

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК 621:616-78

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ А.Г. Протасов

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**зі спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
на тему: «Робот-маніпулятор для позиціонування датчиків на виробках зі
складною геометрією»**

Виконала:

студентка II курсу, групи ПК-71мп

Жук Аліна Іванівна _____

Керівник:

к.т.н, доцент

Галаган Р.М. _____

Консультант з розробки стартап-проекту:

к.е.н., доцент

Бояринова К.О. _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студентка _____ Жук А.І.

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Приладобудівний факультет

Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – **151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології**

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.Г. Протасов

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

Жук Аліні Іванівні

1. Тема дисертації «Робот-маніпулятор для позиціонування датчиків на виробах зі складною геометрією», науковий керівник дисертації Галаган Роман Михайлович, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: процес автоматизації.
4. Вихідні дані: апаратна плата Arduino, елементи активного переміщення: кроковий двигун Nema 17, серводвигун MG995.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: зробити огляд методів і засобів; зробити огляд існуючих роботів-маніпуляторів та провести їх аналіз; розробити конструкцію та макет робота-маніпулятора; розробити програму керування роботом-маніпулятором.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: 1 – назва, предмет, об'єкт дослідження, мета роботи, завдання; 2 – конструкція приладу; 3 – блок-діаграма програми керування; 4 – алгоритм роботи.
7. Орієнтовний перелік публікацій: одна теза.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту	Бояринова К.О., к.е.н., доцент		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формування завдання магістерської дисертації	11.09.2017	Виконано
2	Проведення аналітичного огляду роботів-маніпуляторів	18.09.2017-22.01.2018	Виконано
3	Визначення основних характеристик роботів-маніпуляторів	23.01.2018-06.02.2018	Виконано
4	Огляд існуючих роботів-маніпуляторів	06.02.2018-28.05.2018	Виконано
5	Розробка конструкції та макету робота-маніпулятора	03.09.2018-29.10.2018	Виконано
6	Розробка програми керування роботом	29.10.2018	Виконано

Студент

А.І., Жук

Науковий керівник дисертації

Р.М., Галаган

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація складається зі вступу та 6 розділів, висновку та списку використаної літератури. Повний обсяг складає 89 сторінок, в тому числі 41 ілюстрація, 26 таблиць та 25 літературних джерел.

Актуальність даної теми полягає в тому, що автоматизація виробництва спрощує процес контролю, а також може замінити деякі процеси виробництва. Відомі закордонні роботи-маніпулятори мають значний недолік – високу ціну, а в нашій країні роботи-маніпулятори схожого або такого самого типу не виготовляються. Через це, автоматизація вітчизняного виробництва та подальшого контролю виготовлених виробів є високовартісною та не кожен виробник або компанія можуть собі дозволити використання робота-маніпулятора. Тому пропонується створити модель робота-маніпулятора для підготовки спеціалістів, які в майбутньому програмуватимуть таких роботів-маніпуляторів на роботу. Через високу ціну промислових роботів-маніпуляторів їх наявність у вищих закладах освіти є неможливою, тому пропонується надрукувати спроектовану подібну його модель за допомогою 3D-принтера та використавши в якості джерела рушійної сили сервопривід та крокові двигуни.

Мета даного дослідження полягає у розробці робота-маніпулятора для позиціонування датчиків на виробках зі складною геометрією. Створення програми керування є другим етапом проведеного дослідження.

Завдання:

1. Аналітичний огляд і патентний пошук;
2. Розробка конструкції робота-маніпулятора;
3. Розробка програми керування;
4. Макетування та експериментальні дослідження.

Об'єкт досліджень – процес автоматизації.

Предмет досліджень – методи і засоби позиціонування датчиків.

За результатами дослідження був створений робот-маніпулятор за допомогою апаратної платформи Arduino, середовища графічної розробки SolidWorks та 3D-принтера. Використання даних технологій значно здешевить процес контролю, зробить його більш доступним та автоматизує.

Частина процесу дослідження була опублікована в збірнику тез 11-ї Всеукраїнської науково-практичної конференції студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування».

Ключові слова: робот-маніпулятор, автоматизація, складна геометрія, Arduino, Solid Works.

ABSTRACT

The master's dissertation consists of the introduction and 6 sections, the conclusion and the list of used literature. The full volume is 89 pages, including 41 illustrations, 26 tables and 25 literary sources.

The urgency of this topic is that automation of production simplifies the control process, and also can replace some processes of production. Known foreign work-manipulators have a significant drawback - a high price, and in our country work manipulators of the same type or the same type are not manufactured. Because of this, the automation of domestic production and further control of manufactured products is high value, and not every manufacturer or company can afford to use a robot-manipulator. Therefore, it is proposed to create a robot-manipulator model for the training of specialists who in the future will program such robot manipulators for work. Due to the high price of industrial robot manipulators, their availability in higher education institutions is impossible, therefore, it is proposed to print a design of this similar model using a 3D printer and using as a source of propulsion power and stepper motors.

The purpose of this study is to develop a robot-manipulator for positioning sensors in products with complex geometry. Creating a management program is the second stage of the study.

Task:

1. Analytical review and patent search;
2. Development of robot-manipulator design;
3. Development of a management program;
4. Layout and experimental research.

Object of research - the process of automation.

Subject of research - methods and means of positioning sensors.

The robot-manipulator was created by means of the Arduino hardware platform, the SolidWorks graphics development environment, and the 3D printer. Using these technologies will significantly reduce the cost of control, make it more affordable and automate.

Part of the research process was published in the collection of theses of the 11th All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students and Postgraduates "A View to the Future of Instrumentation."

Keywords: robot manipulator, automation, complex geometry, Arduino, Solid Works.

ЗМІСТ

ВСТУП	9
1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	10
1.1 Моделі роботів – маніпуляторів	10
1.2. Технічні характеристики роботів-маніпуляторів	22
1.3 Програмне забезпечення роботів-маніпуляторів	27
2 КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ	33
3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА	42
4 ПРОГРАМУВАННЯ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА	51
4.1 Програмування серводвигунів	51
4.2 Програмування крокових двигунів	57
4.3 Драйвер крокового двигуна	61
4.4. Програмування розробленого робота-маніпулятора	66
5 ТОЧНІСТЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ	70
6 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА»	73
6.1 Опис ідеї проекту	73
6.2 Технологічний аудит ідеї проекту	75
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту	76
6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	83
6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту	84
ВИСНОВКИ	88
СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ	89
ДОДАТКИ	92

ВСТУП

Жодна область приладобудування на сьогодні не обходиться без автоматизованих систем. Важливим засобом спрощення виробництва є його автоматизація, якої можна досягнути завдяки залученню у виробництво та остаточний контроль виробів роботизованих систем. Одним з основних напрямків розвитку технології приладобудування є вдосконалення існуючих та розробка нових неруйнівних способів контролю як виробів, так і виробничих процесів. Оскільки сьогодні галузь приладобудування набирає невпинних обертів, має сенс створення нових методик проведення неруйнівного контролю дефектів у приладах, деталях, механізмах та матеріалах. Проте сьогодні у галузі виробництва та експлуатаційного контролю виробів існує ряд проблем, однією з яких є вплив людського фактору на результат контролю.

На сьогодні у виробництві застосовується багато роботів-маніпуляторів, які між собою поділяються на безліч різновидів, проте не всі ці роботи здатні самостійно здійснювати певні операції і все ж таки потребують втручання технічного спеціаліста.

Тому, необхідність створення навчальної моделі робота-маніпулятора для позиціонування датчиків на виробах зі складною геометрією є достатньо актуальною задачею на сьогодні.

1 АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Моделі роботів – маніпуляторів

Розвиток масштабів промисловості потягнув за собою стрімкий розвиток автоматизованих технологій. Так, компанія Юніверсал-Роботс родом з Данії, займається випуском роботів-маніпуляторів для автоматизації циклічних виробничих процесів. Продукція компанії представлена лінійкою з трьох полегшених промислових маніпуляційних пристроїв з розімкненим кінематичним ланцюгом: UR3, UR5, UR10 (рис. 1).

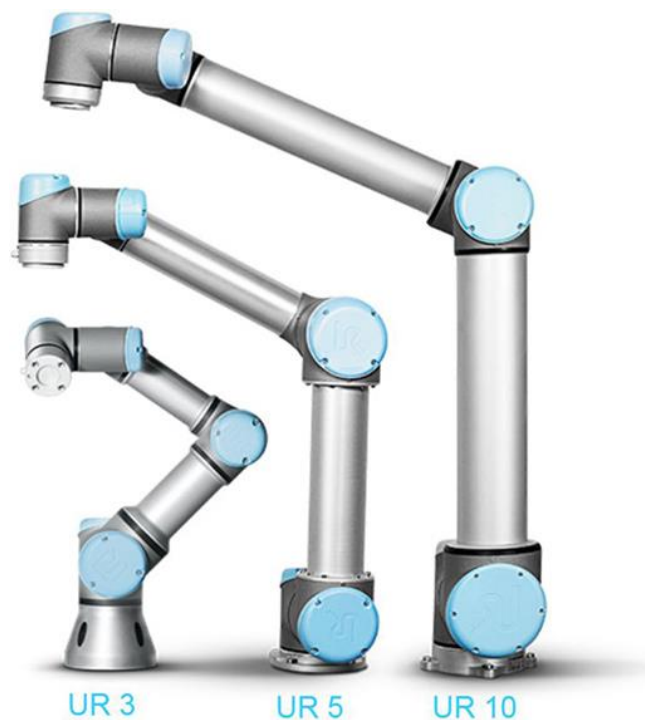


Рисунок 1 –Маніпуляційні пристрої з трьома варіаціями кінематичного ланцюга зліва-направо UR3, UR5, UR10

Всі моделі мають 6 ступенів свободи: 3 переносні і 3 орієнтуючі (рис. 2). Пристрої від Юніверсал-Роботс виробляють тільки кутові переміщення. Роботи-маніпулятори розділені на класи, в залежності від гранично допустимого корисного навантаження. Іншими відмінностями є - радіус робочої зони, вага та діаметр основи.



Рисунок 2 – Відображення ступенів свободи у робота-маніпулятора серії UR

Всі маніпулятори серії UR оснащені датчиками абсолютного положення високої точності, які спрощують інтеграцію з зовнішніми пристроями і обладнанням. Завдяки компактному виконанню, маніпулятори серії UR не займають багато місця і можуть встановлюватися в робочих секціях або на виробничих лініях, де не має місця для встановлення звичайних роботів. [1]

Однією з переваг даної серії роботів-маніпуляторів є простота програмування. Спеціально розроблена і запатентована технологія програмування дозволяє операторам, які не володіють спеціальними навичками, швидко налаштувати роботів-маніпуляторів серії UR і управляти ними за допомогою інтуїтивної технології 3D-візуалізації. Програмування

відбувається шляхом серії простих пересувань робочого органу маніпулятора в необхідні положення, або натисканням стрілок в спеціальній програмі на планшеті.

Окрім цього, значною перевагою перед іншими роботами у роботів-маніпуляторів серії UR є їх швидкість налаштування. Оператору, що виконує первинний запуск обладнання, потрібно менше години для розпакування, монтажу і програмування першої простої операції.

Маніпулятори серії UR здатні замінити операторів, що виконують рутинні завдання в небезпечних і забруднених умовах. В системі управління ведеться облік зовнішніх впливів, що даються на робот-маніпулятор в процесі роботи. Завдяки цьому, маніпуляційні системи серії UR можна експлуатувати без захисних огорожень, поруч з робочими місцями персоналу. Системи безпеки роботів схвалені і сертифіковані Союзом працівників технічного нагляду Німеччини. Варто зауважити, що привілегією роботів-маніпуляторів даної моделі є будь-який тип розміщення, тобто конструкція не вимагає особливих умов для встановлення. [2]

Отже, з промисловими роботами-маніпуляторами серії UR відкриваються можливості автоматизації практично всіх циклічних рутинних процесів. Роботи-маніпулятори компанії Юніверсал-Роботс відмінно зарекомендували себе в різних областях застосування. Наприклад, при установці маніпуляторів серії UR на ділянках перекладки і упаковки дозволило збільшити точність і зменшити усадку. Більшість операцій з перекладки тепер здійснюється без нагляду оператора або працівника відділу.

Розглянемо наступну модель робота-маніпулятора FANUC M-2000iA / 1200 виробництва компанії FANUC (рис.3). Робот належить до монументальних роботів, створених корпорацією FANUC спеціально для роботи з найбільш важкими вантажами. Використання даного вантажопідйомного обладнання дозволяє досягти легкості і надійності роботизованих систем, оскільки можна усунути від роботи до 4 звичайних роботів, замінивши їх сучасною роботизованою технікою.

Стандартні підйомні пристрої, такі як транспортер або кран, вимагають участі людини, і робота з такими пристроями, як правило, пов'язана з ризиком. Перевага FANUC M-2000iA / 1200 в тому, що його робота автоматизована, а можливості не поступаються стандартним тягачам. Таким чином, використання даного робота мінімізує ризик травматизму на виробництві. Виробник також подбав про те, щоб цей робот-силач відповідав найжорсткішим вимогам, які пред'являються до всіх операцій в процесі вантажно-розвантажувальних робіт. Тому міцність і безпека - ще одна відмінна властивість сучасного вантажопідйомника від FANUC.

Даний п'ятиосьовий вантажопідйомний робот піднімає до 1200 кг і переміщає вантаж на відстань до 3,7 м та має перевагу, так як працює без участі людини, що практично зводить до нуля небезпеку травматизму та вплив людського фактору. Працює робот-маніпулятор при температурах від 0 °C до 45 °C.



Рисунок 3 – Робот-маніпулятор моделі FANUC M-2000iA / 1200

Цей робот – найпотужніша модель FANUC, адже він легко впорається з величезними вантажами вагою до 1200 кг. Один робот FANUC M-2000iA

впорасться із завданнями, для виконання яких зазвичай потрібні від двох до чотирьох звичайних моделей. Системи таких роботів стали значно простішими, надійнішими й легшими для програмування. Завдяки зміщенню 1250 мм ця потужна модель ідеально підходить для переміщення й палетування надважких конструкцій і продуктів (рис. 4).

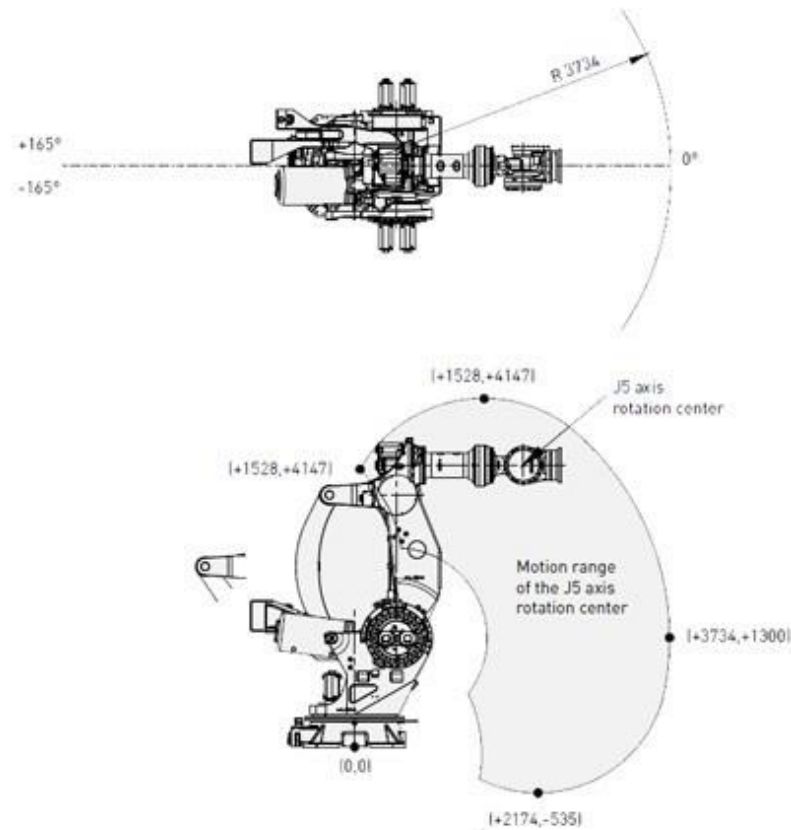


Рисунок 4 – Схематичне зображення робочого діапазону робота FANUC M-2000iA / 1200

У моделі даного робота-маніпулятора є одна суттєва особливість - найсильніше зап'ястя у світі, яке здатне на переміщення важких залізничних колісних пар вагою до 1300 кг. Також така модель робота-маніпулятора може замінити собою звичні крани, підйомники й транспортні візки, підвищуючи продуктивність і усуваючи небезпечну ручну роботу.

Отже, робот моделі FANUC M-2000iA / 1200 є найкращим вирішенням для застосування у важкій промисловості, де основною задачею стоїть

усунення людського фактору та мінімізація залучення менш потужних промислових роботів. Дана модель для легкої промисловості не задовільнить вимогам.

Розглянемо також модель KR QUANTEC PA робота-маніпулятора від компанії KUKA Robotics (рис. 5). Особливістю даного робота-маніпулятора є його здатність виконувати роботу при мінусових температурах до -30°C . Цей робот відмінний варіант для роботи в галузях харчової промисловості. Модель робота-маніпулятора KUKA KR QUANTEC PA arctic була сконструйована спеціально для роботи з укладанням палетів у морозильних камерах. Для роботи при мінусових температурах апарат не потребує захисних кожухів. Так само робот повністю укомплектований електронікою стійкою до морозу. [3]



Рисунок 5 – Модель робота-маніпулятора KR QUANTEC PA

Робот відрізняється досконалими технологіями, які спрямовані на глибоку оптимізацію технологічних процесів. Висока швидкість на максимальній робочій зоні, мінімум виступаючих контурів і висока надійність - все це необхідно для досконалої автоматизації. Роботи розроблені спеціально

для виконання складних навантажувальних і розвантажувальних завдань. Головними перевагами даної моделі є: швидкий ритм роботи, висока продуктивність, компактні розміри та висока економічність.

Розглянемо детальніше переваги робота-маніпулятора KR QUANTEC PA: краща тривалість тактів, малі контури перешкод, економія простору та надточна робота.

У плані тривалості тактів він є одним з найшвидших на ринку роботів-маніпуляторів, які виконують задачі складання та розвантаження. KR QUANTEC PA має постійну пропускну здатність - навіть при короткій тривалості тактів і повному навантаженні.

Всі роботи QUANTEC PA оснащені рукою з порожнистим валом для укладання в ньому системи енергопостачання та економії місця. Ця подовжена, легка і компактна рука забезпечує малі контури перешкод і оптимальне приєднання захватів.

Завдяки подовженій рукоятці і невеликій площі установки KR QUANTEC PA потрібна мінімальна монтажна площа. Це дозволяє створити інноваційні концепції осередків для виконання завдань по розвантаженню.

KR QUANTEC PA розроблений спеціально для складних завдань по розвантаженню. Його сила і динаміка дозволяють штабелювати кілька палет на великій висоті.

Області застосування роботів великої вантажопідйомності:

- Всі види маніпулювання: розвантаження, навантаження, комплектування (в т.ч. вибіркоче), вставка, установка, упаковка, палетування;
- Всі види зварювання: точкове зварювання, роботизована зварювання в середовищі захисних газів, електродугове зварювання, лазерна зварювання та інше;
- Пайка;
- Фарбування, нанесення клеїв і герметиків;
- Механічна обробка поверхонь металовиробів, пластмас та інших матеріалів;

- Різні види різання;
- Монтажні роботи: збірка, скріплення, розбирання, установка кріпильних елементів і ін.;
- Робота на ділянках пресування і формування;
- Заміри, сервісні перевірки, діагностика і тестування обладнання і виробів.

Розглянемо ще одну модель промислового робота-маніпулятора IRB 120, виробництва компанії ABB. Це промисловий робот четвертого покоління ABB IRB 120 один з найменших роботів коли-небудь створених компанією ABB. Цей робот ідеально підходить для обробки матеріалів і збірки (рис. 6). [4]



Рисунок 6 – Модель робота-маніпулятора IRB 120

Промисловий роботи ABB IRB 120 буде корисний в таких галузях, як електронна, харчова промисловість, енергетика, фармацевтика, в медицині і науково-дослідницької діяльності. Цей компактний 6 - осьовий промисловий робот може працювати вантажопідйомністю до 5 кг. Маючи можливість бути встановленим під будь-яким кутом, він ідеально підходить для розміщення в місцях з обмеженим простором. Силові та інформаційні кабелі прокладені

всередині руки робота, щоб виключити інтерференцію і забезпечити гнучкість інтеграції.

Легкий корпус з алюмінію в поєднанні з потужними компактними моторами, дає цьому маніпулятору здатність рухатися з високою швидкістю і точністю. модель IRB 120 оснащений компактным контролером для забезпечення високої точності управління рухом.

Найменший промисловий робот ABB з вагою всього в 25 кг і вантажопідйомністю в 3 кг (4 кг з відключеною 5-й віссю) і робочою зоною до 580 мм. Це ефективне, бюджетне та надійне рішення для швидкої окупності при низьких витратах. Також доступна сертифікована версія для роботи в чистих приміщеннях Clean Room ISO 5 (Class 100). Даний робот-маніпулятор найшвидший серед лінійки роботів IRB.

Робот-маніпулятор IRB 120 це орієнтир для додатків високошвидкісного переміщення, які потребують особливої гнучкості в поєднанні з кращою в галузі повторюваністю операцій в 10 мкм. Зберігаючи властиві цій моделі компактний дизайн і мала вага, маніпулятор IRB 120 надає можливість істотного збільшення максимальної швидкості осей 4,5 і 6 що в свою чергу збільшує продуктивність скорочуючи час циклу до 25%. Робочий діапазон робота-маніпулятора зображено на рис. 7. [5]

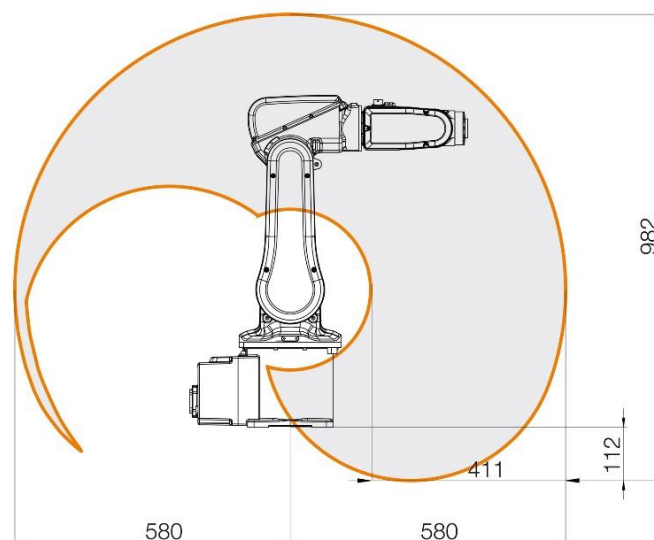


Рисунок 7 – Робочий діапазон робота-маніпулятора IRB 120

У робота-маніпулятора IRB 120 горизонтальна смуга руху 580 мм, найкраще в класі удар, здатність рухатися базою по вертикалі на 112 мм і має дуже компактний радіус повороту.

Отже, на основі розглянутих роботів-маніпуляторів та їх ознак, виділено переваги та недоліки різних типів роботів-маніпуляторів, а також їх недоліки.

Варто також зосередити увагу на огляді модельного ряду промислових роботів-маніпуляторів компанії Kuka. Розглянемо 5 основних серій KR QUANTEC:

1. Серія Nano - серія, призначена для тих, хто не володіє великими виробничими площами (рис. 8). Ці роботи успішно трудяться в самих обмежених умовах. Машини демонструють можливості для покращення якості роботизованого зварювання точковим методом. Моделі даного ряду оснащені можливістю повороту в великому робочому діапазоні, що дозволяє ефективно вирішувати завдання, наприклад, фрезерування.



Рисунок 8 – Робот-маніпулятор серії Nano

2. Серія Pro - підвищена міцність, широкий радіус, висока точність руки і велика потужність моделей дозволяє їм стабільно працювати навіть при

найвищих навантаженнях (рис. 9). Компактне тіло робота без виступаючих контурів дає можливість економити виробничі площі та створювати осередки вузького діапазону при високій вантажопідйомності.



Рисунок 9 – Робот-маніпулятор серії Pro

3. Серія Extra - роботи, які здатні виконувати максимально широкий спектр завдань без додаткових істотних інвестицій (рис. 10). Витончене виконання і зниження маси рухомої частини робота не скасовує надзвичайну міцність і надійність конструкції, а також дуже великих радіусів для даного класу роботів. Це дійсно новий рівень енергоефективності, продуктивності, точності, готовності до роботи.



Рисунок 10 – Робот-маніпулятор серії Extra

4. Серія Prime - гарна форма і легкість конструкції поєднуються з чудовою жорсткістю і високим показником вантажопідйомності (рис. 11). Однак виробники цінують цю серію за високу точність траєкторій і можливість працювати короткими циклами. Як приклад, зварювальні роботи точковим методом демонструють високу енергоефективність і успішно працюють в умовах обмеженого простору. При цьому радіус дії руки не менш широкий, ніж в серії Extra.



Рисунок 11 – Робот-маніпулятор серії Prime

5. Серія Ultra - призначена для тих, кому потрібна найвища питома потужність і найширший радіус дії в діапазоні великої вантажопідйомності (рис. 12).



Рисунок 12 – Робот-маніпулятор серії Ultra

При цьому вага і габаритні розміри мало відрізняються від інших промислових роботів Kuka в даному сегменті. Неймовірно швидкі і стабільні, роботи-маніпулятори серії Ultra дозволять вам досягти нового рівня продуктивності.

Отже, з проаналізованих роботів-маніпуляторів маємо, що у всіх моделей виявлено певну кількість переваг, а також недоліків. Проведений аналіз дозволяє зрозуміти, які недоліки є критичними, та дає змогу створити власну модель робота-маніпулятора з урахуванням усунення усіх можливих недоліків серед моделей-аналогів.

Головний фактор, який є недоліком розглянутих роботів – маніпуляторів це наявність людського фактору при керуванні. Варто зауважити, що на основі проаналізованої інформації в межах підрозділу зрозуміло можливі шляхи усунення людського фактору, або його мінімізації при процесі контролю та управління.

1.2. Технічні характеристики роботів-маніпуляторів

Наявність людського фактору при здійсненні контролю та управлінні роботу не єдиний недолік існуючих роботів-маніпуляторів. Варто зосередитись також на технічних характеристиках роботів – маніпуляторів, адже технічна складова є найважливішою при проектуванні, розробці та виробництві робота-маніпулятора. Технічно роботи-маніпулятори мають суттєві відмінності між собою. Це обумовлено, в першу чергу, цільовим призначенням робота-маніпулятора, а також масштабами застосування.

Розглянемо технічні характеристики роботів-маніпуляторів, які було наведено у підрозділі 1.1. Більш детальні технічні характеристики робота-маніпулятора серії UR наведено у таблиці 1.

Таблиця 1 – Технічні характеристики робота-маніпулятора серії UR від Юніверсал-Роботс

Найменування характеристики	Модель		
	UR3	UR5	UR10
Точність позиціонування	± 0,1 мм	± 0,1 мм	± 0,1 мм
Діапазон робочих температур	0 - + 50°C	0 - + 50°C	0 - + 50°C
Споживана потужність	125 Вт	150 Вт	250 Вт
Маса корисного навантаження	3 кг	5 кг	10 кг
Кількість ступенів свободи	6	6	6
Робочий діапазон основа плече лікоть зап'ясток 1,2,3	±360°	±360°	±360°
Рівень шуму	70 дБ	72 дБ	72 дБ
Діаметр основи	128 мм	149 мм	190 мм
Матеріал	алюміній, поліпропілен		
Довжина з'єднувального кабелю	6	6	6
Вага моделі	11 кг	18,4 кг	28,9 кг

З вищенаведеної таблиці слідує, що роботи-маніпулятори серії UR серед недоліків мають: недостатню точність позиціонування у порівнянні з іншими роботами-аналогами. Проте дана серія роботів-маніпуляторів має більше переваг, а саме: порівняльно невеликий діаметр основи, невелика вага моделі, а також порівняно мала споживана потужність. При цьому вага і габаритні розміри мало відрізняються від інших промислових роботів Kuka в даному сегменті. Неймовірно швидкі і стабільні, роботи-маніпулятори серії Ultra дозволять вам досягти нового рівня продуктивності. [6]

Більш детальні технічні характеристики робота-маніпулятора FANUC M-2000iA / 1200 наведено у таблиці 2.

Таблиця 2 – Технічні характеристики робота-маніпулятора FANUC M-2000iA / 1200

Найменування характеристики	Показник
Точність позиціонування	$\pm 0,18$ мм
Діапазон робочих температур	0 - + 45°C
Споживана потужність	470 Вт
Маса корисного навантаження	1200 кг
Кількість ступенів свободи	6
Робочий діапазон основа плече лікоть зап'ясток 1,2,3	$\pm 360^\circ$
Рівень шуму	72,8 дБ
Діаметр основи	474 мм
Матеріал	алюміній
Вага моделі	8600 кг

Не зважаючи на достатню кількість переваг даної моделі робота-маніпулятора, у FANUC M-2000iA / 1200 є декілька недоліків. Одним з суттєвих недоліків моделі є складність конструкції, її вага та масивність. Дана модель робота-маніпулятора призначена для широкого застосування в автомобільній промисловості.

Робота відбувається без коливань температури, що дозволяє зберігати якість продуктів і захищає їх від крижаного нальоту. KR QUANTEC PA розроблявся для надшвидкої і надійної роботи в умовах мінусових температур без підігріву механіки. Більш детальні технічні характеристики робота-маніпулятора KR QUANTEC PA наведено у таблиці 3.

Таблиця 3 – Технічні характеристики робота-маніпулятора KR QUANTEC

РА

Найменування характеристики	Показник
Точність позиціонування	$\pm 0,14$ мм
Діапазон робочих температур	$-30 + 5^{\circ}\text{C}$
Споживана потужність	160 Вт
Маса корисного навантаження	120-180 кг
Кількість ступенів свободи	5
Робочий діапазон основа плече лікоть зап'ясток 1,2,3	$\pm 360^{\circ}$
Рівень шуму	70 дБ
Діаметр основи	388 мм
Матеріал	алюміній
Вага моделі	1075 кг

Робот KR QUANTEC РА arctic не вимагає для роботи використання захисних кожухів, а це безсумнівно гарантує економію в експлуатації в порівнянні з іншими роботами. Також відсутня потреба в підігріванні електроніки, що виключає теплові випромінювання, що вимагають в промислових морозильних камерах додаткових витрат на дорогу енергію. [7]

Робот-маніпулятор IRB 120 це орієнтир для реалізації високошвидкісного переміщення, яке потребує особливої гнучкості в поєднанні з кращою повторюваністю операцій. Маючи компактний дизайн і малу вагу, робот-маніпулятор IRB 120 надає можливість істотного збільшення максимальної швидкості осей, що в свою чергу збільшує продуктивність скорочуючи час циклу до 25%.

Більш детальні технічні характеристики робота-маніпулятора IRB 120, виробництва компанії ABB наведено у таблиці 4.

Таблиця 4 – Технічні характеристики робота-маніпулятора IRB 120 від АВВ

Найменування характеристики	Показник
Точність позиціонування	$\pm 0,01$ мм
Діапазон робочих температур	0 - + 45°C
Найменування характеристики	Показник
Споживана потужність	200-600 Вт
Маса корисного навантаження	5 кг
Кількість ступенів свободи	6
Робочий діапазон основа плече лікоть зап'ясток 1,2,3	$\pm 360^\circ$
Рівень шуму	Максимум 70 дБ
Діаметр основи	180 мм
Матеріал	алюміній
Вага моделі	25 кг

Розроблений даний робот-маніпулятор з легкої алюмінієвої конструкції та оснащений двигунами, які забезпечують роботу робота з швидким прискоренням. [8]

На основі розглянутих технічних характеристик наведених вище роботів – маніпуляторів сформовано технічне завдання з бажаними технічними характеристиками моделі робота-маніпулятора, враховуючи дані технічних характеристик розглянутих роботів – маніпуляторів. Основними недоліками опрацьованих прикладів роботів – маніпуляторів є такі технічні дані: зavelика

вага робота – маніпулятора, великий діаметр основи, а також споживана потужність та рівень шуму при роботі моделі.

1.3 Програмне забезпечення роботів-маніпуляторів

Більшість сучасних роботів-маніпуляторів програмується за допомогою контролерів. Контролер - це пристрій управління і контролю процесами системи, в якій він встановлений. Контролер перетворює код в керуючі сигнали і видає на зовнішні пристрої. З зовнішніх пристроїв він отримує дані про робочі процеси і умови навколишнього середовища, за допомогою чого здатний самостійно контролювати деякі дії системи.

Метод програмування робота-маніпулятора залежить безпосередньо від його призначення. Розглянемо приклад програмування навчальної моделі робота-маніпулятора LEGO MINDSTORMS Education EV3. Розгляд частини програмування даної моделі є актуальним у даній магістерській дисертації, так як сконструйована модель робота-маніпулятора та його програмування має навчальну мету, та призначено для використання у вищих навчальних закладах з метою навчання студентів робототехніці та її програмуванню.

Отже, приведемо короткі теоретичні відомості з технічних характеристик модуля EV3 та його визначення.

Модуль EV3- це програмований інтелектуальний контролер, який контролює і управляє датчиками і моторами (рис. 13).



Рисунок 13 – Модуль EV3

Технічні характеристики модуля EV3:

- Процесор - ARM9;
- FLASH пам'ять - 16 мегабайт;
- Оперативна пам'ять - 64 мегабайт;
- Операційна система - Linux;
- Слот розширення SD;
- USB 2.0 (підтримує USB Host, тобто можна підключити до WiFi);
- Bluetooth 2.1;
- 4 порти на вхід і 4 порти на вихід;
- Динамік. [9]

Програмування на контролері EV3 дозволить легко і швидко освоїти етапи складання програм і тестів для робота завдяки простому інтерфейсу і готовим програмним блокам (компонентам).

Для програмування робота-маніпулятора LEGO MINDSTORMS Education EV3 компанією LEGO було розроблене спеціальне програмне середовище, в якому вже міститься все необхідне для програмування та контролю робота-маніпулятора.

Початок програмування робота на задану роботу починається зі створення нового проекту у вкладці «Файл» - «Новий проект» - «Програма». Після виробу даних команд отримуємо стартове вікно нової програми (рис.14).



Рисунок 14 – Стартове вікно нової програми

Далі у вкладці дія обираємо блок «Рульове управління» та з'єднуємо даний блок з блоком старт, який вже попередньо було автоматично створено. У конфігурації блока «Рульове управління» є можливість та необхідність обрати кількість обертів. Після вибору кількості обертів при натисканні на нього кількість обертів можна перевести у режим «Ввімкнути на кількість градусів». Також робота робота-маніпулятора є неможливою без заданої потужності. Потужність моторів виставляється вручну. Після реалізації усіх наведених вище дій маємо готову програму для запуску роботи робота-маніпулятора, яка зображена на рисунку 15.



Рисунок 15 – Готова програма для керування роботом-маніпулятором

Проте, даних дій недостатньо для початку керування роботом-маніпулятором. Однією з важливих завершаючих задач є перевірка підключення до контролера. Дана задача реалізується за допомогою команди «Перегляд портів» на контролері та проводить перевірку відповідності номерів портів з моторами. Зазвичай мотори підключаються до портів В та С. Якщо

після перевірки все підключено правильно, натискається «Завантажити та запустити» і робот-маніпулятор готовий виконувати задані команди.

Розглянемо також програмне середовище для симуляції та програмування роботи промислових роботів. Промислова робототехніка сьогодні активно розвивається у всьому світі. Величезний і складний пласт, без якого не буде працювати жоден робот - сучасне програмне забезпечення, яке і дає можливість роботу виконувати необхідні завдання. В процесі впровадження і використання роботів є свої труднощі. Великі виробництва унікальної продукції отримують дуже складні, але одиничні замовлення. Перепрограмування робота з пульта управління для зварювання нових деталей може зайняти кілька днів. При цьому поточне виробництво потрібно зупинити. У середніх виробництва велика номенклатура і часто невисока серійність. У малих - свої проблеми: брак кадрів для програмування роботів, складно спрогнозувати обсяг нових замовлень та довго програмувати нові роботи-маніпулятори. Доволі часто виробництва за роки своєї роботи купують роботів різних виробників. У всіх відрізняються мови програмування, пульти управління та інші деталі. Все це, найчастіше, робить роботизованість виробництва та контролю продукції економічно не вигідним. Тим часом, вимоги до якості постійно зростають.

Програмне середовище Ostopuz створене, щоб забезпечити ефективність роботизованої виробництва для малих партій деталей і унікальних великих конструкцій. Ostopuz швидко створює повністю функціональні програми для роботів. Технологічно при правильному налаштуванні шляху робочої частини через програмне середовище можна програмувати робота-маніпулятора на заходи в кути, «пошук дотиком», контроль зварювального шва по довжині дуги, багатопрохідне зварювання, контроль зіткнень і сингулярності - всі ці функції програмуються повністю оффлайн. В результаті час зупинки комплексу для переналагодження складає всього близько 10 відсотків від часу зупинки при традиційному програмуванні.

Основні функції програмного продукту Ostopuz для автономного програмування зварювальних роботів:

- зварювальний шлях створюється в кілька кліків;
- автоматичне програмування «пошуку дотиком» і корекції траєкторії положення пальника;
- програмування декількох видів швів, в тому числі багатопрохідного зварювання;
- автоматичне створення точки старту і завершення зварювання, а також кута пальника для заходу в кути деталі;
- сполучення 3-х додаткових зовнішніх осей;
- автоматичне підстроювання руху зовнішніх осей для оптимального зварювального шва;
- імпорт CAD-моделей;
- програмування спільної роботи роботів різних виробників. [10]

На рисунку 16 зображено робочий інтерфейс програми, яка виконує налаштування робочої частини на зварювання.

Також ще одною функціональною можливістю програмного забезпечення є роботизоване фрезерування також набирає популярність. Основні складності переходу з фрезерування на верстатах ЧПУ на роботизацію полягають у тому, що потрібно освоювати нові програмні середовища замість роботи в звичних CAD / CAM системах.

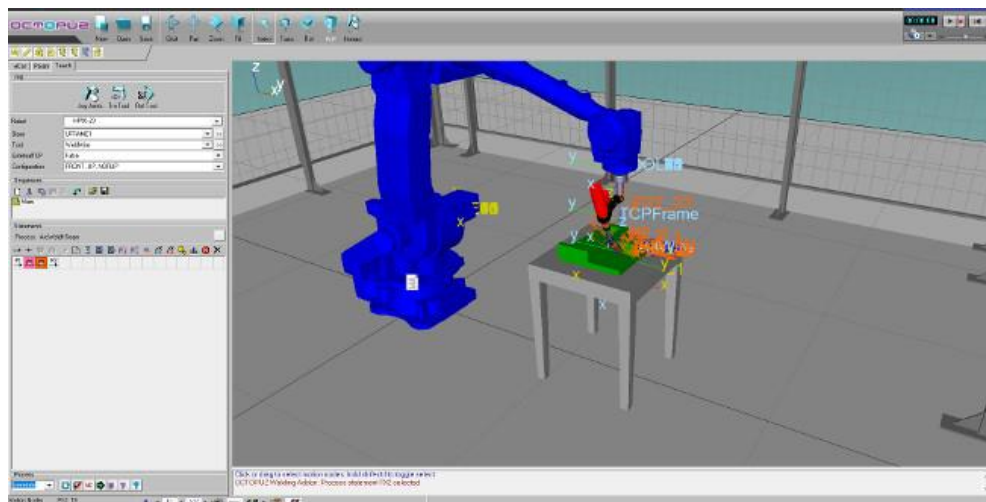


Рисунок 16 – Робочий інтерфейс програмного продукту Ostoruz

Програмний продукт Ostopuz дозволяє використовувати створені в звичному середовищі шляхи для зняття матеріалу, генеруючи код для роботи самостійно.

Висновки до розділу

В даному розділі було проведено огляд роботів-маніпуляторів та їх програмного забезпечення. Дана тема є актуальною для дослідження через те, що використання роботів-маніпуляторів є основним шляхом до автоматизації виробничих процесів та їх контролю. Але через високу вартість таких роботів-маніпуляторів закордонного обладнання вітчизняне виробництво не впроваджує у діяльність підприємства такі системи. Провівши аналітичний огляд було виявлено, що на пострадянському просторі роботів-маніпуляторів не виготовляють. Тому це ще раз підтверджує актуальність даної теми дослідження.

2 КОНСТРУКТИВНІ ОСОБЛИВОСТІ РОБОТІВ-МАНІПУЛЯТОРІВ

Конструкції роботів-маніпуляторів відрізняються в залежності від того, до якого класу робота він відноситься. Так, наприклад, за типом управління роботи-маніпулятори класифікують на:

- Керовані роботи - вимагають, щоб кожним їх рухом керував оператор.

- Автомати і напів-автономні роботи: діють строго за заданою програмою, зазвичай не мають сенсорів і не здатні коригувати свої дії, не можуть обійтися без участі оператора.

- Автономні: можуть здійснювати запрограмований цикл дій без участі людини, відповідно до заданих алгоритмів і коректуючи свої дії в міру необхідності. Такі роботи здатні повністю перекрити поле діяльності на своїй ділянці конвеєра, без залучення оператора.

Розглянемо більш детально конструкцію вищезгаданого робота-маніпулятора серії UR від компанії Юніверсал-Роботс. Однією з найбільш важливих частин будь-якого робота-маніпулятора є його робоча зона, яка також має назву «зона захвату». На кінці промислових маніпуляторів серії UR передбачено стандартизоване кріплення для установки спеціальних робочих органів. Між робочим органом і кінцевою ланкою маніпулятора можна встановити додаткові модулі сило-моментних сенсорів або камер.

Зосередимо увагу на захваті – модель GRIPKIT (рис.17). Це комплексне рішення для універсальних роботів. Вона заснована на високоякісних модулях

захоплення Weiss Robotics, які довели свою високу надійність та надійність з кожним днем у промисловій автоматизації.

GRIPKIT містить усе, що потрібно для виконання завдань з обробки та маніпулювання протягом декількох хвилин. GRIPKIT доступний як серво-електричний або смарт-пневматичний варіант і повністю сумісний з усіма моделями універсальних роботів. Серія GRIPKIT-P забезпечує гнучкий та простий у використанні пневматичний захватний розчин.



Рисунок 17 – Захват – модель GRIPKIT

Серія GRIPKIT-P ґрунтується на промислових модулях, що підтримують пневматичні захватні пристрої. GRIPKIT-P доступний у вигляді паралельного захвату в двох розмірах та додатково як 3-пальцевий центричний захват. Він охоплює діапазон захоплення сил від 230 до 550 Ньютонів. GRIPKIT-P використовує технологію Smart Pneumatics, що нагородила Weiss Robotics, що інтегрує клапани, контроль положення та захвату в компактний і надійний модуль захвату. Це забезпечує простоту та потужність пневматики вашого робота без необхідності додаткових клапанів або датчиків зовнішнього положення. [11]

GRIPKIT-P поєднує високоточні точно визначені прецизійні шліфовані направляючі Т-слоти з твердим і міцним корпусом для міцного та надійного захоплення модуля. Ця конструкція та 25 мільйонів циклів захватів

гарантуються, GRIPKIT-P виконує бездоганну роботу в різних вимогливих додатках цілодобово, наприклад, у базовій комплектації та упаковці товарів.

Захвати серії GRIPKIT-P містять високоякісний процесор з стисненням з інтегрованою системою зйомки позицій, що додає технологію переднього краю для вашого пневматичного захоплення. Розширені алгоритми використовуються для керування та моніторингу поточної дії захвату, що забезпечує відмінне захоплення результатів у кожній ситуації. Також захвати GRIPKIT-P автоматично виявляють, чи була частина захвачена чи ні, і можуть з легкістю контролювати рукоятку протягом всього процесу обробки. Це забезпечує надійний процес обробки без необхідності використання будь-яких зовнішніх датчиків, як відомо з звичайних пневматичних захватів. Це зменшує кількість кабелів, які потрібно направляти від захвату до контролера робота та підвищує надійність всієї програми.

На відміну від звичайних пневматичних захватів, затискачі серії GRIPKIT-P мають технологію клапана, вже інтегровану в модуль захвату. Це призводить до значного збільшення швидкості зчеплення, а також до зменшення споживання повітря. Замість використання зовнішніх клапанів і двох пневматичних шлангів для кожного захвату, затискач GRIPKIT-P потребує лише одного шланга постійного тиску, направленою безпосередньо до захвату.

Завдяки використанню простого у використанні плагіну URCaps GRIPKIT-P легко інтегрується в програмне забезпечення Polyscope. GRIPKIT-P підтримує до 8 захоплень, пов'язаних з одним роботом, що дає вам змогу реалізувати навіть найбільші проекти.

Принцип роботи у захвату полягає у тому, що необхідно просто закріпити затискач рукою робота та підключити його через кабелі, що входять у комплект, та конвертер інтерфейсу до USB-порту робота. Згодом підключається наданий флеш-накопичувач USB до робота та встановлюється плагін URCaps. Потім обирається один з наведених прикладів з USB флеш-накопичувача або просто починається робота з написання власної програми керуванням захватом з нуля.

Отже, серія GRIPKIT-P містить все, що потрібно для реалізації програми вибору та розміщення протягом декількох хвилин. Вона включає сам модуль захвату, а також перетворювач електричного інтерфейсу для підключення його до роботоконтролера, монтажну пластину для закріплення захвату на робочій рукоятці та всі необхідні кабелі та гвинти.

Робоча зона робота-маніпулятора може бути оснащена безліччю сучасних засобів контролю. Так, наприклад, компанія FANUC пропонує низку засобів, які оптимізують рух: від сервозахватів, які підвищують продуктивність під час роботи з асиметричними або нестандартними об'єктами, до складного програмного забезпечення, що координує рух у групах роботів (рис. 18). Розширені модулі керування рухом, які охоплюють зовнішні елементи, наприклад двері та конвеєри, дають змогу набагато тісніше синхронізувати роботів із верстатами й виробничими процесами. Саме так досягається максимальна продуктивність.



Рисунок 18 – Варіація робочої зони робота-маніпулятора

Застосування серводвигунів, двигунів і контролерів для захватів дозволяє роботу-маніпулятору захватувати та переміщувати деталі різного розміру й складності. Можна легко налаштувати інструмент із серводвигуном і переключатися між продуктами, а також обмежувати максимальне значення моменту вказаного двигуна, реалізувавши це програмно. Програмування в

режимі навчання та налаштування сили утримання також є можливим вже сьогодні.

Захват предметів - складне завдання для промислових роботів. Сучасна робо-рука не може контролювати силу стиснення і захоплення для різних предметів, як людина. Їй потрібно задавати окремий режим для кожного нового об'єкта. Особливо це важливо для делікатних предметів, наприклад, крихких виробів зі скла: занадто сильне захоплення може його пошкодити.

Компанія Soft Robotics створила універсальний м'який робот-маніпулятор, який може захоплювати предмети, не пошкоджуючи їх. Його не потрібно переналаштовувати для кожного нового об'єкта, тому що захоплення адаптується під потрібну форму автоматично. За допомогою такого приводу легко налаштувати промислових роботів і навчити їх швидко і вправно переміщувати навіть самі тендітні предмети. [12]

Розглянемо більш детально основні принципи та положення при конструюванні моделі робота-маніпулятора та можливі траєкторії його роботи. Як відомо, основою будь-якого робота є виконуючий пристрій, який саме і забезпечує виконання всіх його рушійних функцій, а також взаємодію з об'єктами контролю на базі контролюючих впливів, який формується роботом. Кінематична схема робота-маніпулятора зображена на рисунку 19. Як видно зі схеми, робот-маніпулятор може мати до 7 ступенів свободи.

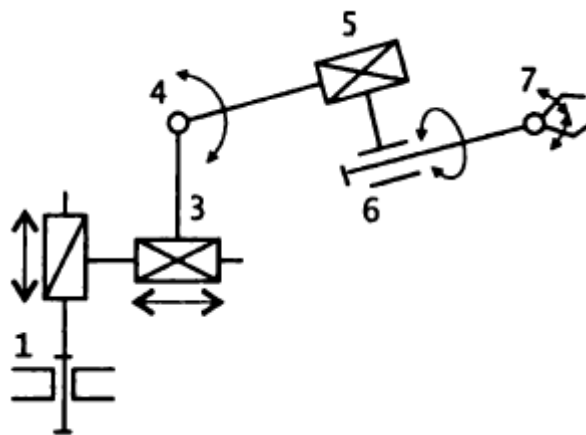


Рисунок 19 – Кінематична схема робота-маніпулятора

Для більшості промислових роботів-маніпуляторів виконуючий пристрій окрім маніпулятора з робочим органом, включає в себе механізм переміщення. Роботи-маніпулятори здійснюють контроль та переміщення у відповідності з заданими законами переміщення, які в свою чергу задаються у відповідності з технологічними вимогами. Роботи-маніпулятори, що застосовуються в промисловості являють собою багатоступінчаті механізми, які складаються з ряду кінематичних пар з поступовим або обертовим рухом, та відрізняються вони значним різнобіччям сфери застосування. На рисунку 20 зображено структурну схему промислового робота-маніпулятора.

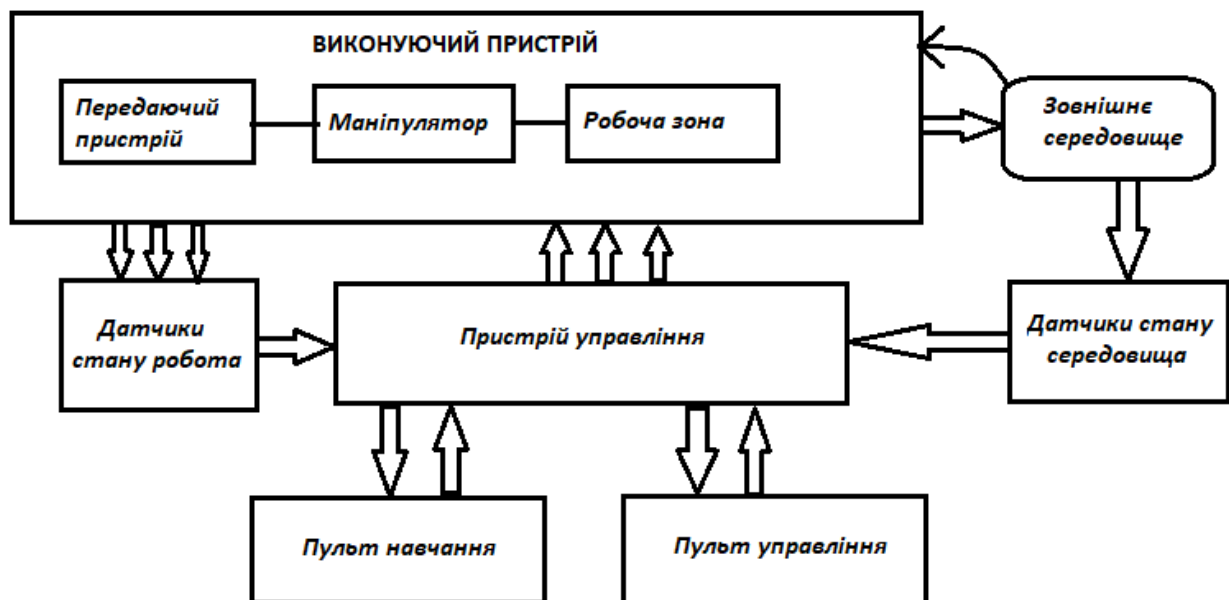


Рисунок 20 – Структурна схема промислового робота-маніпулятора

Для приведення в дію ланок робота-маніпулятора в основному використовуються гідравлічні та електромеханічні приводи. В окремих випадках також можливе використання пневматичних приводів. В якості основних характеристик роботів-маніпуляторів в першу чергу розглядається кількість ступенів свободи та динамічні характеристики. Роботи-маніпулятори для здійснення контролю обраних параметрів на виробках зі складною геометрією повинні забезпечувати поступовий рух робочої частини по трьох

координатах та їх обертання навколо однієї, двох або трьох осей координат. Окрім цього такий робот повинен забезпечувати обертовий рух відносно однієї осі з одночасним поступовим переміщенням відносно двох інших осей, або два обертальних і одне поступове переміщення в радіальному напрямку. Роботи-маніпулятори оснащуються робочим органом, котрий безпосередньо взаємодіє з об'єктом контролю. В таких роботах-маніпуляторах в якості робочого органу може бути спеціалізований захватний пристрій або спеціальний робочий пристрій який вже оснащений відповідними датчиками.

Прилади управління роботів-маніпуляторів мають мати пульти управління або пристрій керування, програмування та навчання. Пульти управління забезпечують введення в управляючий пристрій окремих команд, дистанційне та ручне керування маніпулятором, робочим органом та пристроєм переміщення, а також контроль правильності виконання поставлених задач. Спілкування оператора з пристроєм керування відбувається за допомогою елементарних команд з пульта управління.

Варто звернути увагу, що будь-який промисловий робот також оснащений датчиками, які передають інформацію про навколишнє середовище. В склад датчиків внутрішньої інформації входять перетворювачі, які вимірюють положення та швидкості переміщення ланок маніпулятора, статичні та динамічні навантаження, а також стан технічного обладнання. Для збору зовнішньої інформації використовуються різні сенсорні прилади, такі як: світлові, локаційні, світловимірювальні, візуальні та інші.

На рисунку 21 показані прямокутна, циліндрична, сферична та шарнірна системи координат промислового робота-маніпулятора, які характеризують три основні ступені рухливості, що забезпечують транспортування робочої зони. Як показано на рисунку, прямокутна система здійснює в усі напрямки рух лише поступальний, циліндрична система – обертово-поступальний, сферична – обертово-поступальний, а шарнірна – лише обертовий. На додаток до цих трьох кінематичні схеми передбачають додаткові ступені рухливості, що забезпечують орієнтування робочої зони. [13]

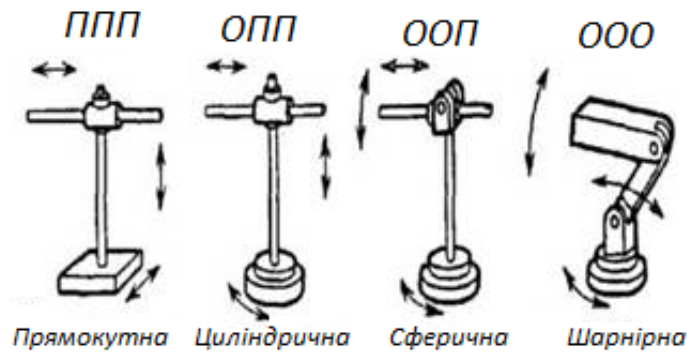


Рисунок 21 – Кінематична структура промислових роботів-маніпуляторів

Вибір структури кінематичної схеми обумовлюється відповідністю робота-маніпулятора до певної системи координат: прямокутної, циліндричної, сферичної або ангулярної, визначаємої переносними ступенями рухомості. Для кількісної оцінки функціональних можливостей та якості маніпуляційної системи та її кінематичної структури в використовують спеціальні критерії та характеристики. На стадії розробки кінематичної схеми робота-маніпулятора для позиціонування датчиків використовують такі структурні характеристики як порядок структури, складність структури, структурна значимість кінематичної пари та інформаційний критерій структури.

Складність структури робота-маніпулятора достатньо ефективно оцінюється співвідношенням:

$$\xi (P) \frac{1}{3} \left(\sum_{i=1}^{\rho} \rho_i + \sum_{j=1}^{\rho} n_j + \omega \right), \quad (1)$$

де $\sum_{i=1}^{\rho} \rho_i$ – число кінематичних пар в кінематичному ланцюзі;

$\sum_{j=1}^{\rho} n_j$ – число рухомих ланок, ω – число ступенів свободи. [14]

Порядок структури визначається числом кінематичних пар маніпулятора. Маніпулятор n -го порядку складається з кінцевої множини кінематичних пар. Кінематичний ланцюг робота-маніпулятора може мати кінематичні пари одного або декількох видів. У зв'язку з цим, важливим є визначення характеристики, яка оцінює однорідність структури. Дана характеристика визначає маневреність маніпуляційної системи. Маневреність однорідного кінематичного ланцюга

постійна, а маніпулятора з неоднорідним ланцюгом може бути змінена в залежності від взаємного розположення кінематичних пар.

Висновки до розділу

В даному розділі було описано конструкції робота-маніпулятора, розглянуто механічний опис роботи роботів-маніпуляторів, наведено схему структурну робота-маніпулятора, а також схеми відтворення руху та наведено функціональні зв'язки елементів роботів-маніпуляторів. Описано можливі варіації конструкції робочої зони (зони захвату) робота-маніпулятора та сферу їх застосування.

3 РОЗРОБКА МОДЕЛІ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

На основі проведеного аналітичного огляду було сформовано технічне завдання на конструювання робота-маніпулятора для позиціонування датчиків на виробах зі складною геометрією (рис.22).



Рисунок 22 – модель робота-маніпулятора

Для реалізації задуманої конструкції робота-маніпулятора було проаналізовано роботи-маніпулятори промислові, та зпроектовано прототип промислового робота-маніпулятора. Даний робот-маніпулятор розроблений для навчання у вищих закладах освіти молодих спеціалістів керуванню роботом та проведенням за допомогою нього певних операцій, які автоматизують промислові процеси. Також можливе використання даного роботу у процесі

контролю, при оснащенні активної частини робота-маніпулятора відповідними датчиками, наприклад ультразвуковими.

Для зручності реалізації поставленої задачі було вирішено розділити конструкцію робота-маніпулятора на три частини:

- 1) активна частина робота-маніпулятора;
- 2) рукоятка;
- 3) робоча зона або зона захвату.

Розділення на частини даної моделі обумовлено характеристиками 3D-принтера на якому було заплановано друк деталей, а саме: розмірні характеристики робочої поверхні принтера.

До активної частини робота-маніпулятора входить стаціонарна зона, у якій розміщується серводвигун та підшипники. Разом ці деталі забезпечують переміщення рукоятки разом з робочою частиною навколо своєї осі. Окрім цього, активна частина відповідає за положення рукоятки у просторі. На рисунку 23 показано внутрішні складові активної частини.

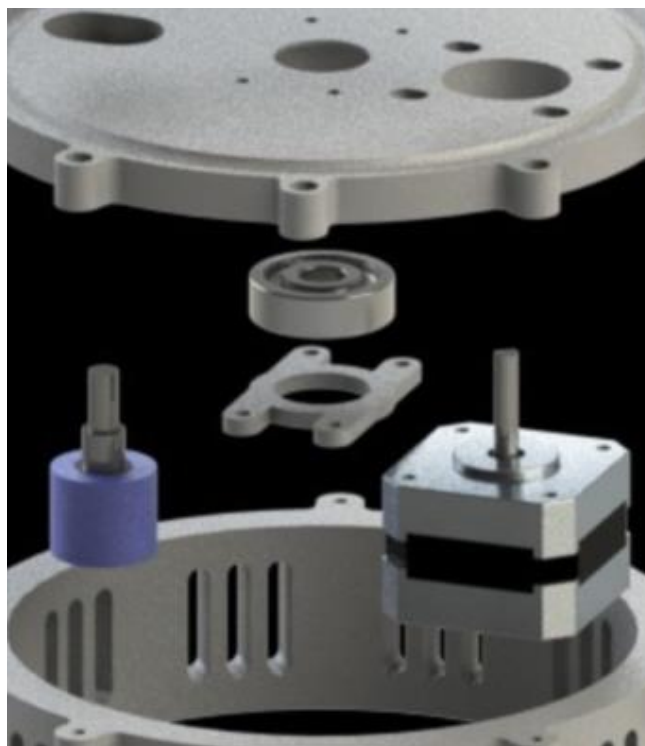


Рисунок 23 – Внутрішні складові активної частини робота-маніпулятора

Для реалізації створення активної частини робота-маніпулятора було створено її модель в програмному середовищі SolidWorks, та розділено на складові частини, які згодом роздруковуються на 3D-принтері. На рисунку 24 зображено деталі – дискові основи активної частини, які скріплюються між собою гвинтами та містять всередині підшипник, який згодом буде частиною обертального руху активної частини.

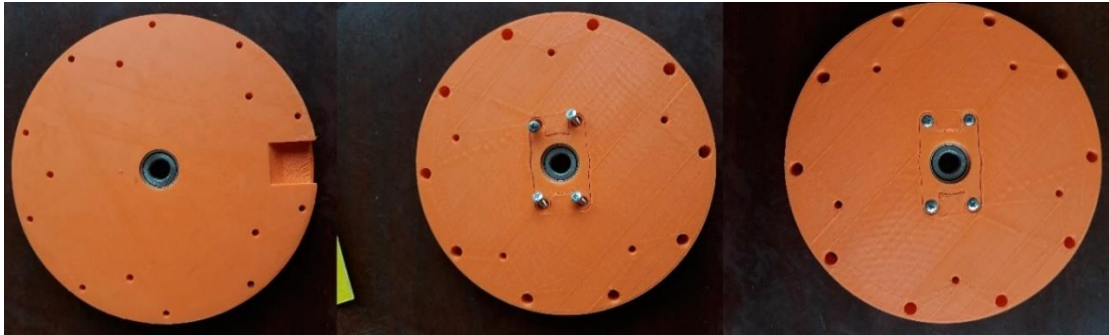


Рисунок 24 – Складові активної частини після друку на 3D-принтері

Для повного функціонування на зборі активної частини моделі робота-маніпулятора було вирішено, що необхідні такі матеріали:

- Кроковий двигун Nema 17;
- Гвинти М3 х 10мм та М3 х 8мм;
- Шурупи М3 х 3 мм та М4 х 3 мм;
- Підшипник 10 мм х 30 мм х 9 мм, 6200zz
- Сталеві кульки 10 мм.

Для створення 3D-моделей було застосовано програмне середовище SolidWorks. А для адаптування моделі під параметри 3-Д принтера, та задання розмірів, матеріалу та щільності друку було застосовано програмний продукт Ultimaker Cura.

На рисунку 25 зображено змодельований вигляд активної частини робота-маніпулятора, в якому всередині встановлено кроковий двигун, підшипник та 10 сталевих кульок.

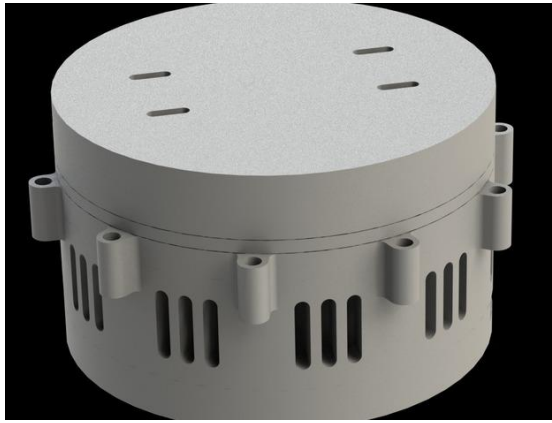


Рисунок 25 – Змодельована активна частина робота-маніпулятора

Сталеві кульки призначені для обертання верхньої частини конструкції по своїй осі, таким чином забезпечуватиметься рух рукоятки на 360°. Також верхня та нижня частина конструкції з'єднуються між собою по колу гвинтами, в сумарній кількості присутні 10 з'єднань по колу (рис.27)/

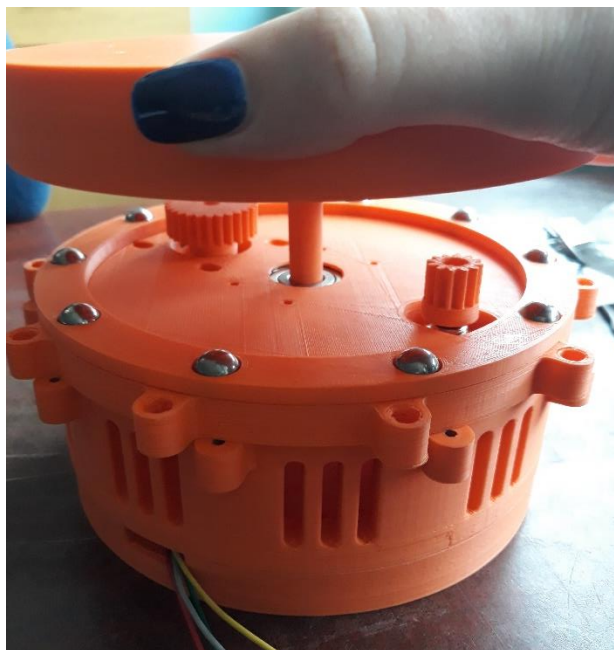


Рисунок 27 – Роздрукована на 3D-принтері та зібрана активна частина робота-маніпулятора

При друку на 3D-принтері деталей було застосовано пластик PLA, з такими механічними властивостями:

- міцність на розтяг 51 МПа;
- відносне подовження при розриві 30%;

- модуль пружності при розтягу 2300 МПа;
- модуль пружності при згинанні 1440;
- міцність при згинанні 80 Мпа.

Даний матеріал було обрано з розрахунку міцності подальшої конструкції. За своїми властивостями пластик типу PLA має більш міцну характеристику аніж пластик типу ABS.

Кінцевий вигляд 1/3 конструкції робота-маніпулятора, а саме активної частини робота-маніпулятора зображено на рисунку 28.

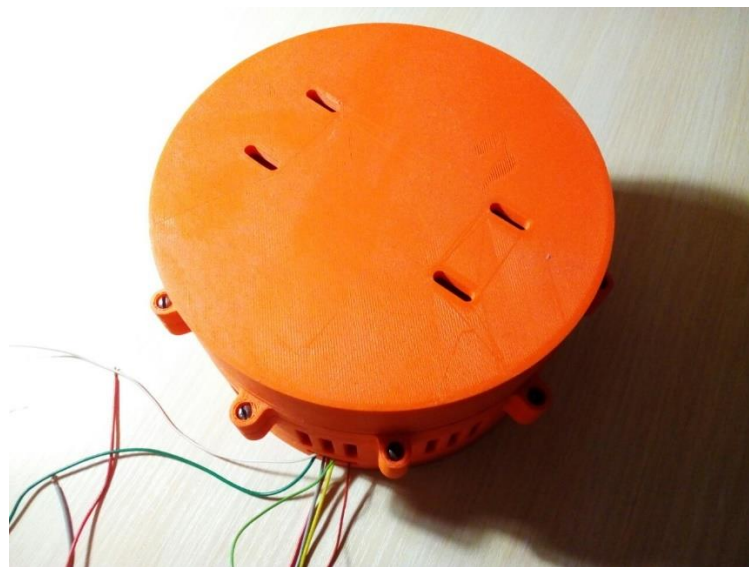


Рисунок 28 – Активна частина робота-маніпулятора в зібраному стані

Всередині активної частини розміщено такі елементи активного переміщення як: кроковий двигун Nema17 та потенціометр BOURNS 3590S.

Для роботи рукоятки в парі з захватом та активною частиною було прийнято рішення про необхідність встановлення 5 серводвигунів типу MG995. Даний двигун було підібрано на основі проаналізованих прикладів роботів-маніпуляторів, а також у задоволенні характеристиками двигуна вимог, які було висунуто до даної частини конструкції.

Основною задачею рукоятки та її плечей є передача крутного моменту від активної частини до захвату, таким чином робот-маніпулятор матиме 5

ступенів свободи. Для реалізації складання даної конструкції необхідно було використати такі матеріали:

- Гвинти М3 х 8мм, М3 х 10мм, М3 х 63мм та М3 х 16мм;
- Підшипники типу 688zz з розміром 8 мм х 16 мм х 5 мм;
- Гайка М3 10 мм;
- Серводвигун MG995.

Після затвердження моделі було надруковано на 3-Д принтері деталі, як зображено на рисунку 29.

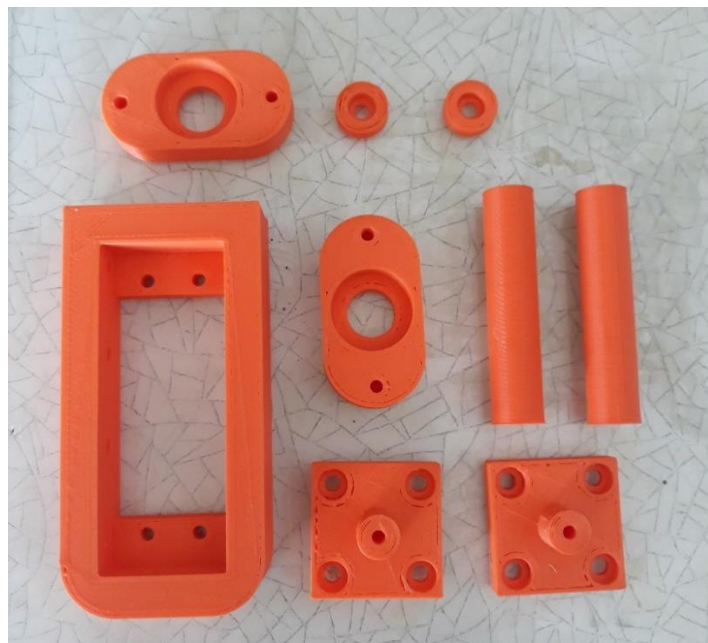


Рисунок 29 – Надруковані деталі рукоятки робота-маніпулятора

Змодельований вигляд рукоятки та плечей представлено на рисунку 30. Всі отвори було зашліфовано так як при друку неможливо досягнути точного розміру отвору під гвинт та підшипники. При друку деталей рукоятки щільність заповнення деталей матеріалом була виставлена не менше ніж 50%.



Рисунок 30 – Модель рукоятки та плечей

Кінцевий вигляд іншої частини конструкції робота-маніпулятора, а саме рукоятки робота-маніпулятора зображено на рисунку 31.

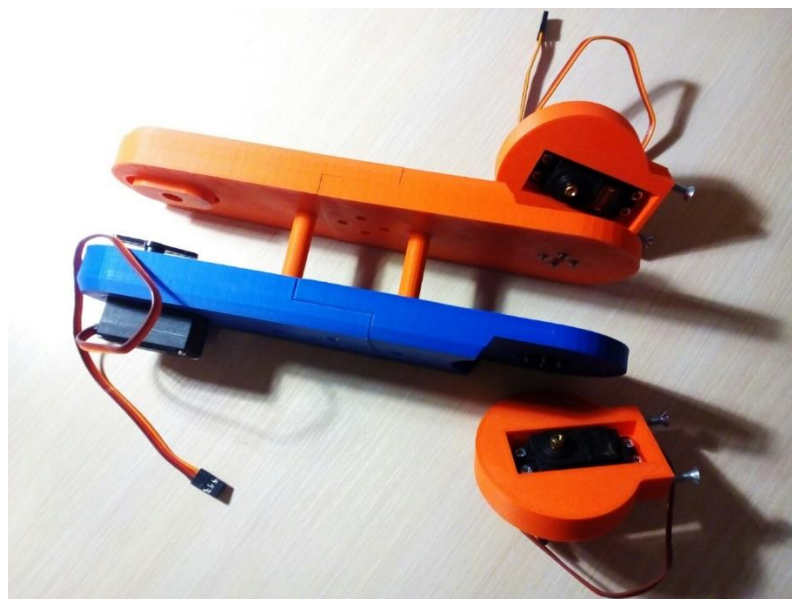


Рисунок 31 – Рукоятка робота-маніпулятора в зібраному стані

Як видно з рисунку 31 встановлено 3 серводвигуна, які будуть забезпечувати переміщення рукоятки.

Проте, однією з найважливіших елементів робота-маніпулятора є зона захвату. Для реалізації роботи зони захвату було застосовано такі матеріали:

- Гвинти М3 x 25мм, М3 x 10 мм, М3 x 8мм;

- Підшипники типу 688zz
- Серводвигун MG995.

Розрдуковану зону захвату зображено на рисунку 32. Всі отвори було зашліфовано так як при друку неможливо досягнути точного розміру отвору під гвинт та підшипники. При друку деталей рукоятки щільність заповнення деталей матеріалом була виставлена не менше ніж 70%.

З'єднання зони захвату виконане у вигляді двох деталей з перфорованою внутрішньою частиною, що необхідне для чіткого захвату деталей при роботі з роботом-маніпулятором.

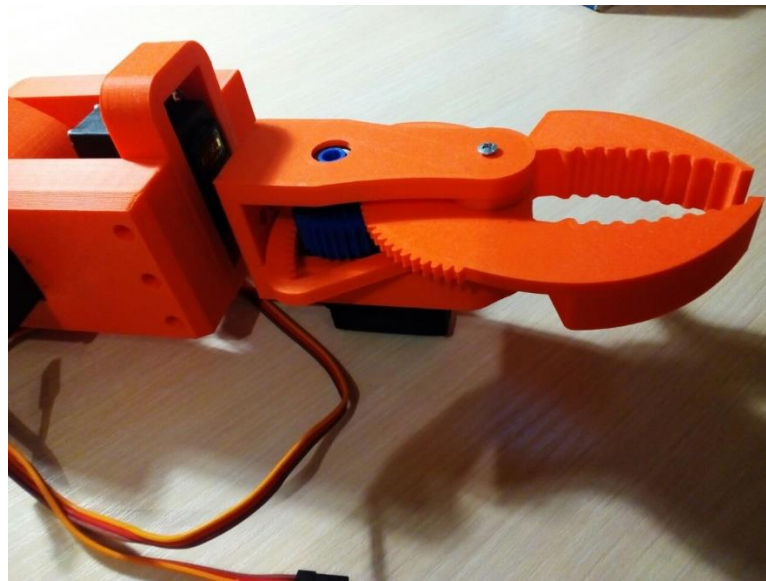


Рисунок 32 – Зона захвату робота-маніпулятора в зібраному стані

Дана частина робота-маніпулятора з'єднується з рукояткою завдяки окремому елементу, який є з'єднувальною частиною між зоною захвату та рукояткою (рис.33). Сама зона захвату з'єднується за допомогою гвинтів.



Рисунок 33 – Зона захвату з кріпильними елементами в зібраному стані

Після друку на 3D-принтері всіх деталей, їх шліфування та збору отримано завершену модель робота-маніпулятора для позиціонування датчиків на виробх зі складню геометрією, яку зображено на рисунку 34.



Рисунок 34 – Модель робота-маніпулятора в зібраному стані

Завершена модель зібраного робота-маніпулятора готова до програмування та подальшого використання згідно запланованих цілей застосування.

Висновки до розділу

В даному розділі було описано процес створення конструкції моделі робота-маніпулятора. Обрано комплектуючі елементи та надано опис їх застосування у моделі. Також за допомогою системи автоматичного проектування SolidWorks було розроблено 3D модель приладу, яку згодом було використано як основу для створення макету. Деталі надруковано на 3D-принтері та зібрано згідно запланованій конструкції. Показано основні вузли робота-маніпулятора та описано принцип їх з'єднання та взаємодії. Конструкція зібрана та готова до програмування.

4 ПРОГРАМУВАННЯ РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА

Конструкція змодельованого робота-маніпулятора включає в себе наявність таких активних елементів як серводвигун та кроковий двигун. Такі активні елементи не можуть працювати без завчасного програмування на необхідну роботу, тому варто звернути увагу на принципи та особливості програмування як крокових двигунів, так і серводвигунів, а також ознайомитись з поєднанням їх роботи.

4.1 Програмування серводвигунів

Сервоприводом є двигун з вбудованим редуктором і вихідним валом, положення якого можна точно контролювати (рис. 35). Стандартні серводвигуни дозволяють задавати кут повороту вала в діапазоні від 0 до 180 градусів. У двигунах з безперервним обертанням вала можна задавати також і швидкість його обертання.



Рисунок 35 – Зображення типового серводвигуна

Класичний сервопривід має в своїй конструкції силовий агрегат (двигун), вимірювач позиціонування (датчик) і 3-контурну керуючу систему, що відповідає за регулювання позицій, швидкісного режиму і електричної напруги. Термін «серво» означає в перекладі з латинської «помічник». У машинобудуванні, де спочатку використовувалися сервоприводи, ці пристрої виконують допоміжну функцію. Сьогодні сфера їх застосування змінилася. У повному масштабі функціонал цих пристроїв задіяний в сервомеханізмі.

Сьогодні машино- і приладобудування засноване на автоматизації різних процесів, спрощення різних вузлів і систем за рахунок приведення механізмів до простих, але ефективних конструктивних рішень. Сервоприводи в цих процесах припали «до двору», так як дозволяють підтримувати постійну

швидкість в конструкціях сфери промислової робототехніки і в верстатах високої точності.

Сервоприводи встановлюються на свердлильних верстатах, в різних вузлах транспортних засобів, в системах допоміжного призначення. Ці прилади широко використовуються:

- при виготовленні паперу та пакувальної продукції;
- при виробництві листового металопрокату;
- в металообробних верстатах;
- при виробництві різних транспортних засобів;
- в деревопереробній промисловості (в конструкціях обладнання);
- в будь-яких системах, де використання традиційних

перетворювачів частоти неефективно через відсутність контролю над точністю виконання маніпуляцій. [15]

В цілому можна сказати, що застосування сервоприводів необхідно при використанні обладнання високої точності і продуктивності.

Попит на це обладнання обумовлений:

- можливістю зробити управління процесами точним;
- широкі можливості контролю швидкісних режимів;
- низькою чутливістю приладу до перешкод;
- невеликими габаритами приладу. [16]

Сервопривод здатний підвищувати потужність, якщо надходить із зовнішнього джерела енергія відрізняється від тієї, яка потрібна «на виході», якщо її входять показники нестабільні.

Система зворотного зв'язку є замкнутий контур, який використовується для управління. Ці конструкції працюють за принципом повернення сигналів з контрольованих вузлів, об'єктів, агрегатів. Зворотний сигнал надходить з датчика на керуючу систему, яка оцінює дані, порівнює їх із заданими параметрами і нормалізує показники при необхідності. Тобто сервопривід

безпосередньо передає нормалізовану енергію, а назад передає дані, необхідні для забезпечення точності управління.

За габаритними показниками ці агрегати діляться на мікропривід, стандартні конфігурації і великогабаритні пристрої. [17]

Для оцінки роботи будь-якого сервоприводу, як правило, беруть два показника - це швидкість повороту вала і зусилля на ньому. Перший параметр показує час, тому його вимір здійснюється в секундах. Другий показник, в свою чергу, вимірюється в кг / см і повідомляє, з яким посиленням від центру обертання діє пристрій. Цей параметр залежить від цільового призначення приладу і лише потім від таких факторів, як кількість застосовуваних вузлів і передач редуктора.

Ще пару десятиліть тому всі модифікації сервоприводів були аналоговими. В даний час все більше цифрових конструкцій, яким на сьогодні розробники, інженери та конструктори надають перевагу. [18]

Відзначається усіма фахівцями, що розробники і виробники аналогових сервоприводів за останнє десятиліття досягли значних успіхів. Ці пристрої стали набагато компактніше, а їх технічні характеристики істотно покращилися - підвищилася швидкість обертання, а також став більше показник зусилля на валу.

Наступним, інноваційним етапом розвитку сервосхем стала поява пристроїв, де управління здійснюється цифровим методом. Подібні модифікації мають ряд переваг навіть в порівнянні з сервоприводами колекторного типу.

Розглядаючи зовні аналог і цифру конструкцій сервоприводів, особливих відмінностей можна і не знайти. Різниця між цими пристроями полягає в платах управління. На цифрових моделях замість мікросхеми встановлений мікропроцесор, який і аналізує надходять сигнали і віддає команди, що управляють двигуном.

Деякі помилково стверджують, що функціонування аналогових та цифрових приладів серйозно різняться. Це не так. Обидві модифікації можуть мати однакові механізми, силові агрегати і змінні резистори (потенціометри).

Головна відмінність між ними - це метод переробки сигналів, що надходять і управління двигуном.

В аналоговому пристрої отриманий сигнал збігається з фактичним становищем сервомотора, далі відбувається передача сигналу підсилювача на двигун, вал якого переміщається в задану позицію. Мінімальна частота процесу за часом складає 50 циклів в секунду. Між імпульсами сигнали на двигун не подаються. Дане час позначається, як «мертва зона», в цей період знаковість сигналу може змінитися в протилежний бік.

Цифрові модифікації оснащені спеціальним процесором, який працює на високих частотах. Обробка вхідних сигналів і відправка керуючих імпульсів на двигун здійснюється мінімум 300 циклів в секунду. Це забезпечує високий показник крутіння і якісно оптимізує центрування.

Єдиним недоліком можна вважати більш швидкий розряд батареї в цифровому агрегаті, ніж в аналоговому пристрої.

На базі плати Arduino, яка активно використовується як компонент при програмуванні роботів-маніпуляторів була створена бібліотека Servo. Дана бібліотека дозволяє платі Arduino управляти серводвигуном. У бібліотеці Servo реалізована можливість одночасного управління декількома двигунами: на більшості плат Arduino - до 12, на Arduino Mega - до 48. [19]

Схема підключення серводвигуна доволі проста (рис. 36).

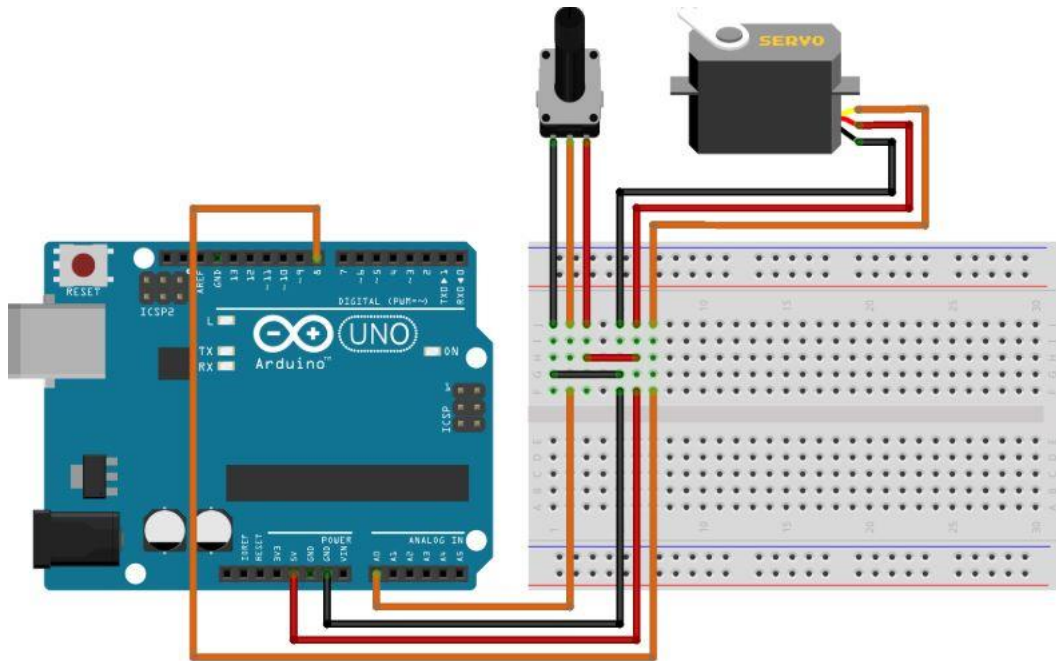


Рисунок 36 – Схема підключення серводвигуна до плати Arduino Uno

У серводвигуна є три дроти: живлення, земля і сигнальний провід. Провід живлення (зазвичай червоного кольору) повинен з'єднуватися з виводом 5V плати Arduino. Провід землі (як правило, чорний або коричневий) повинен бути приєднаний до відповідного виводу на платі Arduino. Сигнальний провід (зазвичай жовтого, оранжевого або білого кольору) повинен з'єднуватися з цифровим виведенням Arduino. Слід пам'ятати, що серводвигуни споживають відносно великий струм, тому при необхідності управління двома або більше двигунами рекомендується живити їх від окремого джерела живлення (не використовуючи вивод Arduino + 5V). При цьому слід переконаватися, що виводи землі Arduino і зовнішнього джерела живлення з'єднані разом.

Розглянемо більш детально функції, які надає бібліотека Servo, а саме:

- `uint8_t attach (int pin);`
- `uint8_t attach (int pin, int min, int max).`

Даною функцією ми можемо вказати пін до якого підключений керуючий провід сервовдвигуна. Синтаксично дана команда описується так:

- `servo.attach (pin) або servo.attach (pin, min, max).`

Параметри, які застосовуються у даній синтаксичній команді:

- Servo - об'єкт класу Servo;
- pin - номер порта до якого підключена серва;
- min (опціонально) - ширина імпульсу в мікросекундах встановлює положення вала серви в 0 градусів (по-замовчуванню 544);
- max (опціонально) - ширина імпульсу в мікросекундах встановлює положення вала серви в 180 градусів (по-замовчуванню 2400).

Приклад застосування бібліотеки при написанні коду управління роботом-маніпулятором:

```
#include <Servo.h>
Servo myservo;
void setup ()
{
  myservo.attach (9);
}
void loop () {}. [20]
```

Отже, програмування серводвигуна здійснюється напряму через електронну плату та не викликає особливих труднощів при заданні вихідних параметрів роботи.

4.2 Програмування крокових двигунів

Так само як і сервоприводи, крокові двигуни є вкрай важливим елементом автоматизованих систем і робототехніки. Їх можна знайти в багатьох пристроях поруч: від CD-приводу до 3D-принтера або робота-маніпулятора.

Кроковий двигун - це електромеханічний пристрій, що перетворює сигнал управління в кутове (або лінійне) переміщення ротора з фіксацією його в заданому положенні без пристроїв зворотного зв'язку (рис. 37). При проектуванні конкретних систем доводиться робити вибір між сервомотором і кроковим двигуном. Коли потрібно прецизійне позиціонування і точне управління швидкістю, а необхідний момент і швидкість не виходять за

допустимі межі, то кроковий двигун є найбільш економічним рішенням. Як і для звичайних двигунів, для підвищення моменту може бути використаний понижуючий редуктор. Однак для крокових двигунів редуктор не завжди підходить. На відміну від колекторних двигунів, у котрих момент зростає зі збільшенням швидкості, кроковий двигун має більший момент на низьких швидкостях. До того ж, крокові двигуни мають набагато меншу максимальну швидкість в порівнянні з колекторними двигунами, що обмежує максимальне передавальне число і, відповідно, збільшення моменту за допомогою редуктора. Готові крокові двигуни з редукторами хоча й існують, проте є екзотикою.

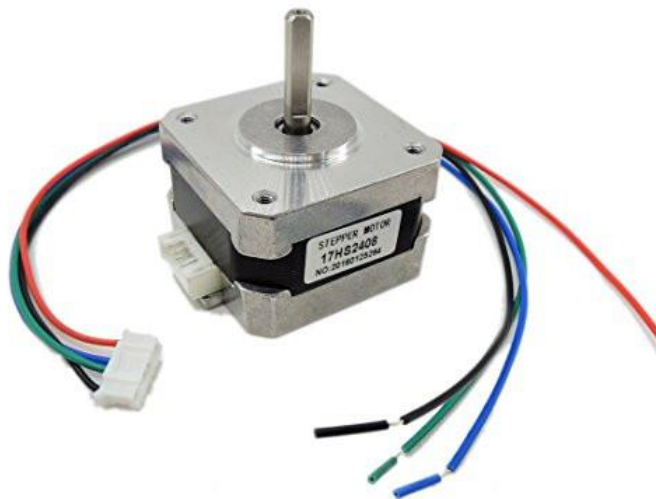


Рисунок 37 – Зображення типового крокового двигуна

Принцип дії всіх існуючих крокових двигунів заснований на дискретному зміні стані електромагнітного поля в робочому зазорі електричної машини. Це досягається імпульсним збудженням (або перемиканням) її обмоток. Електромеханічний перетворювач енергії, що розвиває синхронізуючий момент або утримує силу в кожному з циклічно повторюваних можливих станів, число яких $n > 2$, при дотриманні умов спрямованого переходу в чергове стійкий стан може бути використаний в якості крокової двигуна. Цим вимогам

відповідає широкий клас пристроїв: електромагніти з поворотною пружиною і храповим, анкерних або фрикційним механізмом, синхронні електричні машини, асинхронні електричні машини з неповною кліткою на роторі, сельсини.

За видами крокових двигунів їх поділяють на:

- двигуни зі змінним магнітним опором;
- двигуни з постійними магнітами;
- гібридні двигуни;
- біполярні і уніполярні крокові двигуни.

Способи управління фазами крокової двигуна:

- повнокроковий режим;
- напівкроковий режим;
- мікрокроковий режим. [21]

Момент, створюваний кроковим двигуном, залежить від швидкості, струму в обмотках і схеми драйвера, а для того, щоб працювати на великій швидкості з області розгону, необхідно стартувати на низькій швидкості з області старту, а потім виконати розгін. При розгоні двигун проходить ряд швидкостей, при цьому на одній з швидкостей можна зіткнутися з неприємним явищем резонансу. Для нормального розгону бажано мати навантаження, момент інерції якої як мінімум дорівнює моменту інерції ротора. На ненавантаженому двигуні явище резонансу проявляється найбільш сильно.

При здійсненні розгону або гальмування важливо правильно вибрати закон зміни швидкості і максимальне прискорення. Прискорення повинно бути тим менше, чим вище інерційність навантаження. Критерій правильного вибору режиму розгону - це здійснення розгону до потрібної швидкості для конкретної навантаження за мінімальний час. На практиці найчастіше застосовують розгін і гальмування з постійним прискоренням.

Реалізація закону, за яким буде проводиться прискорення або гальмування двигуна, зазвичай проводиться програмно керуючим мікро

контролером, так як саме мікроконтролер зазвичай є джерелом тактової частоти для драйвера крокової двигуна.

Кроковим двигунам властивий небажаний ефект, званий резонансом. Ефект проявляється у вигляді раптового падіння моменту на деяких швидкостях. Це може привести до пропуску кроків і втрати синхронності. Ефект проявляється в тому випадку, якщо частота кроків збігається з власною резонансною частотою ротора двигуна. Коли двигун робить крок, ротор не відразу встановлюється в нову позицію, а робить затухаючі коливання. Справа в тому, що систему ротор - магнітне поле - статор можна розглядати як пружинний маятник, частота коливань якого залежить від моменту інерції ротора (плюс навантаження) і величини магнітного поля. Зважаючи на складну конфігурації магнітного поля, резонансна частота ротора залежить від амплітуди коливань. При зменшенні амплітуди частота зростає, наближаючись до малоамплітудної частоти, яка більш просто обчислюється кількісно. Ця частота залежить від кута кроку і від ставлення моменту утримання до моменту інерції ротора. Більший момент утримання і менший момент інерції призводять до збільшення резонансної частоти.

Перевагами крокового двигуна є кут повороту ротора визначається числом імпульсів, які подані на двигун. Двигун забезпечує повний момент в режимі зупинки (якщо обмотки запитані) та дає прецизійне позиціонування і повторюваність. Хороші крокові двигуни мають точність від 3 до 5% від величини кроку. Ця помилка не накопичується від кроку до кроку. Окрім цього, у крокового двигуна є можливість швидкого старту, зупинки та реверсування, а також висока надійність, пов'язана з відсутністю щіток, однозначна залежність положення від вхідних імпульсів забезпечує позиціонування без зворотного зв'язку, можливість отримання дуже низьких швидкостей обертання для навантаження, приєднаної безпосередньо до валу двигуна без проміжного редуктора. Термін служби крокової двигуна фактично визначається терміном служби підшипників та може бути перекритий досить великий діапазон швидкостей, швидкість пропорційна частоті вхідних імпульсів.

Як і для серводвигунів, що програмуються на електронних платах Arduino, для крокових двигунів також існують бібліотеки. Так існує спеціальна бібліотека в Arduino IDE, котра підтримує роботу з кроковими двигунами. Завдяки цьому використання двигунів стає гранично простим.

Програмування кількості кроків реалізовується таким чином: у програмі використовується серійний монітор. Після запуску, він відкривається і вказується кількість "кроків". Після підключення бібліотеки 'Stepper' ініціалізуються керуючі піни від 'in1' до 'in4'. Для оголошення даних пінів з використанням бібліотеки крокових двигунів, використовується наступна команда:

`Stepper motor (768, in1Pin, in2Pin, in3Pin, in4Pin)`, де перший параметр - кількість 'кроків', які зробить кроковий двигун для одного повного обороту. Для точного позиціонування, можна обернути ротор двигуна з дискретністю в один крок. Після цього налагоджується зв'язок із серійного протоколу і в результаті плата Arduino може отримувати команди з вікна серійного монітора в Arduino IDE.

Наступна команда встановлює швидкість обертання ротора крокового двигуна:

```
motor.setSpeed(10);
```

Після цього подається сигнал на двигун для його обертання на вказану кількість кроків.

Отже, програмування крокового двигуна на необхідну роботу також не є складним.

4.3 Драйвер крокового двигуна

Драйвер крокового двигуна - електронний силовий пристрій, який на підставі цифрових сигналів управління управляє потужнострумівими / високовольтними обмотками крокової двигуна і дозволяє кроковому двигуну робити кроки (обертатися) (рис. 38). Стандартним в області управління

кроковим двигуном є сигнали STEP / DIR / ENABLE. STEP це сигнал кроку, DIR це сигнал напрямку обертання, ENABLE це сигнал включення драйвера.



Рисунок 38 – Зображення драйвера крокового двигуна

Управляти кроковим двигуном набагато складніше ніж звичайним колекторним двигуном - потрібно в певній послідовності переключати напруги в обмотках з одночасним контролем струму. Тому для управління кроковим двигуном розроблені спеціальні пристрої - драйвери крокових двигунів. Він дозволяє управляти обертанням ротора крокового двигуна відповідно до сигналів управління і електронним чином ділити фізичний крок на більш дрібні дискрети.

До драйверу крокового двигуна підключається джерело живлення, сам двигун (його обмотки) і сигнали управління. Стандартом за сигналами управління є управління сигналами STEP / DIR або CW / CCW і сигнал ENABLE.

Протокол STEP / DIR:

Сигнал STEP - тактується сигнал, сигнал кроку. Один імпульс призводить до повороту ротора крокового двигуна на один крок (не фізичний крок крокового двигуна, а крок виставлений на драйвері - 1: 1, 1: 8, 1:16 і т.д.). Зазвичай драйвер відпрацьовує крок по передньому або задньому фронту імпульсу.

Сигнал DIR - Потенційний сигнал, сигнал напрямки. Логічна одиниця - кроковий двигун обертається за годинниковою стрілкою, нуль - кроковий двигун обертається проти годинникової стрілки, або навпаки. Інвертувати сигнал DIR зазвичай можна або з програми управління або поміняти місцями підключення фаз крокового двигуна в роз'ємі підключення драйвера.

Протокол CW / CCW:

Сигнал CW - тактується сигнал, сигнал кроку. Один імпульс призводить до повороту ротора крокового двигуна на один крок за годинниковою стрілкою. Зазвичай драйвер відпрацьовує крок по передньому або задньому фронту імпульсу.

Сигнал CW - тактується сигнал, сигнал кроку. Один імпульс призводить до повороту ротора крокового двигуна на один крок проти годинникової стрілки. Зазвичай драйвер відпрацьовує крок по передньому або задньому фронту імпульсу.

Сигнал ENABLE - Потенційний сигнал, сигнал включення / вимикання драйвера. Зазвичай логіка роботи така: логічна одиниця (подано 5В на вхід) - драйвер крокового двигуна вимкнений і обмотки крокового двигуна знеструмлені, нуль (нічого не подано або 0В на вхід) - драйвер крокового двигуна включений і обмотки крокового двигуна запитані.

Драйвери крокового двигуна при програмування також можуть мати додаткові функції:

- Контроль перевантажень по струму;
- Контроль перевищення напруги живлення, захист від ефекту зворотної ЕРС від ШД. [22]

При уповільненні обертання, кроковий двигун виробляє напругу, яке складається з напругою живлення і короткочасно збільшує його. При більш швидкому уповільненні, напруга зворотного ЕРС більше і більше стрибок напруги харчування. Цей стрибок напруги живлення може привести до виходу з ладу драйвера, тому драйвер має захист від стрибків напруги живлення. При перевищенні порогового значення напруги харчування драйвер відключається.

Також кроковий двигун можна запрограмувати на режим автоматичного зниження струму обмотки при просте (відсутності сигналу STEP) для зниження нагріву ШД і споживаного струму (режим AUTO-SLEEP) та автоматичну компенсацію середньочастотного резонансу двигуна. Резонанс зазвичай проявляється в діапазоні 6-12 об / сек, кроковий двигун починає гудіти і ротор зупиняється. Початок і сила резонансу сильно залежить від параметрів крокового двигуна і його механічного навантаження. Автоматичний компенсатор середньочастотного резонансу дозволяє повністю виключити резонування крокового двигуна і зробити його обертання рівномірним і стійким у всьому діапазоні частот.

Отже, вбудований генератор частоти STEP у драйвер крокового двигуна це зручна функція для пробного запуску драйвера без підключення до ПК або іншого зовнішнього генератора частоти STEP. Також генератор буде корисний для побудови простих систем переміщення без застосування ПК.

Розглянемо як приклад драйвер A4988 крокового двигуна від компанії Allegro. Це універсальний цифровий драйвер крокового двигуна з передовими алгоритмами управління, який володіє системою забезпечення плавності обертання двигуна, оптимального крутного моменту і стабільності його роботи. З застосуванням такого драйвера двигуни можуть працювати з набагато меншим шумом, меншим нагріванням, більш плавним рухом.

A4988 – це драйвер крокового двигуна із вбудованим мікростековим двигуном для легкої роботи. Він призначений для роботи з напругою від 8 до 35 В і може забезпечити струм до 1 А на фазу без радіатора (і до 2 А з радіатором). Модуль A4988 має захист від перевантаження і перегріву. Одним з параметрів крокових двигунів є кількість кроків на один оборот 360° . Наприклад, для крокових двигунів Nema17 це 200 кроків на оборот, тобто 1 крок дорівнює 1.8° . Драйвер A4988 дозволяє збільшити це значення за рахунок можливості управління проміжними кроками і має п'ять режимів мікрокроку (1 (повний), 1/2, 1/4, 1/8 і 1/16).

Особливості та переваги драйвера A4988:

- ▪ Низькі RDS (ON) виходи;
- ▪ Автоматичне виявлення / виділення режиму розпаду;
- ▪ Змішані та повільні режими розпаду струму;
- ▪ Синхронне випрямлення для розсіювання низької потужності;
- ▪ Внутрішній UVLO;
- ▪ Захист кросовер-струм;
- ▪ 3,3 та 5 В сумісна логічна поставка;
- ▪ Термічна схема відключення;
- ▪ Захист від короткого замикання на землю;
- ▪ Короткий захист навантаження;
- ▪ П'ять вибраних режимів кроку: повна, 1/2, 1/4, 1/8 та 1/16. [23]

Важливим є призначення контактів драйвера та їх підключення. На рисунку 39 зображено типову діаграму застосування драйвера з його підключенням.

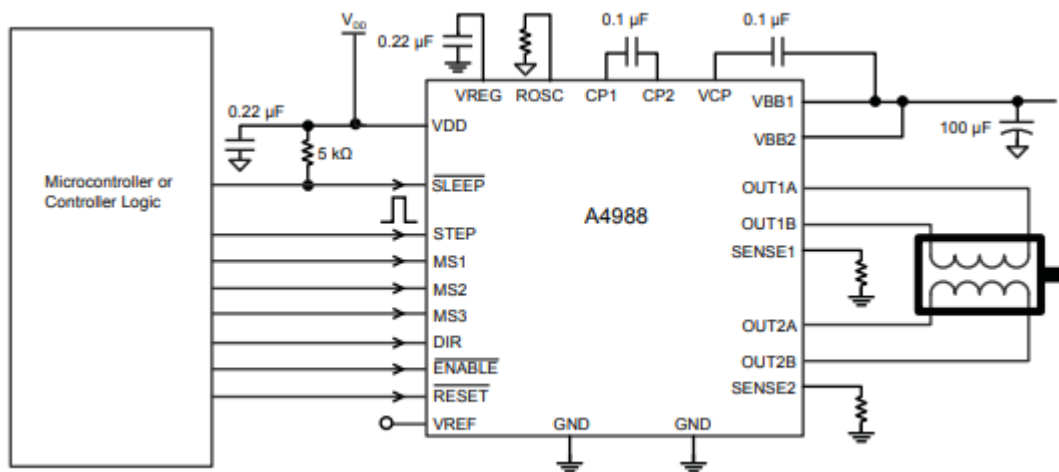


Рисунок 39 - Типова діаграма застосування драйвера з підключенням

Розглянемо детальніше призначення контактів драйвера A4988:

- ENABLE - включення / вимикання драйвера;
- MS1, MS2, MS3 - контакти для установки мікрокроку;

- RESET - скидання мікросхеми;
- STEP - генерація імпульсів для руху двигунів (кожен імпульс - крок);
- DIR - установка напрямку обертання;
- VMOT - живлення для двигуна (8 - 35 В);
- GND – загальний;
- 2В, 2А, 1А, 1В - для підключення обмоток двигуна;
- VDD - живлення мікросхеми (3.5 -5В).

Для роботи в режимі мікрокроку необхідний слабкий струм. На модулі драйвера А4988 підтримку струму можна обмежити потенціометром, який знаходиться на платі. Драйвер дуже чутливий до перепадів напруги по живленню двигуна, тому додатково рекомендується при використанні встановлювати електролітичний конденсатор великої ємності.

Отже, А4988 від Allegro підходить для широкого спектру крокових двигунів, розмірами NEMA від 17 до 34. Може бути використаний в різних видах застосувань, таких як верстати лазерної різки і гравіювання, високоточні координатні столи, етикетувальні машини і т.д.

4.4. Програмування розробленого робота-маніпулятора

Для програмування сконструйованого робота-маніпулятора необхідне застосування такої плати як Arduino. Підключення плати до комп'ютера відбувається через програмне середовище Arduino IDE. Це програмне забезпечення для користувачів операційної системи Windows, яке дозволяє писати свої програмні коди для платформи Arduino. Ця платформа в першу чергу орієнтується на конструкторів, які збираються програмувати у менш ніж промислових масштабах, а також для тих хто застосовує Arduino для побудови простих систем автоматичної роботи і робототехніки.

Arduino IDE складається з достатньо простого текстового редактора коду, компілятора та менеджера проектів, а також модуля для завантаження

прошивки в мікроконтролер. Це інтегроване середовище написано на мові програмування Java і базується на програмному забезпеченні з відкритим кодом. Мовою програмування Arduino є стандартна мова C ++ (використовується компілятор AVR-GCC).

Дане програмне середовище має такі переваги:

- зручний для використання і розуміння інтерфейс;
- доступність до завантажування;
- можливість поглибити знання мови C ++;
- наявність необхідних для роботи інструментів;
- функції збереження, експорту, перевірки, пошуку, заміни скетчів.
- кілька варіантів мов програмування;
- програма сумісна з усіма версіями операційних систем Windows;
- вбудований набір прикладів програм.

Після завантаження Arduino IDE на комп'ютер підключається платформа Arduino до комп'ютера. З'єднання Arduino з комп'ютером відбувається через USB-кабель. Індикатором правильного підключення слугує світлодіод «ON», який загорається на платі, а також починає блимати світлодіод «L». Це означає, що на плату подано живлення, і мікроконтролер Arduino почав виконувати прошивку на заводі програму «Blink» (миготіння світлодіодом).

Робочий інтерфес програми Arduino IDE зображено на рисунку 40.



Рисунок 40 – робочий інтерфейс програми Arduino IDE

Щоб налаштувати Arduino IDE на роботу з конкретною моделлю плати Arduino, нам необхідно сповістити програму про те, з якою саме платою буде проводитись робота. Для цього потрібно в меню «Інструменти» обрати категорію «Плата» та обрати модель плати, яка використовується.

Після того, як плата підключена переходимо до завантаження коду. Arduino IDE містить достатньо готових прикладів, через котрі можна скомпілювати свій власний програмний код.

Код програми для управління сконструйованим роботом-маніпулятором наведено у Додатку А.

Після того, як написано програмний код та запрограмовано ним плату Arduino робот-маніпулятор налаштований на роботу. Працює робот-маніпулятор без підключення до комп'ютера, а управління здійснюється вручну.

Розглянемо більш детально алгоритм роботи сконструйованого робота-маніпулятора. На рисунку 41 показано алгоритм роботи робота-маніпулятора у вигляді блок-схеми.

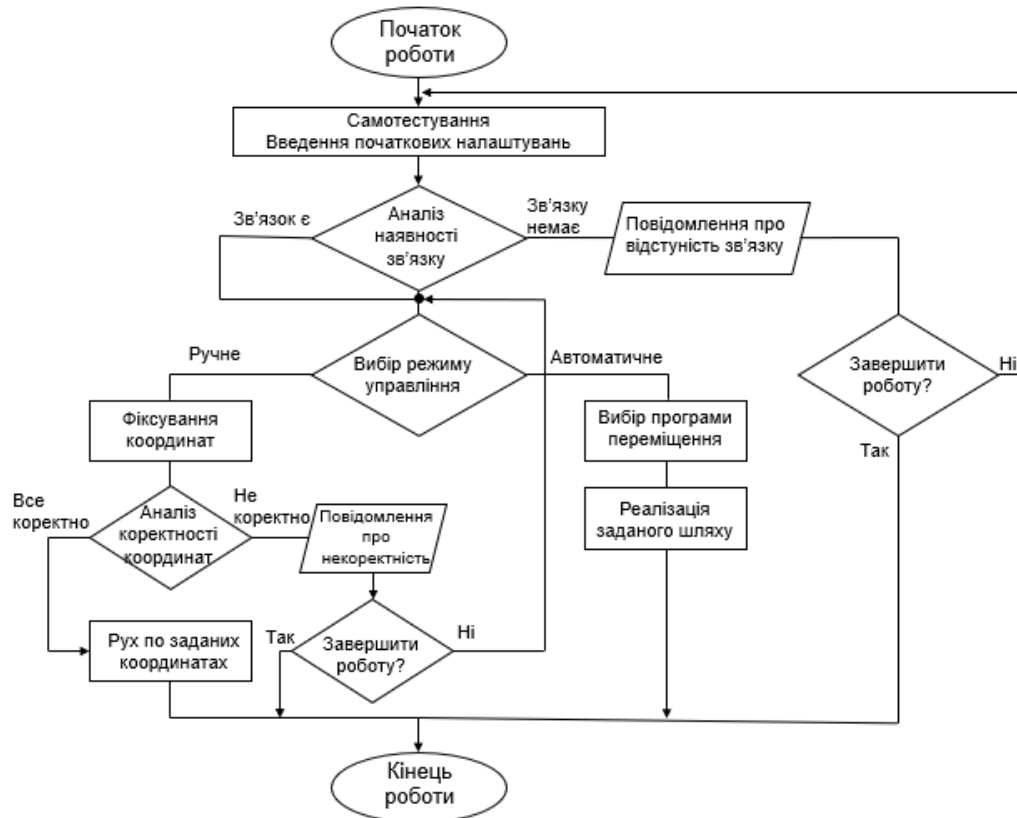


Рисунок 41 – Блок-схема алгоритму роботи робота-маніпулятора

Початок роботи починається з включення робота та самотестування. Також на даному етапі вводяться початкові налаштування. Після проведення налаштувань проводиться аналіз зв'язку з пристроєм, і якщо зв'язок є обирається режим управління. Можливі два варіанти режиму управління: ручний та автоматичний. Автоматичний режим передбачає рух активних частини по траєкторії, яка попередньо задана програмним кодом. При виборі ручного управління відбувається фіксування координат та аналіз коректності координат. Якщо координати задано коректно, робот-маніпулятор виконує рух по заданих координатах, якщо ні – повідомляється про некоректність координат та програма або завершує роботу, або переходить до початкового етапу – вибору управління.

Після виконання руху програма завершує роботу та повідомляє про кінець роботи. Повний код управління роботом-маніпулятором наведено у додатку А.

Висновки до розділу

В даному розділі було описано кроки налаштування плати Arduino для взаємодії з роботом-маніпулятором та можливістю його керування. Також описано поетапний алгоритм роботи розробленої програми для керування роботом-маніпулятором. Детально розглянуто характеристики, принцип роботи та особливості основних рушійних елементів робота-маніпулятора, та можливі шляхи їх програмування на роботу.

5 ТОЧНІСТЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Точність позиціонування - узагальнена величина, що показує, в яких межах може перебувати реальна координата осі після завершення позиціонування. Даний параметр є критично важливим для роботів-маніпуляторів та виробів, які здійснюють процес контролю. Точність залежить від повторюваності, але включає в себе не тільки величину "розкиду" помилки позиціонування, але і її середнє значення, тобто є більш універсальною характеристикою. Точність показує, як велика може бути помилка позиціонування осі. Точність - основна характеристика робота-маніпулятора. Найчастіше виробники роботів-маніпуляторів промислового призначення вказують "точність робота", що не вказуючи "фактор охоплення" - тобто коефіцієнт пропорційності.

Точність є основною характеристикою верстата і залежить від великої кількості факторів, в числі основних - неспіввісність напрямних осей і їх неперпендикулярність.

Варто звернути увагу на різницю та відмінність значень параметрів точності позиціонування та похибки позиціонування. Похибка позиціонування робочої частини робота - відхилення положення його робочої частини від положення, заданого керуючою програмою.

Похибка позиціонування при відомому законі переміщення від часу визначається цілою низкою чинників, зокрема, наявністю люфту редуктора, зміною швидкості через зміну температурного режиму, що приводить до зміни струму ротора, зміною напруги живлення. Ці похибки носять випадковий характер і можуть бути визначені шляхом експериментального визначення відхилення реальної і заданої позицій.

Розрахунок точності позиціонування для робота-маніпулятора складається з наступних основних етапів:

- 1) необхідно знайти складові розмірної ланцюга, а саме лінійні кутові розміри, відхилення які впливають на рух активної частини робота;
- 2) необхідно визначити складові параметри розмірного ланцюга;
- 3) необхідно розрахувати відхилення активної частини робота та порівняти її з максимально допустимою величиною відхилення для даної частини робота. [24]

Відхилення активної частина робота-маніпулятора в системі координат розглядається як замикаюча ланка в складному розмірному ланцюгу, утворене відхиленнями лінійних і кутових розмірів елементів системи «робот – активна частина - деталь». Вирішення рівняння в цьому ланцюзі теоретико-імовірнісним методом дозволяє врахувати закони розподілу відхилень розмірів активної частини при роботі робота і випадковий характер складових похибок, таких, як зміщення і перекося осей при підйомі важких деталей або роботи у важкодоступній зоні. Відхилення в розмірному ланцюзі бувають двох видів:

- 1) паралельне зміщення осей - векторні помилки;

2) перекис осей - кутові помилки.

Кутові помилки складових ланок (перекоси осей) і векторні помилки (паралельне зміщення осей) підсумовуються шляхом приведення кутових помилок до векторного виду в площині замикаючої ланки через передаточні відношення:

$$e_{\Sigma} = \frac{1}{k_{\Sigma}} \left(\sqrt{\sum_{i=1}^n A_i^2 \cdot k_i^2 \cdot e_i^2} \right) \quad (2)$$

де e_{Σ} – половина величини відхилення активної частини замикаючої ланки;

k_{Σ} – коефіцієнт відносної втрати замикаючої ланки;

k_i - коефіцієнт відносного розсіювання складових ланки (половина величини відхилення активної частини) ;

e_i – похибка складових ланки;

n – число складових ланки;

i – номер складової ланки.

Коефіцієнт відносного розсіювання замикаючої ланки визначається за формулою:

$$k_{\Sigma} = 1 + \frac{0,55}{\sum_{i=1}^n e_i} \left(\sqrt{\sum_{i=1}^n k_i \cdot e_i} - \sqrt{\sum_{i=1}^n e_i^2} \right) \quad (3)$$

Коефіцієнт відносної асиметрії замикаючої ланки визначається за формулою:

$$a_{\Sigma} = \frac{0,59 \cdot \sum_{i=1}^n a_i \cdot e_i}{\sum_{i=1}^n e_i} \quad (4)$$

де a_i – коефіцієнт відносної асиметрії кривої розподілення складових ланок.

Для кожної ланки необхідно визначати характеристики розподілення k_i та a_i . [25]

Висновки до розділу

В даному розділі було описано можливі шляхи розрахунку точності позиціонування, доцільність проведення даних розрахунків та їх значення.

6 РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ «РОБОТА-МАНІПУЛЯТОРА»

6.1 Опис ідеї проекту

В попередніх розділах було розглянуто приклади роботів-маніпуляторів та їх особливості, після чого було розроблено робота-маніпулятора для позиціонування датчиків на виробах зі складною геометрією та створено для нього програму керування. На даному етапі буде проведено аналіз стартап-проекту для визначення можливості входу на ринок і конкурентоспроможності нашого товару.

Таблиця 5 зображує зміст ідеї стартап-проекту та напрямки застосування для формування потенційних ринків.

Таблиця 5 - Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
------------	-----------------------	------------------------

Розробка робота-маніпулятора призначеного для контролю параметрів виробів зі складною геометрією. Створення програми керування приладом.	1. Промисловість	Автоматизація виробництва, зменшення людського фактору на виробництві
	2. Вищі навчальні заклади для навчання	Навчання (практична робота) молодих спеціалістів автоматизації

Пропонується робот-маніпулятор для позиціонування датчиків на виробках зі складною геометрією, який автоматизує виробництво та контроль виробів, а також буде простим у використанні завдяки зручній системі управління. Значною перевагою має стати доступність даного робота-маніпулятора для користувачів.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;
- проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

В таблиці 6 проводиться аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї перед конкурентними товарами.

Таблиця 6 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/п	Техніко-економічні характеристики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				W (слабка сторона)	N (нейтральна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проєкт	Юніверсал-Роботс	FANUC	KUKA Robotics			
1.	Вартість	2500	400000	280000	300000			+
2.	Зручність	Висок	Висока	Висока	Висока			+

	керування	а						
3.	Надійність	Висока	Висока	Висока	Висока			+
4.	Зручність транспортування	Висока	Середня	Середня	Середня		+	
5.	Торгова марка	Немає	Є	Є	Є	+		

За результатами аналізу таблиці 6 видно, що запропонована ідея за показниками надійності і зручності управління є не гіршою від товарів конкурентів, а ціна є сильною стороною.

6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 7.

Таблиця 7 - Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
	Розробка робота-маніпулятора призначеного для контролю параметрів виробів зі складною геометрією. Створення програми керування приладом.	Створення моделі робота-маніпулятора	Середовище для створення наявне	Середовище для створення доступне
		Написання програми керування на мові програмування C++	Мова програмування розроблена і є в наявності	Дана мова доступна
		Друк моделі на 3D-принтері	Середовище та принтер для друку наявні	Середовище та принтер для друку доступні
В якості оптимальної технології реалізації проекту обрано замовлення окремих компонентів та складових автоматизованої системи та друк їх в лабораторії університету.				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект не має суттєвих складнощів до реалізації, та має достатню кількість наявних нині

технологій для його реалізації. Також проект може бути реалізованим за допомогою існуючих програмних продуктів та обладнання, яке наявне на місці розробки – кафедрі ПСНК КПІ ім. Ігоря Сікорського.

6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Даний аналіз з урахуванням стану ринкового середовища дозволить спланувати напрями розвитку проекту, пропозицій проектів-конкурентів та потреб потенційних клієнтів. В таблиці 8 проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг та динаміка розвитку ринку.

Таблиця 8 - Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	1000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Патент на проект
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка системи з метою підтвердження заданої точності позиціонування
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	85%

За результатами аналізу попередньої характеристики потенційного ринку стартап-проекту можна зробити висновок, що вкладення коштів в даний проект є рентабельним. Так, як динаміка ринку зростає, це значить, що даний робот-маніпулятор товару є потрібним. Також середня норма рентабельності підтверджує позитивні прогнози.

Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 9).

Таблиця 9 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
	Автоматизація виробництва та контролю виробів	Компанії – виробники будь-яких галузей промисловості	Можливість автоматизації та контролю виробництва без участі людського фактору.	Невисока вартість експлуатації, висока якість сервісного обслуговування, ефективність.

За результатами таблиці 9 було визначено сегменти ринку на яких варто запропонувати продукт, а також визначено поведінку клієнтів і їхні основні вимоги.

Проте, нажаль існують певні загрози при застосуванні даної технології. Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також працювати з такими програмами повинні висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даного продукту (табл. 10). Після визначення потенційних груп клієнтів проводимо аналіз ринкового середовища.

Складемо таблицю факторів, що перешкоджають ринковому впровадженню проекту (табл. 10).

Таблиця 10 - Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
-------	--------	---------------	--------------------------

1.	Конкуренція	Можливий вихід конкурента на ринок	Зробити бонуси оптовим покупцям у вигляді дешевшого сервісного обслуговування
2.	Інфляції	Можливе зростання ціни на комплектуючі	Пошук нових постачальників комплектуючих
3.	Соціальний	Зміна вимог покупців	Розставлення нових пріоритетів, щодо характеристик продукції
4.	Правовий	Можливе блокування виходу на ринок незацікавленими високопосадовцями	Домогтися розголосу у засобах масової інформації

Проаналізувавши таблицю 10 є необхідність оцінити фактори загроз та розробити стратегію протидії їм. При можливій появі конкурента на ринку необхідно втримати існуючих клієнтів шляхом впровадження системи бонусів. Також при нестабільній фінансовій ситуації в країні може зрости рівень інфляції, що відобразиться на ціні комплектуючих деталей, так як вони переважно закордонного виробництва. Тому необхідно постійно моніторити ринок даних деталей, щоб в найкоротший час змінити постачальника. Також варто постійно моніторити ринок на предмет наявності нових конкурентів, які виготовляють роботів-маніпуляторів, або реалізують дану продукцію в галузі автоматизації, приладобудування та контролю.

Складемо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту (табл. 11).

Таблиця 11 - Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Ліцензоване виробництво, можливість контролю додаткової зони у вісєй колісних пар	Підвищення рівня кваліфікації персоналу для отримання ліцензії, удосконалення прилад
2.	Економічний	Зменшення податків на даний вид виробництва	Збільшення обсягів виробництва та зменшення ціни на продукцію
3.	Технічний	Точний котнроль , який завдяки швидкості забезпечує більшу кількість проконтрольованої продукції за 60 хв.	Впровадження нової технології виготовлення приладу

4.	Ринок збуту	Можливість виходу на міжнародний ринок	Розробка та виготовлення продукту за європейськими стандартами
5.	Попит	Збільшення попиту на даний вид товару	Збільшення виробництва та впровадження знижок та акцій на товар

З таблиці 11 видно, що зробивши правильний наголос на походженні товару, можна заручитися соціальною підтримкою і як наслідок зайняти певний сегмент ринку та спробувати отримати грант на розвиток проекту.

Таблиця 12 - Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Вказати тип конкуренції-олігополія	Існування невеликої кількості компаній, що працюють в даній сфері	Якісна продукція, правильна цінова політика, висока якість обслуговування
2. За рівнем конкурентної боротьби-міжнародна	Представники в різних країнах	Вихід на міжнародний ринок
3. За галузевою ознакою-міжгалузєва	Підприємства працюють в межах декількох галузей	Пропозиція товару за більш низькою ціною
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Пропонують товари одного виду	Реклама, простота в користуванні
5. За характером конкурентних переваг - цінова	Вартість залежить від ціни на матеріали та комплектуючі елементи	Вибір оптимального варіанту ціна/якість комплектуючих елементів
6. За інтенсивністю - не марочна	Відомі виробники володіють більшими ресурсами і аудиторією клієнтів	Отримання держзамовлення і наступне розширення ринку

За наявності олігополії на ринку необхідно правильно розставити пріоритети для того, щоб бути конкурентоспроможними. А саме, треба показати клієнту, що даний товар є не гіршим за відомі брендові, але значно дешевшим, що робить його доступнішим. Підібравши правильну цінову політику і проводячи ефективну рекламну кампанію потрібно закріпитися в одному сегменті з подальшим розширенням, аж до виходу на міжнародний ринок

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 13 - Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
Складові аналізу	Інститут електро-зварювання ім.Є.О.Патона, АктивТестГруп	Економія на масштабах Доступ до ресурсів	Значення розміру поставок для постачальників	Контроль якості	Лояльність споживачів
Висновки:	Висока конкуренція	Є можливість виходу на ринок за рахунок держ-замовлень	Постачальники не впливають на умови роботи на ринку	Клієнти вимагають якісної та простої в керуванні продукції	Більш відомі компанії захоплюють ринок

Проаналізувавши дані з таблиць можна зробити висновок, що в даний час з огляду на конкурентну ситуацію, щоб вийти на ринок та бути конкурентоспроможним проект повинен не поступатись в якості системам автоматизованого контролю більш відомих компаній, але в той же час повинен пропонуватися за дещо нижчою ціною ніж в конкурентів.

Після проведення попередніх аналізів необхідно визначити і обґрунтувати фактори конкурентоспроможності.

В таблиці 14 наведемо фактори конкурентоспроможності, які засновані на аналізі конкуренції, який проведений в табл. 13, а також із урахуванням

характеристик ідеї проекту (табл. 6), вимог споживачів до товару (табл. 9) та факторів маркетингового середовища (табл. 10,11) визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності.

Таблиця 14 - Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Наявність сертифікатів та патенту	Наявність таких документів не дає можливості використання нашої технології конкурентами
2	Якість продукту	Висока якість продукту дозволить нам швидко закріпитись на ринку
3	Ціна	Визначення стану ціни на ринку та встановлення її дещо нижчою, ніж в конкурентів
4	Сервісне обслуговування	Якісне обслуговування приваблює клієнтів

Таблиця 15 - Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Робота-маніпулятора для позиціонування датчиків на виробі зі складною геометрією»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з METER_Company						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність сертифікатів та патенту	16	+						
2	Якість продукту	15				+			
3	Ціна	17	+						
4	Сервісне обслуговування	19		+					

З таблиць 14 та 15 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового робота-маніпулятора. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка протягом всього терміну його використання споживачем.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities), що наведені в таблиці 16, на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін, що наведені в таблиці 15.

Таблиця 16 - SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: 1. Унікальний продукт на ринку 2. Собівартість продукції нижча, ніж в конкурентів 3. Якісне сервісне обслуговування 4. Висока точність	Слабкі сторони: 1. Залежність ціни продукції від ціни постачальників на комплектуючі елементи та матеріали
Можливості: 1. Вихід та закріплення на ринку 2. Вихід на міжнародний ринок 3. Отримання держзамовлення 4. Збільшення попиту на продукт 5. Ліцензійне виробництво	Загрози: 1. Інфляція 2. Поява нових конкурентів на ринку 3. Зростання цін на компоненти 4. Невчасне постачання компонентів 5. Вихід з ладу приладу чи збої і точності вимір

Проаналізувавши таблицю 16 наводимо перелік сильних та слабких сторін проекту. А також ринкових загроз та ринкових можливостей, що складається на основі факторів загроз і можливостей, що були представлені в таблицях 10 і 11 відповідно.

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів і представлені в таблиці 17.

Таблиця 17 - Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	11 місяців
2	Отримання держзамовлення	Висока	10 місяців
3	Пошук інвестицій	Висока	12 місяців

Отже, розглянувши можливості ринкового впровадження стартап-проекту можна зробити висновок, що основною альтернативою є отримання

держзамовлення на продукт, оскільки ймовірність отримання ресурсів висока, а терміни реалізації менші.

6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів.

Таблиця 18 - Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
	Вищі заклади освіти, приватні та державні компанії, промислові компанії	Продукт затребуваний	Високий	Помірна	Необхідність мати ліцензію
Які цільові групи обрано: Провівши аналіз цільових груп споживачів було прийнято рішення співпрацювати як з приватними і державними компаніями так із вагоноремонтними заводами.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для котрих будемо пропонувати робота-маніпулятора для позиціонування датчиків на виробх зі складною геометрією та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію масового маркетингу, із своїм ринком.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку (табл. 19).

Таблиця 19 - Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
	Удосконалення даного проекту	Диференційований маркетинг	Якість, точність виміру, ціна	Диференціації

Оскільки мета полягає в задоволенні потреб різних цільових сегментів, то відповідно базовою стратегією розвитку було вибрано – стратегію

диференціації. Ставка робиться на такі конкурентоспроможні позиції як: ціна та сервісне обслуговування, що мають схилити споживачів до використання даної продукції.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 20).

Таблиця 20 - Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
	Так	Так	Так	Зайняття конкурентної ніші

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку та стратегії конкурентної поведінки розробляємо стратегію позиціонування яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати проект.

Таблиця 21 - Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Ціна, точність, надійність, швидкість контролю.	Стратегія диференціації	Висока якість продукту. Формування лояльності і прихильності споживачів, точність	Якість. Ціна. Зворотній зв'язок із виробником. Технічна підтримка.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 22 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 22 - Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Висока точність вимірювання	Похибка вимірювання становить тільки 0.5%	Використання кращого по якості та характеристиках датчика та елементів руху
2	Низька ціна	Пропонування товару за дещо нижчою ціною ніж в конкурентів	Збільшення кількості клієнтів за рахунок ціни та якості продукції
3	Якість	Довший термін роботи системи	Постійне якісне обслуговування системи

За результатами таблиці 22 складено перелік ключових переваг перед конкурентами на які буде акцентуватися увага споживачів при входженні на ринок. Це дозволить завоювати лояльність споживачів і зайняти сегмент ринку.

Таблиця 23 - Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Робот-маніпулятор для позиціонування датчиків на виробках зі складною геометрією Вигоди: ціна, якість, сервісне обслуговування та технічна підтримка.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Гл/Е/Ор
	1. Гарантійний термін	Нм	Е
	2. Ціна	М	Вр
	3. Сервісне обслуговування	Нм	Вр
	4. Простота в експлуатації	Нм	Е
	Якість: відповідає нормам ДСТУ 2709-94		
	Пакування: один робот-маніпулятор у дерев'яному боксі		
	Марка: RM-Robotics		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: можливість протестувати прилад в офісі фірми. Безкоштовна доставка		
	Після продажу: Гарантійне сервісне обслуговування та технічна підтримка		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: За рахунок оформлення патенту (отримання сертифікату про інтелектуальну власність) та присвоєння кожному проданому роботу серійний номер, який необхідний для авторизації та підключення до системи управління.			

Результатом таблиці 23 є створення трьохрівневої моделі продукту, що показує задум, основні характеристики, підтвердження якості, спосіб пакування, додаткові послуги та спосіб захисту від копіювання.

Для встановлення ціни на власний товар необхідно проаналізувати ціни на товари конкурентів та рівень доходів цільової групи споживачів. Результат аналізу наведено в таблиці 24.

Таблиця 24 - Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	15000 грн	150000-400000 грн	1000000-10000000 грн	16000-25000 грн

В даній таблиці проведено аналіз ринкової ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За допомогою отриманих даних встановлюємо верхню та нижню межу на наш продукт.

Таблиця 25 - Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	Продаж в роздріб Посилкова торгівля Продаж через інтернет	Безпосередній продаж товару клієнту, оформлення та відправлення замовлення, Установка та налаштування системи.	Висока	Оптовий продаж продукції

За відсутності посередника при збуті товару не потрібно враховувати ціну за послуги. Також прямий продаж передбачає безпосередній контакт з цільовою аудиторією, що дозволить врахувати індивідуальні побажання і допоможе втримати клієнтів.

Таблиця 26 - Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
	Пошук якісної сертифікованої продукції за доступною ціною	Тематичні журнали, реклама в пошукових системах, виставки	Ціна-якість, сервісне обслуговування, зручність управління	Акцентувати увагу на якісний товар за доступною ціною.	«Якість українського виробника без передплат за закордонний»

За результатом аналізу даної таблиці необхідно зробити основну ставку на відношенні ціна-якість, а також акцентувати увагу на наявність гарантійного сервісного обслуговування. Каналами для розміщення реклами необхідно обрати тематичні журнали та пошукові системи. Це дасть змогу постійно бути на виду у потенційних клієнтів.

Висновки до розділу

Аналіз стартап-проекту показав можливість ринкової комерціалізації проекту. Це обумовлено високим попитом на роботизовані системи для здійснення контролю виробів зі складною геометрією. Також в ході аналізу було підтверджено рентабельність проекту. Але ,незважаючи на наявну конкуренцію певного рівня, ринок надає можливості впровадження продукту в обіг з огляду на наявність цільової аудиторії, яка зацікавиться даним продуктом. Здатність подолати бар'єри для доступу до ринків такі як набір клієнтської бази та необхідність сертифікації обладнання перед випуском її в вільний продаж. На ринку вже присутні аналоги продукту який розробляється, і це необхідно пам'ятати. Отже для успішного виходу на нього треба надати нашому продукту такі властивості, які будуть значно виділяти його серед конкурентів. На даний момент продукт є конкурентоспроможним але для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно:

- Провести презентацію приладу та установити обмежену кількість приладів із знижкою;
- Не зупинятися над покращенням продукту;
- Прислуховуватись до споживачів.

В подальшому є можливості виведення проекту на міжнародний ринок. Це обумовлено тим, що роботизовані системи даного типу можуть швидко проводити обробку інформації та зберігання її для подальшого аналізу, а також бути навчальною моделлю, що є великою перевагою над компаніями-конкурентами.

ВИСНОВКИ

Проведений огляд показав, що хоча галузь робототехніки є досить розвиненою і добре відомою, проте застосування роботизації саме для потреб неруйнівного контролю і діагностики є незначним. Кожна роботизована система є вузькоспеціалізованою і потребує значного часу на розробку. Також багато систем працюють за «жорсткими алгоритмами» (наприклад, рух тільки за заданою траєкторією), але важливою задачею є розробка алгоритмів руху первинних перетворювачів для неруйнівного контролю об'єктів складної форми, які дозволяли б орієнтуватись в просторі на основі аналізу сигналів із додаткових датчиків, таких як датчик положення, відстані і т.п.

Незважаючи на те, що подібні системи є дорогими (як при створенні, так і експлуатації), складними, використовують спеціалізоване програмне забезпечення, потребують кваліфікований обслуговуючий персонал, проте вони вирішують одну з ключових проблем неруйнівного контролю – вплив суб'єктивного фактору на результат контролю. За такими системами майбутнє.

На жаль, подібні системи недоступні для навчального процесу в вищих навчальних закладах. Тому підготувати спеціаліста для обслуговування подібних роботизованих систем важко, адже немає на чому проводити практичні заняття. Проте можна створити копію роботизованої системи на основі моделей-аналогів, які розглянуто вище. Саму роботизовану систему розроблено у вигляді окремих деталей, які виконано у вигляді тривимірних моделей та надруковано за 3D-принтері.

Отже, в ході роботи над магістерською дисертацією було розроблено модель робота-маніпулятора для позиціонування датчиків на виробах зі складною геометрією. Для даної моделі було також створено програмний код, яким буде керуватися робот-маніпулятор та роздруковано і зібрано усі деталі, з яких і складається робот. Окрім цього робота-маніпулятора запрограмовано та налагоджено на подальшу роботу у навчальних цілях.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Лобанов Л. М. Применение современных информационных технологий для решения задач автоматизации технологических процессов / Л. М. Лобанов, Е. М. Шаповалов, В. А. Коляда. // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2014. – №4. – С. 52–56.
2. CUSTOMIZE YOUR UR ROBOT WITH CUTTING-EDGE PRODUCTS [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.universal-robots.com/plus/>.
3. Промышленные роботы FANUC [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.fanuc.eu/ua/ru/роботы>.
4. KR QUANTEC PA [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.kuka.com/en-gb/products/robotics-systems/industrial-robots/kr-quantec-pa>.
5. ABB's 6 axis robot – for flexible and compact production [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-120>.
6. UR3 Technical specifications. // 1. – 2018. – №110103. – С. 1.
7. KR QUANTEC PA With HO and arctic Variants Specification. // 1. – 2018. – С. 141.
8. Technical data for the IRB 120 industrial robot [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://new.abb.com/products/robotics/industrial-robots/irb-120/irb-120-data>.
9. Николаев А. Б. Программирование роботов-манипуляторов / А. Б. Николаев, С. А. Васюгова. – Красноярск: Научно-инновационный центр, 2015. – 94 с. – (1). – (Н63).
10. ОСТОРUZ robotics [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://octopuz.com>.
11. Technical Data GRIPKIT [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.weiss-robotics.com/gripkit/en/>.

12. Nanshu Lu. Flexible and Stretchable Electronics Paving the Way for Soft Robotics / Nanshu Lu, Dae-Hyeong Kim. // 1. – 2013. – С. 51.

13. Промышленные роботы, используемые в сварочном производстве, их технологические возможности и область применения [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://msd.com.ua/tehnologiya-proizvodstva-svarnykh-konstrukcij/promyshlennye-roboty-ispolzuyemye-v-svarochnom-proizvodstve-ix-tehnologicheskie-vozmozhnosti-i-oblast-primeneniya/>.

14. Булгаков А. Г. Промышленные роботы: Кинематика, динамика, контроль и управление / А. Г. Булгаков, В. А. Воробьев. – Москва: Солон-Пресс, 2007. – 489 с. – (1).

15. Скарпино М. Двигатели для моделистов. Руководство по шаговым двигателям, сервоприводам и другим типам электродвигателей / Мэттью Скарпино. – Москва: Вильямс, 2016. – 432 с. – (1).

16. Сервоприводы в пакувальному обладнанні [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.proelectro.info/content/detail/3679>.

17. Використання сервоприводів при автоматизації обладнання [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <http://bezremonta.net/elektrika/2859-.html>.

18. Точність і динаміка сервоприводів [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: https://www.nord.com/cms/ua/nord_group/news_and_press/articles_1/news_detail_82507.jsp.

19. Servo Library [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: http://www.arduino.net.ua/file_archive/Arduino%20Library/Arduino%20Servo%20Library/.

20. Arduino Servo Attach [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://www.arduino.cc/en/Reference/ServoAttach>.

21. Призначення виконавчих двигунів і вимоги, які до них пред'являються [Электронный ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступа до ресурсу:

<http://opticstoday.com/katalog-statej/stati-na-ukrainskom/elementi-ta-pristroi-sistem-upravlinnya-avtomatiki/kolektorni-elektrichni-mashini/priznachennya-vikonavchix-dviguniv-i-vimogi-yaki-do-nix-predyavlyayutsya.html>. 22.

22. Servo library [Електронний ресурс] // 1. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.arduino.cc/en/Reference/Servo>.

23. DMOS Microstepping Driver with Translator And Overcurrent Protection, 2018. – (5). – (4988-DS; вип. 5).

24. Григорьев В. Ф. ИЗМЕРЕНИЕ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ СТАНКОВ С ЧПУ / В. Ф. Григорьев, В. П. Горбунов. – Брест: Брестский политехнический институт, 1999. – 15 с. – (1).

25. Смирнов В. А. РАСЧЕТ ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ / Виталий Алексеевич Смирнов. – Воткинск: Ижевский государственный технический университет Воткинский филиал, 2009. – 20 с. – (1).

26. Галаган Р.М. Роботизована система неруйнівного вихрострумового контролю виробів зі складною геометрією / В.В. Долиненко, Є.В. Шаповалов, Т.Г. Скуба, Ю.В. Куц, Р.М. Галаган та інш.// Автоматическая сварка. – Київ: Видавн. дім «Патон». – 2017. –№ 5-6 (764). – С. 60-67.

27. Жук А.І. Застосування роботизованих систем в неруйнівному контролі / Жук А.І., Галаган Р.М. // зб. тез доповідей «Погляд у майбутнє приладобудування», 15-16 травня 2018 року, КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ. – 2018. – С. 403-406.

ДОДАТКИ

ДОДАТОК А

Програмний код управлінням серводвигуном:

```
#include <Servo.h>

Servo servo1;           // Оголошуємо об'єкт servo1 для роботи з
сервоприводом 1
Servo servo2;           // Оголошуємо об'єкт servo2 для роботи з
сервоприводом 2
Servo servo3;           // Оголошуємо об'єкт servo3 для роботи з
сервоприводом 3
Servo servo4;           // Оголошуємо об'єкт servo4 для роботи з
сервоприводом 4
Servo servo5;           // Оголошуємо об'єкт servo5 для роботи з
сервоприводом захвата

int valR1, valR2, valR3, valR4, valR5;    // Змінні для зберігання значень
потенціометрів

const int pinR1 = A1;      // Константа з № виводу потенціометра
управл. сервоприводом 1
const int pinR2 = A2;      // Константа з № виводу потенціометра
управл. сервоприводом 2
const int pinR3 = A3;      // Константа з № виводу потенціометра
управл. сервоприводом 3
const int pinR4 = A4;      // Константа з № виводу потенціометра
управл. сервоприводом 4
const int pinR5 = A5;      // Константа з № виводу потенціометра
управл. захватом

const int pinS1 = 12;
const int pinS2 = 11;
const int pinS3 = 10;
const int pinS4 = 9;
```

```

const int pinS5 = 8;
void setup(){
    Serial.begin(9600);           // Ініціюємо передачу даних в монітор
    послідовного порту
    servo1.attach(pinS1);        // Призначаємо об'єкту servo1 управління
    сервоприводом 1
    servo2.attach(pinS2);        // Призначаємо об'єкту servo2 управління
    сервоприводом 2
    servo3.attach(pinS3);        // Призначаємо об'єкту servo3 управління
    сервоприводом 3
    servo4.attach(pinS4);        // Призначаємо об'єкту servo4 управління
    сервоприводом 4
    servo5.attach(pinS5);        // Призначаємо об'єкту servo4 управління
    сервоприводом 5
}
void loop(){
    valR1=map(analogRead(pinR1), 0, 1023, 10, 170); servo1.write(valR1);
    valR2=map(analogRead(pinR2), 0, 1023, 10, 170); servo2.write(valR2);
    valR3=map(analogRead(pinR3), 0, 1023, 10, 130); servo3.write(valR3);
    valR4=map(analogRead(pinR4), 0, 1023, 10, 170); servo4.write(valR4);
    valR5=map(analogRead(pinR5), 0, 1023, 20, 160); servo5.write(valR5);
    // Виводимо кути в монітор
    Serial.println((String) "A1 = "+valR1+",\t A2 = "+valR2+", \t A3 = "+valR3+", \t A4
    = "+valR4+", \t A5 = "+valR5);
}

```

Програмний код управління кроковим двигуном:

```
#include <Stepper.h>
#define STEPS 200 // Кількість кроків
Stepper stepper(STEPS, 2, 3, 4, 5);
int pinButtons1[]={6,7};
int lastButtons1[]={0,0};
int currentButtons1[]={0,0};
int countButtons1=2;
void setup()
{
  stepper.setSpeed(50);
}
void loop()
{
  // перевірка натискання кнопок
  for(int i=0;i<countButtons1;i++)
  {
    currentButtons1[i] = debounce(lastButtons1[i],pinButtons1[i]);
    if (lastButtons1[i] == 0 && currentButtons1[i] == 1)
      // якщо натиснута
      {
        if(i==0)
          stepper.step(10*STEPS);
        else
          stepper.step(-10*STEPS);
      }
    lastButtons1[i] = currentButtons1[i];
  }
}
```

```
}  
// функція згладжування брязкоту контакта  
int debounce(int last,int pin1)  
{  
int current = digitalRead(pin1); // зчитування стану кнопки  
if (last != current) // якщо стан змінився...  
{  
delay(5); // очікуємо 5 мс  
current = digitalRead(pin1); // зчитування поточного стану  
return current; // повертаємо вихідний стан кнопки  
}  
}
```