуни не мають щіток, тому їх ще називають безщіточними. Двигуни такого типу складаються з ротора з магнітами постійного струму і статора з обмотками. Колектор замінюється електричним обладнанням. Як і у колекторних двигунів, момент безколекторних двигунів прямо пропорційний току, а швидкість залежить від напруги живлення. Безколекторні двигуни мають велику перевагу в порівнянні з колекторними двигунами – це відсутність тертя. Тому вони мають високий ресурс роботи.

Безколекторні двигуни мають такі переваги:

- менше тертя;
- не мають іскор ;
- регулювання обертового моменту;
- великий ресурс роботи;
- економія енергії;
- дуже велика частота обертання.

Недоліки безколекторних двигунів:

- дорога ціна;
- тяжке технічне обслуговування.

До речі, головною візуальною відзнакою безколекторних двигунів від колекторних є наявність трьох дротів, а не двох як на колекторних. Найчастіше, дроти чорного кольору мають позначку мінус «-», дроти красного кольору мають позначку плюс «+», а дроти жовтого кольору є сигнальними. Приклад безколекторного двигуна зображений на (рис 3.5).



Рисунок 3.5 – Приклад безколекторного двигуна

Також, в більшості випадків безколекторні двигуни не можуть працювати без регуляторів оберту. Регулятори оберту потрібні для контролю частоти обертів безколекторного двигуна. Приклад регулятора обертів для безколекторного двигуна зображений на (рис 3.6).

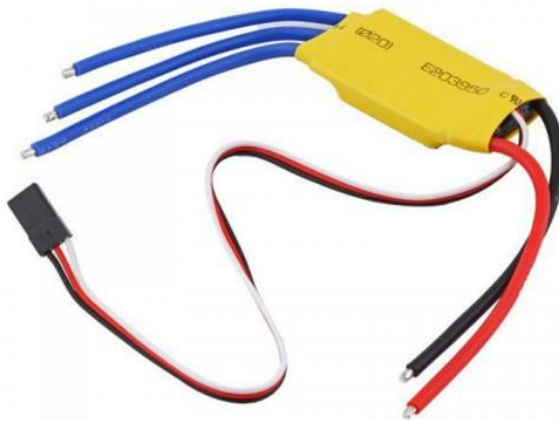


Рисунок 3.6 – Приклад регулятора обертів для безколекторного двигуна

Головною відзнакою сенсорного двигуна від колекторного є наявність сенсорів, завдяки яким, сенсорний двигун має дуже пологий старт і краще всього контролюється частота обертів двигуна. Приклад сенсорного двигуна зображений на (рис 3.7).



Рисунок 3.7 – Приклад сенсорного двигуна

Найбільш відповідним двигуном для проекту, є сенсорний двигун, але нам він потрібен разом із редуктором. В такому вигляді він має назву «серводвигун».

Серводвигун – це привід, в якому є використання зворотного зв'язка, завдяки чому вдається точно керувати рухом вихідного валу. Кажучи простою мовою, серводвигун отримує сигнал від мікрокомп'ютера, контролера, приймача, тощо. Отримавши сигнал, серводвигун повертається на заданий кут оберту, і не змінить цього кута, доки не отримає на це сигналу. Різні серводвигуни мають різні обмеження щодо кутів обертання. Але найбільш популярними є серводвигуни із кутом обертання на 60, 90, 120 и 180 градусів.

Серводвигуни бувають таких типів:

- аналогові;
- цифрові.

В аналоговому серводвигуні данні обробляються логічним шляхом, тобто йде порівняння поточного і майбутнього місця розташування серводвигуна, на основі цієї різниці, дається команда на зміну кута оберту. Час реакції приблизно дорівнює 50 разів на секунду, це приблизна кількість оновлення і отримання імпульсів. На відмінну від аналогового серводвигуна, де частота оновлення дорівнює 50 разів на секунду, в цифровому серводвигуні використовується мікроконтролер, тому частота оновлення дорівнює вже не 50 разів на секунду, а в 8-10 разів швидше, тобто йде отримання 400 – 500 імпульсів в секунду. Завдяки цьому, цифровий серводвигун реагує дещо швидше і точніше, але при цьому він потребує значно більше електроенергії ніж серводвигун аналогового типу. Також серводвигун із цифровим мікроконтролером коштує значно більше, ніж аналоговий серводвигун. Виходячи с цього, в проекті буде використовуватися двигун аналогового типу, з кутом повороту на 120 градусів, з діапазоном напруги 4.8-7.2В, масою 55г і з крутним моментом до 10кг/см. Приклад аналогового двигуна (рис 3.8).



Рисунок 3.8 – Приклад аналогового двигуна

Також інтерактивний маніпулятор потребує живлення. До речі, з моменту винаходження перших акумуляторів пройшло не більше 150 років, і на теперішній час просто не можливо уявити сучасний світ без портативних елементів живлення.

### 3.4 Елементи живлення

Живити інтерактивний маніпулятор можемо декількома способами, наприклад: використовувати зовнішній блок живлення; акумулятор; живлення від комп'ютера. В нашому випадку, підійдуть варіанти із зовнішнім блоком живлення та живлення через акумулятор, але інтерактивний маніпулятор потрібен бути легко транспортабельним, та автономним, то ж перевагу надаю акумуляторам. Акумулятори, або гальванічні елементи бувають таких типів:

- свинцево-кислотні;
- нікель-кадмієві;
- нікель-металогідридні;
- нікель-цинкові;
- літій-іонні акумулятори.

Свинцево-кислотні акумулятори – це акумулятори які працюють на основі взаємодії між металами та рідинами, з назви зрозуміло, що основними компонентами акумуляторів є свинець і кислота. Принцип праці, полягає на протіканню оборотної реакції, котра виникає в разі замкнення пластин з позитивними та негативними полюсами. Цей тип акумулятор є доволі популярний, бо має не велику ціну, багато циклів заряду/розряду та використовується у автомобілях, системах резервного живлення та в промисловості; Але на морозі втрачається ємкість, в наслідок чого ці акумулятори не можна використовувати у дуже холодних середовищах(діапазон -40 +40), також мають велику вагу, та не велику токовіддачу. Приклад свинцево-кислотного акумулятора зображений на (рис 3.9).



Рисунок 3.9 – Приклад свинцево-кислотного акумулятора

Нікель-кадмієві акумулятори – це акумулятори лужного типу, електроди складаються із окису гідрату нікелю, графіту, окису барію, кадмію в порошковому стані. Також електролітом, виступає розчин який містить 20% калію, моногідрату літію. Пластини розміщенні так, щоб негативно заряджена пластина знаходилась між двома позитивно зарядженими. Частіше всього, цей тип акумуляторів використовують в промисловості. Також як і свинцево-кислотні мають занадто малу токовіддачу, тож не підходять для нашого проекту.



Рисунок 3.11 – Приклад нікель-металогідридного акумулятора

Нікель-цинковий акумулятор – в них використовується брикет спресованого типу, у якості негативного електрода, він складається із оксиду цинку і цинкового пилу у пропорціях 7:3. Позитивним електродом є пластина, яка зроблена з нікелю та просочена спеціальною активною речовиною. Струм проводить мідно-кадмієвий дріт. Приклад нікель-цинкового акумулятора зображений на (рис 3.12).



Рисунок 3.12 – Приклад нікель-цинкового акумулятора

Літій-іонні акумулятори – це на мою думку, найпопулярніший в світі тип акумуляторів. Вони використовуються повсюди, починаючи з вейпів(електронних цигарок), закінчуючи супутниками і електромобілями(наприклад у електромобілі «Теслі»). Перші літій-іонні акумулятори з'явилися аж у 1973 році, але тоді вони були експериментального типу, тож популярність свою завоювали тільки на початку 21 століття, а вже перші безпечні літій-іонні акумулятори з'явилися у 1992 році. Працюють літій-іонні акумулятори за принципом використання іонів літію, котрі в свою чергу, пов'язані із молекулами додаткових металів. Наприклад, то може бути літійкобальтоксид і графіт. Під часу розряду акумулятора відбувається перехід іонів від електродів негативного типу(катода), до електродів позитивного типу(анодів), а під час заряду це відбувається навпаки. Також схема

літій-іонних акумуляторів, передбачає розміщення сепаратора між двома частинами елементів, це робиться для того, щоб запобігти самовільному переміщенню іонів літію. Коли відбувається процес заряду, або розряду і ланцюг акумулятора є замкнутим, іони долають сепаратор і переходять до протилежного зарядженого електроду. Літій-іонні акумулятори, завдяки тому, що мають дуже високу щільність енергії, дуже малу вагу, швидкий час повного перезарядження, та велику токидачу, є найліпшим варіантом у використанні в якості елемента живлення для інтерактивного маніпулятора. Літій-іонні акумулятори бувають різних типів, та форм-факторів, тип 18650 є найліпшим вибором. Приклад літій-іонного акумулятора зображений на (рис 3.13).



Рисунок 3.13 – Приклад літій-іонного акумулятора

### 3.5 Додаткові комплектуючі

Для розміщення Flex-датчиків(датчиків вигину) на кисті, потрібно підібрати щільну рукавичку. Вона повинна приблизно робити вигин, відповідно до пальців. Датчики вигину, будуть кріпитися вздовж кісток кожного із пальців. Розміщатись кожен з цих датчиків буде на спеціальну рукавичку, що дозволяє фіксувати ступінь вигину кожного з пальців оператора.

На мою думку, цим характеристикам відповідає рукавичка для зварювальних робіт. Приклад рукавички для розміщення датчиків вигину зображений на (рис 3.14).



Рисунок 3.14-Приклад рукавички для розміщення датчиків вигину

Для з'єднання серводвигунів, флех-датчиків(датчиків вигину), акумуляторів і мікрокомп'ютера Arduino між собою, потрібні дроти-конектори типів: тато-тато, тато-мама, мама-мама, тощо. Приклад дротів-конекторів (рис 3.15).



Рисунок 3.15 -Приклад дротів конекторів

### 3.6 Схеми підключення

Під час підключення електричних компонентів до мікрокомп'ютера Arduino, слід зрозуміти і запам'ятати до яких роз'ємів були підключені компоненти, також слід взяти до уваги, що аби не спалити мікрокомп'ютер Arduino, всі елементи, які потребують багато електроенергії, слід живити окремим джерелом енергії. Першою чергою під'єднаємо серводвигуни, сигнальні дроти(в нашому випадку, дроти жовтого кольору) від'єднуємо до 9, 10, 11, 12 і 13 цифрових виходів Arduino. Далі слід під'єднати джерело енергії(акумулятор). З'єднавши два літій-іонних акумулятора типу 18650 по 3.7В послідовно, отримаємо акумулятор на 7.4В, але для Arduino буде достатньо 3.7В, тож окремо для неї виводимо два дроти з одного із акумуляторів, на 3.7В, дріт із позитивним полюсом підключаємо до виходу мікрокомп'ютера Arduino під назвою: «5V»; дріт із негативним полюсом підключаємо до виходу із назвою:«GND» - що з англійської означає: «земля»; Далі потрібно під'єднати вихід із акумулятора на 7.4В до позитивних і негативних дротів серводвигунів напряму. Завантажуємо скетч із середовища: “Arduino studio”; для перевірки двигунів, все працює, то ж можемо перейти до наступного етапу, до підключення Flex- датчиків(датчиків вигину). Сигнальні дроти датчиків вигину під'єднаємо до аналогових виходів A0, A1, A2, A3, A4. Вони не потребують багато електроенергії, то ж їх можна живити напряму з Arduino. Приклад схеми підключення електронних компонентів інтерактивного маніпулятора до мікрокомп'ютера Arduino зображена на (рис. 3.16).

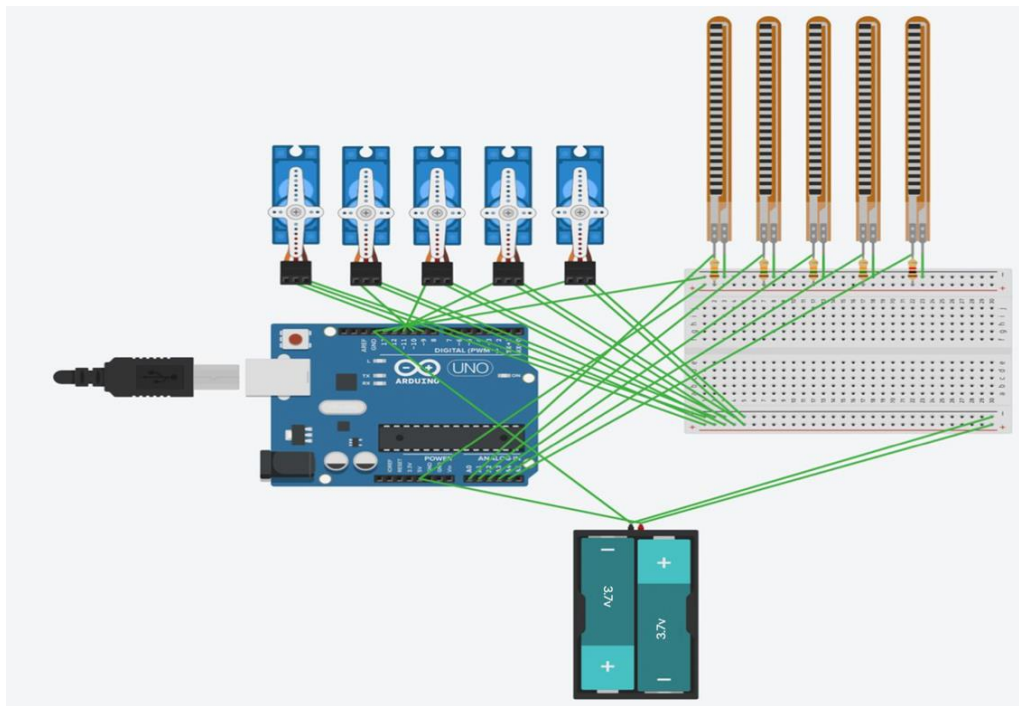


Рисунок 3.16 - Приклад схеми підключення електронних компонентів інтерактивного маніпулятора до мікрокомп'ютера Arduino

## **4 ЗБІРКА МАКЕТУ ІНТЕРАКТИВНОГО МАНІПУЛЯТОРА ТА ЙОГО ПРОГРАМУВАННЯ**

### **4.1 Збір інтерактивного маніпулятора**

Після того, як 3Д макет інтерактивного маніпулятора було роздруковано на 3Д принтері, використовуючи PLA-пластик. Його потрібно зібрати і встановити всю електроніку. В першу чергу, треба зрозуміти, що для цього потрібно. Щоб з'єднати всі деталі кожного пальця, потрібно придбати жорстку нить, клей типу «момент», резинову нить, та дріт діаметром 1.2мм. Починаємо послідовно протягувати через спеціальні отвори у пальцях нитки і резинки, на кінці кожного з пальців їх потрібно зв'язати разом і заклеїти клеєм. Деякі із пальців треба закріпити спеціальними болтами діаметром 3.5мм. Також закріплюємо кисть до основної частини руки, використовуючи болт діаметром 3.5мм. Потім, потрібно під'єднати кожен з п'яти пальців до кисті, через отвори, які були зроблені аби палці мали змогу згинатись і вигинатись, треба протягнути дріт діаметром 1.2мм. Це треба робити дуже обережно, бо пластик в цьому місці є доволі тонкий. Під'єднавши пальці дротами, слід протягнути резинки і ниті відповідно до кожного отвору та закріпити резинки на осьовому болті. Приклад закріплення одного з пальців зображено на (рис 4.1).

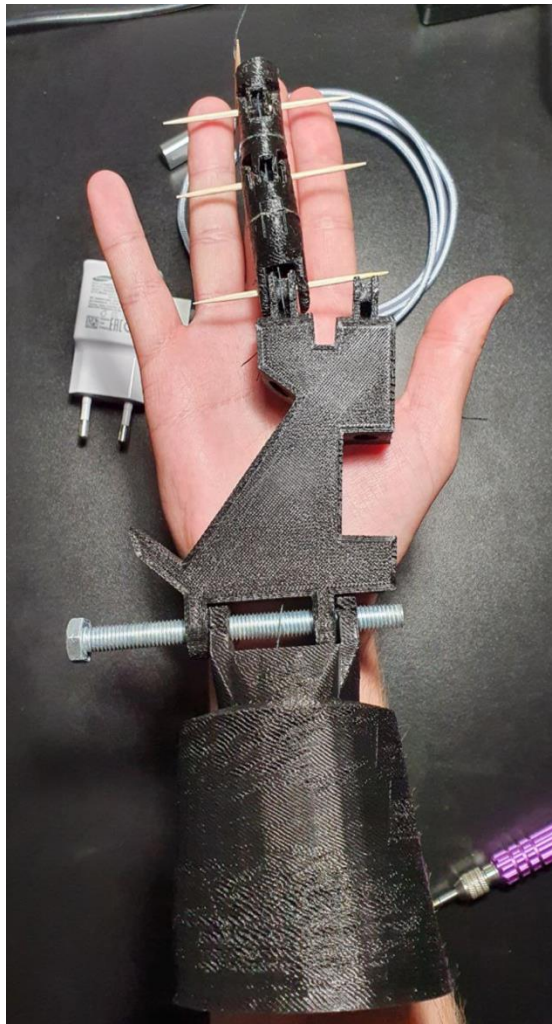


Рисунок 4.1 – Приклад закріплення одного з пальців

Коли всі пальці закріплені, слід приклеїти основну частину руки, де будуть кріпитися все електронні компоненти. Далі починаємо встановлювати серводвигуни на окрему платформу, котра була роздрукована на 3Д принтері. Для цього нам знадобяться гвинти діаметром 0.5 мм и довжиною 16 мм. Через спеціальні отвори на серводвигунах прикручуємо їх до платформи. Приклад закріплених серводвигунів на платформі зображено на (рис 4.2).

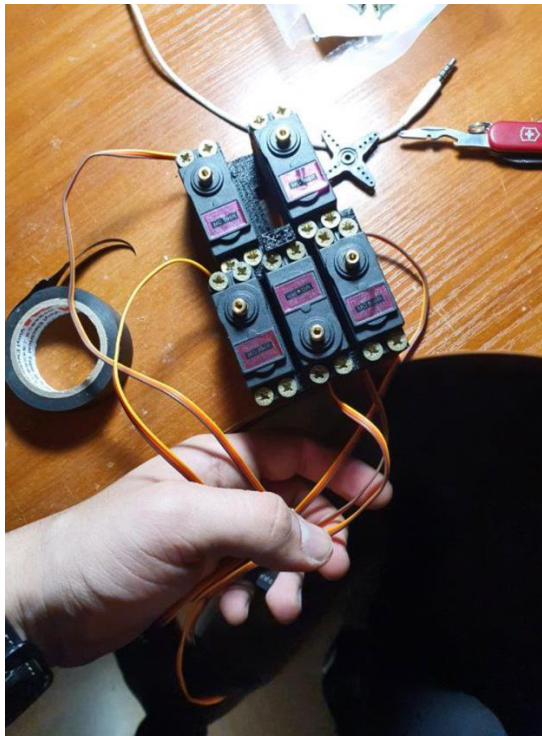


Рисунок 4.2 – Приклад закріплених серводвигунів на платформі

Наступним кроком буде установка платформи із серводвигунами до самою руки, прикручуємо їх до спеціальних отворів, використовуючи гвинти діаметром 0.5 мм и довжиною 16мм. Після цього, на осі обертання серводвигунів прикручуємо так звані «Гойдалки». Хочу звернути увагу на те, що перед тим, як під'єднати гойдалки до серводвигунів, серводвигуни слід включити, для того, щоб вони повернулись на свої «робочі позиції». Коли ми відкалібрували серводвигуни, слід натягнути нитки до цих гойдалок. Кожен серводвигун відповідає за окремий палець, то ж слід взяти до уваги, щоб правильно натягнути нитки, бо якщо це зробити не правильно, нитки можуть почати тертися і внаслідок чого порватися. Після того, як під'єднали нитки і натягнули їх, слід зрозуміти, в яку сторону повинен обертатися той, чи інший серводвигун. Збірку маніпулятора закінчено, приклад зібраного маніпулятора зображено на (рис 4.3).



Рисунок 4.3 – Приклад зібраного маніпулятора

Далі потрібно підготувати та встановити Flex датчики(датчики вигину) на щільну рукавичку. До кожного з датчиків, маємо припаяти по три дроти. Перший дріт, то мінус, тож використовуємо дроти чорного кольору і припаюємо до виходу з позначкою «мінус -», далі до контакту з позначкою «плюс +» слід спочатку припаяти сигнальний дріт синього кольору, далі до цього ж контакту з позначкою «плюс +» припаюємо резистор на 10кОм, а до цього резистора вже припаюємо дріт червоного кольору. Приклад готових до розміщення Flex датчиків(датчиків вигину) зображена на (рис 4.4)

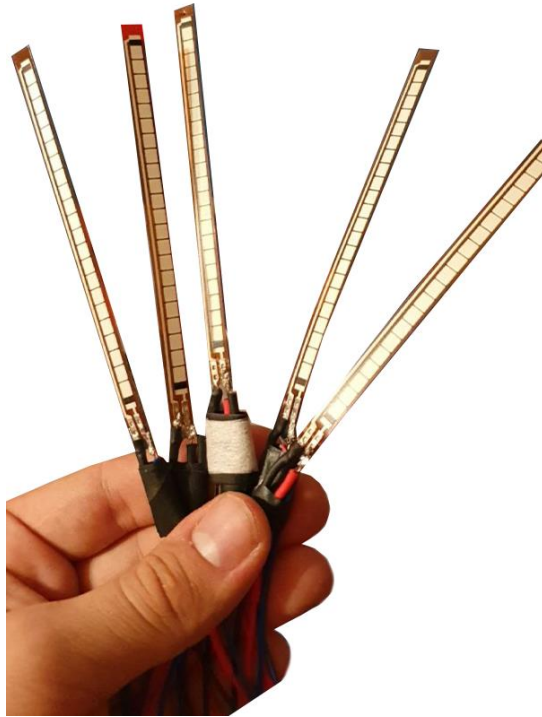


Рисунок 4.4 – Приклад готових до розміщення Flex датчиків(датчиків вигину)

Слід зауважити, що всі контакти знаходяться досить близько один від одного, і щоб уникнути короткого замкнення, рекомендовано ізолювати контакти ізоляцією або термоусадкою. Також для того, щоб спростити під'єднання до мікрокомп'ютера Arduino, слід використовувати конектори типу «мама-мама», а після цього під'єднати конектори типу «тато-тато».

Наступним кроком буде встановлення Flex датчиків(датчиків вигину) до щільної рукавички. Для того щоб це зробити, треба ножем або іншим гострим предметом зробити дірки на кожному з пальців рукавички. Зробивши дірки, починаємо встановлювати Flex датчики(датчики вигину) на пальці рукавички, використовуючи стяжки. Хочу звернути увагу на те, що на кінцівках пальців, стяжки не потрібно міцно затягувати, бо під час вигину пальців, Flex датчики(датчики вигину) повинні «ходити», тому затягуємо стяжки тільки на початку пальців. Також, рекомендовано пришити ниткою головну частину Flex датчики(датчики вигину), щоб контакти не пошкодились під час експлуатації. Приклад готової до підключення рукавички зображено на (рис 4.5).



Рисунок 4.5 – Приклад готової до підключення рукавички

Далі потрібно під'єднати до мікрокомп'ютера Arduino рукавичку із Flex датчиками(датчиками вигину). Як це зробити, описано у розділі №3. Під'єднавши всі електроні компоненти до мікрокомп'ютера Arduino, потрібно написати програму для управління інтерактивним маніпулятором. Приклад всіх під'єднаних компонентів зображено на (рис 4.6).

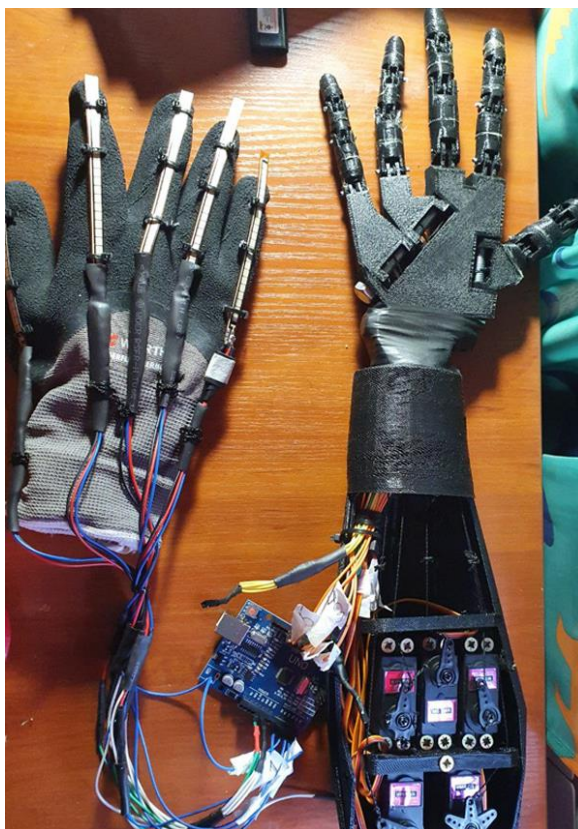


Рисунок 4.6 – Приклад всіх під'єднаних компонентів

## 4.2 Написання програмного коду

Перше ніж почати написання програми, треба уявити принцип роботи даної системи управління маніпулятором. Для цього, була складена блок схема алгоритму. З метою мінімізації кількості операндів алгоритму, деякі етапи рішення задачі об'єднані в процедури і відображені у вигляді одного кроку. Блок–схема алгоритму управління одним елементом системи управління маніпулятором зображена на (рис 4.7) нижче. Всього таких елементів в системі управління п'ять для кожного руху пальцями.

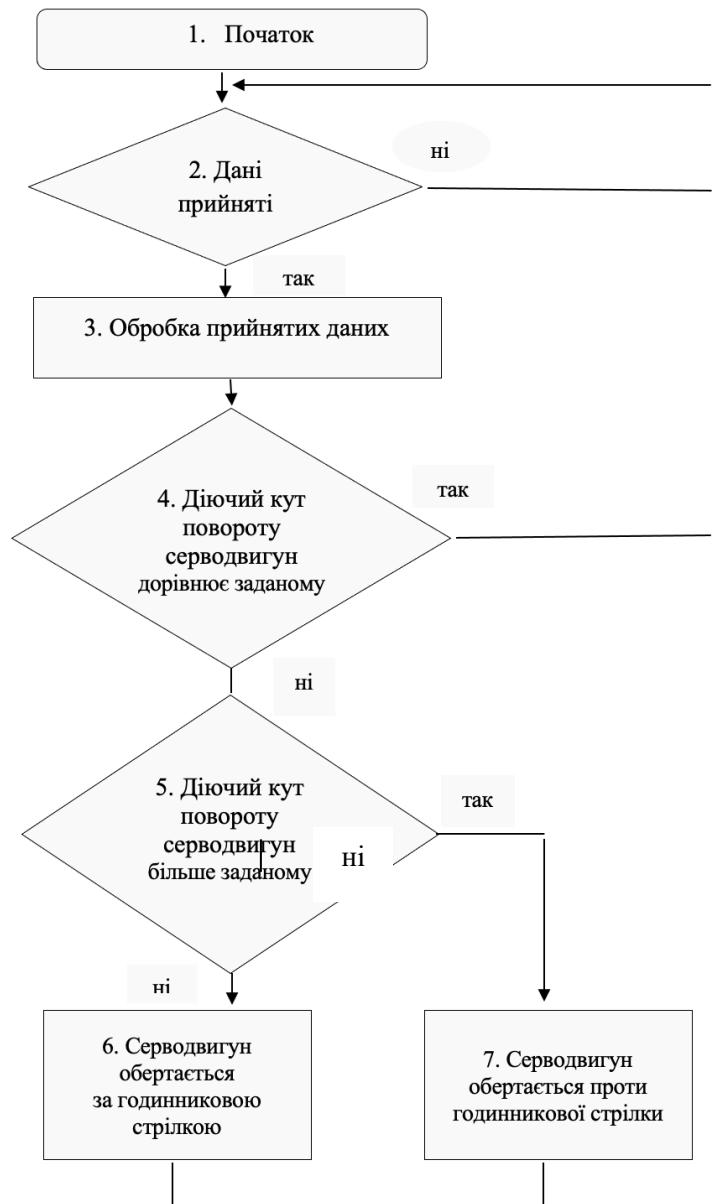


Рисунок 4.7 – Приклад блок-схеми алгоритму управління одним елементом системи управління маніпулятором

Таким чином, будь-яка зміна положення кисті оператора, помічене системою управління, за допомогою використовуваних датчиків, буде відображено рухом самого маніпулятора. Тим самим рука-маніпулятор повторює рухи оператора.

Програма – це опис процесу обробки інформації. При виконанні програми розраховується сукупність вихідних значень виходячи з сукупності змінних або постійних вхідних значень. Мета виконання програми – збір даних або отримання

відгуку на вхідні значення [18]. Програма складається з рядків тексту. Кожен рядок містить один або кілька арифметичних або керуючих операторів. Комп'ютерна програма – це чітко формалізований план, що складається з команд для контролера (системи прийняття рішень). Контролер по чергово читає команди і виконує їх [10]. Команди всередині будь-якого цифрового пристрою, наприклад, Arduino, закодовані нулями і одиницями, а називається це двійковим поданням чисел, то є вся інформація перед надходженням в контролер перекодується з звичної для нас десяткової системи числення в двійкову. Таким чином, при виконанні логічних або арифметичних операцій контролер порівнює, ділить, віднімає, виконує інші дії саме над двійковими числами. Ці числа зберігаються в послідовних осередках «Flash - пам'яті», та мають певні адреси. При надходженні живлення на контролер Arduino автоматично починається виконання тієї програми, яка була в нього завантажена, якщо ж програма відсутня або написана некоректно, то відбувається збій, який або зупиняє виконання команд, або призводить до зависання мікрокомп'ютера. Номер виконуваної програми зберігається в спеціальній комірці пам'яті, яка називається лічильником команд [10]. Цей номер змінюється на наступний при виконанні арифметичної операції, але може змінитися і на будь-яку адресу, якщо виконувалася логічна команда, результатом якої став перехід на деякий пункт плану, відмінний від наступного по порядку.

Алгоритмом називають впорядковану певним чином послідовність інструкцій програми [18]. Алгоритм, який не має логічних блоків і виконується строго по пунктам від початку і до кінця, називається лінійним. Приклад лінійного алгоритму зображено на (рис. 4.8).

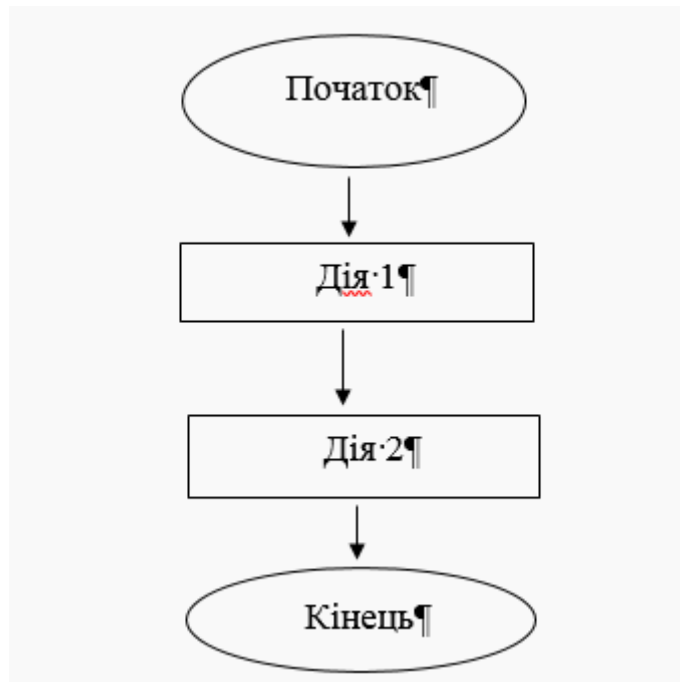


Рисунок 4.8 - Приклад лінійного алгоритму

Якщо алгоритм після досягнення останнього пункту має нескінченне повторення, його називають циклічним. Приклад циклічного алгоритму зображена на (рис. 4.9).

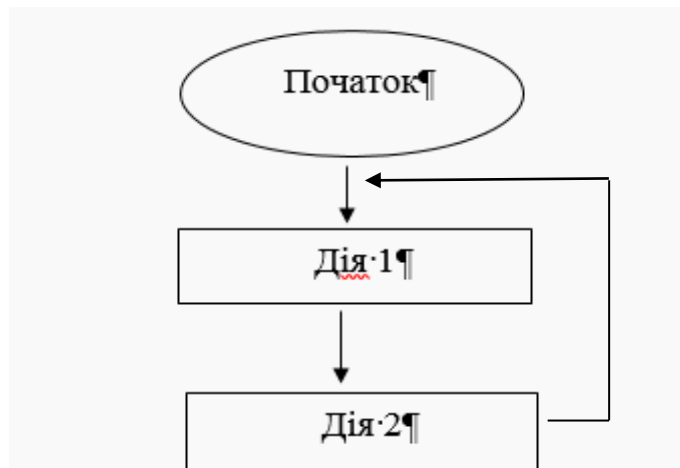


Рисунок 4.9 - Приклад циклічного алгоритму

При наявності в алгоритмі аналізу деякого значення і прийняття рішення в результаті такого аналізу, цей алгоритм називається розгалужуючим. Розгалужуючий алгоритм зображена на (рис 4.10).

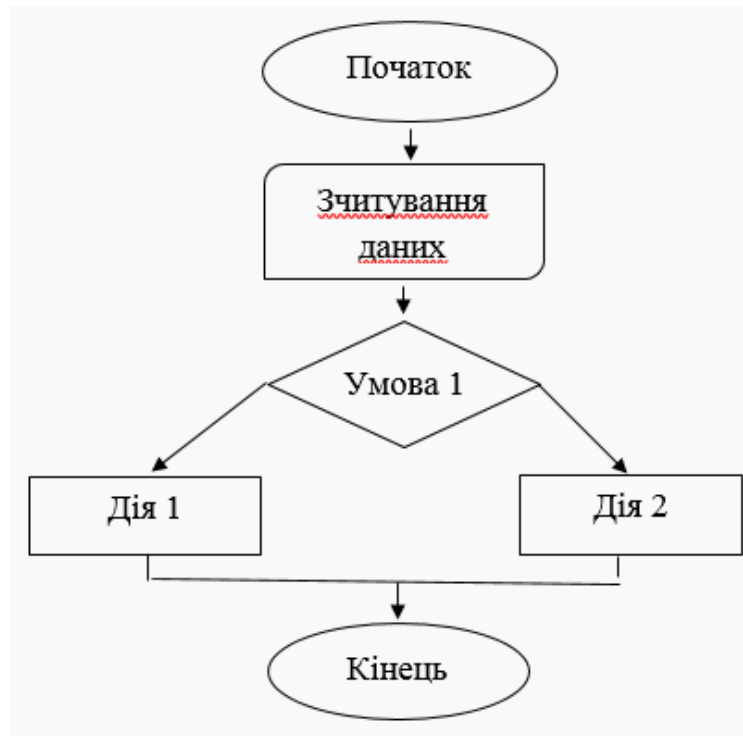


Рисунок 4.10 - Приклад розгалужуючого алгоритму

Текстова форма алгоритму більш схожа на комп'ютерну програму, але візуально сприймається гірше, в ній важче знайти логічні помилки, особливо якщо переходів багато. Для того, щоб створити комп'ютерну програму, необхідно ясно зрозуміти, що вона повинна робити і головне, як вона це буде робити. Якщо деякі питання вами ще не опрацьовані, а ви вже пишете серйозну програму, то, швидше за все, вона не буде працювати так, як ви розраховуєте. Тому потрібно йти від простого до складного, розбивати програми на маленькі прості блоки, домагатися їх працездатності, а тільки потім збирати з них повноцінну програму.

В основу мови програмування, що використовується в дипломній роботі, покладений C++ – один з найбільш широко використовуваних мов програмування, що підтримує як роботу з низькорівневими командами, так і побудовою складних об'єктів [10].

Використання в розробці програмного забезпечення мови програмування на основі C++, мови високого рівня.

Моніторинг програми дозволяє виконати налагодження пристрою. Для того щоб контролер міг спілкуватися з комп'ютером під час виконання програми

записується в функції `setup` команда `Serial.begin (9600)`, яка вказує, з якою швидкістю відбувається обмін інформацією з ПК. Для обміну інформацією потрібно, щоб приймач і передавач здійснювали обмін на однаковій швидкості, а так як контролер Arduino досить повільний, то найбільш придатною для обміну з ним є швидкість 9600. Обмін інформацією на більш високих швидкостях також можливий, але задіє більше кількість ресурсів контролера, при цьому частіше відбуваються переривання поточної програми.

Важливою складовою синтаксису мов програмування є змінні. Змінні – це області пам'яті, що мають ім'я, яке інакше називають ідентифікатором. До початку роботи з змінними їх потрібно оголосити, як і в будь-якій іншій середовищі програмування, наприклад Turbo Pascal. У мові C / C ++ всі змінні повинні бути оголошені. Це означає, що, по-перше, на початку кожної програми або функції повинен бути наведений перелік усіх використовуваних змінних, а по-друге, зазначений тип кожної з них [14]. При роботі зі змінними слід розуміти, що вони не є ідеальним сховищем інформації. Наступний оператор `switch ... case` дозволяє швидко зробити вибір з набору певних значень, програма з його використанням виглядає набагато простіше, її легше аналізувати.

Після завантаження коду до мікрокомп'ютера Arduino, для управління сконструйованим роботом-маніпулятором, який наведено у Додатку В. Треба відкалібрувати діапазон значень Flex-датчиків(датчиків вигину). Щоб це зробити, треба в програмі відкрити вкладку під назвою «вікно моніторингу», та почати згинати кожен палець по черзі, діапазон значень, котрі можна побачити в «вікні моніторингу» слід вписати до програми, у кожного пальця можуть бути різні показники і це нормально, це і є так званий «процес калібрування». Після цього слід скопіювати код, якщо помилок не має, його потрібно завантажити до Arduino і це буде означати, що інтерактивний маніпулятор готовий до роботи. Повний код управління роботом-маніпулятором наведено у додатку В.

## ВИСНОВКИ

У рамках дипломної роботи здійснено розробку інтерактивного маніпулятора. Для вирішення поставлених завдань використовувалися методологією системного аналізу, сучасними технологіями та керуванням роботів промислового типу.

Проведений огляд та аналіз основних понять та визначень роботів і робото технічних пристроїв встановив, робот – це електромеханічний пристрій, здатний до доцільної поведінки в умовах мінливої зовнішньої обстановки, здійснює робочі операції зі складними просторовими переміщеннями та має широке застосування в виробництві.

Були підібрані електричні компоненти, а також розроблена електрична схема. Для даної моделі було також створено програмний код в середовищі Arduino, яким буде керуватися інтерактивний маніпулятор. Створена програма мовою C++. Перевірка працездатності інтерактивного маніпулятора показала, що маніпулятор здатний повторювати рухи людини за допомогою спеціальної рукавички, яку одягає оператор. Окрім цього робота–маніпулятора запрограмована та налагоджено на подальшу роботу у навчальних цілях.

У цьому дослідженні було помічено, що рухи пальців сприймаються та імітуються з високим ступенем точність без проблем завдяки гнучким датчикам, встановленим на рукавиці. Новизна система полягає в тому, що система може контролювати та відстежувати положення рухів руки.

У ході виконання дипломної роботи: були підібрані всі електричні компоненти та матеріали для збірки; обрано засоби програмного забезпечення для керування; розроблено програма для керування інтерактивним маніпулятором; проведено дослідження ефективності розробленого програмного забезпечення. Завдання дипломної роботу виконано в повному обсязі.

Також слід зазначити, що Інтерактивний маніпулятор стане комерційно більш поширений, оскільки вартість складає лише 6420 грн. Інтерактивний маніпулятор також може бути використаний в оборонній промисловості, при

проведенні робіт зі знешкодження бомб, в небезпечних місцях для здоров'я та безпеки людини тощо.

Виділено основні технічні заходи для уникнення пожежі. Розглянуто методи та засоби зниження впливу негативних впливів на охорону навколишнього середовища.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ**

1. Sakagami, Y., Watanabe, R., Aoyama, C., Shinichi, M., Higaki, N. (2002). «The intelligent ASIMO: System overview and integration», Proceedings of the IEEE Int. Conf. on Intelligent Robots and Systems, Lausanne, Switzerland, October.
2. Аппаратная платформа Arduino [электронный ресурс]. Режим доступа: <http://www.cfin.ru/press/marketing/2000-5/02.shtml>
3. Белослудцева Л. И., Прончев Г. Б. Курс робототехники для дополнительного образования // Проблемы и перспективы развития образования: материалы II Междунар. науч. конф. – Пермь: Меркурий, 2012. – С. 102–104.
4. Бейктал, Дж. Конструируем роботов на Arduino. Первые шаги / Дж. Бейктал ; пер. с англ. О. А. Трефиловой. – Москва : Лаборатория знаний, 2016. – 320 с.
5. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
6. Васильков В. Г. Організація виробництва. Навч. посібник / В. Г. Васильков – К.: КНЕУ, 2003. – 524 с.
7. Гернет М. М. Курс теоретической механики: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1987. – 344 с.
8. Гололобов В. Н. С чего начинаются роботы. О проекте Arduino для школьников и не только / В.Н. Голобко. – Москва: 2011. – 189 с.
9. Депутат О. П. та ін. Цивільна оборона. Підручник / О. П. Депутат, І. В. Коваленко, І. С. Мужик; За ред. полковника П. І. Кашина. – Львів: ІП «Василькевич К.І.», 2005. – 340 с.
10. Дергунов О. В. Комп'ютеризована система вихрострумового неруйнівного контролю / О. В. Дергунов, Ю. В. Куц, // Системи обробки інформації. Вип. 8, Харків – 2013. – С.75–79.

11. Довідкова інформація Arduino [електронний ресурс]. Режим доступу: <https://www.arduino.cc>
12. Дьяконов В. MATLAB. Анализ, идентификация и моделирование систем. Специальный справочник / В. Дьяконов, В. Круглов. – СПб. : Питер, 2002. – 61 с.
13. Егоров О. Д. Конструирование механизмов роботов [Текст] / О. Д. Егоров; М.: ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», 2012. – 444 с.
14. Егоров О. Д. Прикладная механика мехатронных устройств / О. Д. Егоров; М.: ФГБОУ ВПО МГТУ «СТАНКИН», 2013. – 229 с.
15. Иванов А. А. Основы робототехники. М.: Форум, 2012. – С. 224
16. Коберник, В. Ф. Охрана труда [Текст] / В. Ф. Коберник; – К.: Вища школа, 1990. – 286 с.
17. Кулаков Б. Б. Антропоморфные роботы как новая сфера применения гидроприводов / Б. Б. Кулаков, Д. Б. Кулаков, В. В. Беляев // Инженерный журнал: наука и инновации. Электронное научно-техническое издание – 2013. – № 4(16). – С. 1 – 14.
18. Куц Ю. В. Статистична фазометрія / Ю.В. Куц, Л. М. Щербак – Тернопіль: Вид-во Тернопіл. технічного ун-ту імені Івана Пулюя, 2009. – 383с.
19. Лукінюк М. В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічні об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навч. за напр. «Автоматизація і комп'ютерноінтегровані Технології» / М. В. Лукінюк; Нац. техн. ун-т України «Київськ. політехн. ін-т». – К. : КПІ, 2008. – 236 с.
20. Лурье А. И. Аналитическая механика. – М.: Физматгиз, 1971. – 632 с.
21. Методичні вказівки до дипломного проектування розділу «Охорона праці» / Укл.: Г. І. Дуднік, В. П. Порохненко, А. А. Потуремець, А. О. Писарський, О. В. Коваленко, О. М. Савчук. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2000. – 60 с.

- 22.НПАОП 0.00–1.31–99. Правила охорони праці під час експлуатації електронно–обчислювальних машин // ДНАОП: електронна версія. URL: [https://dnaop.com/html/245\\_3.html](https://dnaop.com/html/245_3.html)
- 23.Основы проектирования машин: учебное пособие / И.Ф. Дьяков, В.Я. Недоводеев, В.Н. Демокритов, А.В. Олешкевич. – Изд. 2–е, перераб. И доп. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 127 с.
- 24.Промышленные роботы и манипуляторы [электронный ресурс]. Режим доступа:  
[http://cncnc.ru/documentation/theory\\_of\\_mechanismus\\_and\\_machines/lect\\_19](http://cncnc.ru/documentation/theory_of_mechanismus_and_machines/lect_19)
- 25.Репнікова Н. Б. Теорія автоматичного керування: класика і сучасність; підручник / Н. Б. Репнікова. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 328 с.
- 26.Сляднева Н. А. «РОБОСКОП ВТ–3000» Роботизированный комплекс вихретокового контроля / Диагностические приборы. Средства и технологии неразрушающего контроля.– 2008, №1. – С.31.
- 27.Сляднева Н. А. «РОБОСКОП ВТ–3000» Роботизированный комплекс вихретокового контроля / Диагностические приборы. Средства и технологии неразрушающего контроля.– 2008, №1. – С.31.
- 28.Солодовник П. Е. Програмне забезпечення модуля керування промислового робота МРЛУ–200–901 // Онлайн–конференції: електрон. версія. URL: <http://www.konferenciaonline.org.ua/arhiv-konferenciy/arhiv-konferenciy12-12-2019>
- 29.Тетерко А. Я. Селективна вихрострумова дефектоскопія / А. Я. Тетерко, З. Т. Назарчук; НАН України. Фіз.–мех. ін–т ім. Г. В. Карпенка. – Л., 2004. – 247 с.
30. Юревич Е. И. Основы робототехники. – 2–е изд., перераб.и доп. – СПб.: ВВХ–Петербург, 2005. – 416 с.