

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

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів і систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК 621.317:621.391

«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: «Автоматизація вихрострумової дефектоскопії об'єктів зі складною
геометрією поверхні»**

Виконав:

студент VI курсу, групи ПК-71мп

Левченко Олександр Едуардович _____

Керівник:

д.т.н., професор

Куц Ю.В. _____

Консультант з розділу «Розроблення стартап-проекту»:

к.е.н., доц.

Бояринова К.О. _____

Рецензент:

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних посилань.
Студент (-ка) _____

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 (Комп'ютерно-інтегровані технології та системи неруйнівного контролю і діагностики)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.Г. Протасов

« ___ » _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Левченку Олександрю Едуардовичу

1. Тема дисертації «Автоматизація вихрострумової дефектоскопії об'єктів зі складною геометрією поверхні», науковий керівник дисертації Куц Юрій Васильович, д.т.н., професор, затверджені наказом по університету від «05» листопада 2018 р. №4078-с
2. Термін подання студентом дисертації 14 грудня 2018р.
3. Об'єкт дослідження: процес автоматизованого вихрострумового контролю виробів з металів.
4. Вихідні дані: три крокові двигуни NEMA17, апаратна платформа Arduino.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проведення аналізу засобів автоматизації неруйнівного контролю; розробка структурної схеми вихрострумового контролю; розроблення кінематичної схеми маніпулятора для сканування поверхні об'єкта контролю; розробити програмне забезпечення для управління системою; розробити алгоритм процесу опрацювання інформативних сигналів; розробка стартап проекту на впровадження виконаної розробки.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: чотири плакати.

7. Орієнтовний перелік публікацій: тези конференцій – 2 шт.

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., доц.		

9. Дата видачі завдання: 03 вересня 2018р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Актуальність, область застосування, постановка задачі		
2	Аналітичний огляд		
3	Розрахунок первинного перетворювача		
4	Оформлення пояснювальної записки		
5	Розроблення стартап-проекту		
6	Представлення до захисту		

Студент

О.Е. Левченко

Науковий керівник дисертації

Ю.В. Куц

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерської дисертації «Автоматизація вихрострумової дефектоскопії об'єктів зі складною геометрією поверхні»: 80 сторінок, 42 рисунка, 24 таблиці, 20 використаних джерела.

Ключові слова: робот-маніпулятор, вихрострумний контроль, накладний вихрострумний перетворювач, похибка позиціонування.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованого вихрострумного контролю виробів з металів.

Предмет дослідження – системи автоматизованого вихрострумного контролю виробів зі складною геометрією.

Метою дослідження є розробка проекту роботизованої системи вихрострумного контролю виробів зі складною геометрією поверхні.

Методи дослідження – теоретичні дослідження процесу вихрострумного контролю і об'єкта контролю; модельні експерименти з питань опрацювання інформаційних сигналів; моделювання роботи окремих вузлів.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) За результатами дослідження кінематики маніпулятора виявлено основні похибки позиціонування сканерів у автоматизованих системах вихрострумного контролю і запропоновано методи їх зменшення.

2) Запропоновано поєднання вихрострумного контролю і можливостей промислових маніпуляторів, що дозволяє реалізувати вихрострумний неруйнівний контроль в автоматичному режимі і зменшити на цій основі вплив людського фактору на результати контролю.

Проведено маркетинговий аналіз стартап-проекту щодо впровадження системи автоматизованого вихрострумного контролю для визначення можливості його просування на ринку та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

ABSTRACT

This master's dissertation consists of 80 pages, 42 figures, 24 tables and 20 sources according to the list of references.

Keywords: robot-manipulator, eddy-current control, a convex eddy current sensor, positioning error.

The object of research - the process of automated eddy current testing of metal products.

Subject of research - systems of automated eddy current testing for products with complex geometry.

The purpose of the study is to develop a robotic system of eddy-current testing for products with complex geometry of the surface.

Methods of research - theoretical studies of the process of eddy current testing and testing object; model experiments on the processing of information signals; modeling the work of individual nodes.

Scientific novelty of the obtained results:

1) According to the results of the study kinematics of the manipulator, the main errors of the positioning of scanners in the automated systems of eddy current control were identified and were proposed methods of their reduction.

2) The combination of eddy current testing and the capabilities of industrial manipulators is proposed, which allows to implement eddy current non-destructive testing in automatic mode and reduce on this basis the influence of the human factor on the results of testing.

Зміст

Вступ.....	4
1. Аналітичний огляд.....	7
1.1. Актуальність процесу автоматизації НК матеріалів та виробів.....	7
1.2. Огляд промислових роботизованих систем.....	9
1.2.1. Класифікація промислових роботів.....	17
1.2.2. Технічні характеристики промислових роботів.....	21
1.3. Огляд відомих автоматизованих систем ВСК.....	22
1.4. Формування вимог до автоматизованої системи ВСК виробів деталей зі складною геометрією.....	27
1.5. Аналіз похибки позиціонування ВСП.....	28
Висновки до розділу 1.....	30
2. Розроблення структурної схеми роботизованої системи ВСК та її елементів.....	31
2.1. Обґрунтування структурної схеми системи.....	31
2.2. Розрахунок системи ВСП-ОК.....	33
2.3. Розрахунок кінематичної схеми маніпулятора.....	39
2.3.1. Розрахунок і аналіз прямої задачі кінематики маніпулятора.....	39
2.3.2. Розрахунок і аналіз зворотної задачі кінематики маніпулятор.....	42
2.3.3. Розрахунок передаточного механізму.....	44
2.4. Розроблення алгоритму опрацювання сигналу ВСП.....	47
Висновки до розділу 2.....	49
3. Розроблення програмного забезпечення системи ВСК.....	50
3.1. Розроблення програми опрацювання сигналів ВСП та її модельне дослідження.....	50
3.2. Розроблення програмного забезпечення для мікроконтролера.....	53
3.2.1. Опрацювання команд G-Code.....	53

3.2.2. Обґрунтування структури даних	56
3.2.3. Керування кроковими двигунами.....	58
3.3. Розроблення структури програмного модуля керування системою та її окремих елементів.....	61
Висновки до розділу 3.....	62
4. Розроблення стартап-проекту “ЕС-Roboscope”.....	63
4.1. Опис ідеї проекту.....	63
4.2. Технологічний аудит ідеї проекту.....	64
4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	65
4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту.....	72
4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	74
Висновки до розділу 4.....	77
Висновки.....	78
Список використаної літератури.....	79
Додатки.....	81

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ СКОРОЧЕНЬ

ВСК – вихрострумний контроль,

ЕРС – електрорушійна сила,

ВСП – вихрострумний перетворювач,

ОК – об'єкт контролю,

НК – неруйнівний контроль,

ВСМ – вихрострумний метод контролю,

ПК – персональний комп'ютер,

ОУ – об'єкт управління,

АС – автоматизована система,

ПЗ – програмне забезпечення,

ПЕП – питома електрична провідність,

ПР – промисловий робот,

Вступ

В структурі високотехнологічних виробництв на їх різних етапах чинне місце належить операціям контролю якості виробів, які ґрунтуються на використанні методів неруйнівного контролю (НК) [1]. Підвищення конкурентоспроможності та надійності продукції значною мірою залежить від темпів впровадження нових конструкційних матеріалів та компонентів, прогресивних технологічних процесів, останніх досягнень фундаментальних і прикладних наук. За таких умов розробники нової продукції повинні в своїй роботі спиратись на інноваційні методи і засоби контролю якості, зорієнтовані на перспективні матеріали з покращеними характеристиками та параметрами. Такі засоби повинні акумулювати новітні досягнення з різних галузей знань – фізики, математики, перетворювальної техніки, електроніки, комп'ютерної інженерії тощо. Це повною мірою стосується і вихрострумowego контролю (ВСК), який з є надзвичайно інформативним, і в той же час достатньо складний з огляду на отримання корисної інформації і виділення діагностичних ознак, особливо виріб має складну геометрію.

Незважаючи на впровадження сучасних схемотехнічних рішень, досягнень обчислювальної техніки та інформаційно-вимірювальних технологій, значна частина засобів контролю орієнтована на «ручний» спосіб сканування поверхні об'єктів контролю (ОК). Наявність людського фактора призводить до підвищення суб'єктивності контролю, зниження ймовірності прийняття правильних діагностичних рішень. Тому на практиці, навіть за наявності досконалих методик контролю, ручний спосіб не гарантує високої вірогідності контролю. Наявність у технологічному ланцюгу контролю людини-оператора значно підвищує вірогідність отримання помилкових рішень, що важко оцінити кількісно і що не дозволяє реалізувати у повному обсязі високі потенціальні можливості засобів НК. Негативний вплив людського фактора особливо відчутний в умовах серійного виробництва.

В той же час необхідність підвищення продуктивності та достовірності результатів контролю виробів зі складною геометрією та особливості ВСК – відсутність механічного контакту між ОК та вихрострумовим перетворювачем, малі розміри останнього, є необхідними і достатніми умовами, які дозволяють розглядати розроблення роботизованих системах ВСК як одне з актуальних завдань розвитку неруйнівного контролю.

Об’єкт дослідження – процес автоматизованого вихрострумового контролю виробів з металів.

Предмет дослідження – системи автоматизованого вихрострумового контролю виробів зі складною геометрією.

Метою дослідження є розроблення проекту роботизованої системи вихрострумового контролю виробів зі складною геометрією поверхні.

Методи дослідження – теоретичні дослідження процесу вихрострумового контролю і об’єкта контролю; модельні експерименти з питань опрацювання інформаційних сигналів; експериментальні дослідження прототипу маніпулятора; моделювання роботи окремих вузлів системи.

Наукова новизна отриманих результатів:

1) За результатами дослідження кінематики маніпулятора виявлено основні похибки позиціонування сканерів у автоматизованих системах вихрострумового контролю і запропоновано методи їх зменшення.

2) Запропоновано поєднання вихрострумового контролю і можливостей промислових маніпуляторів, що дозволяє реалізувати вихрострумий неруйнівний контроль в автоматичному режимі і зменшити на цій основі вплив людського фактору на результати контролю.

Проведено маркетинговий аналіз стартап-проекту щодо впровадження системи автоматизованого вихрострумового контролю для визначення можливості його просування на ринку та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

Практичне значення отриманих результатів. Практичне значення роботи полягає в:

1. Створенні алгоритму управління приводами сканера для стабілізації зазору між ВСП та поверхнею ОК в режимі контролю об'єктів плоскої форми за рахунок аналізу зворотної задачі кінематики.

2. Розробленні діючого макету 3-х координатного скануючого пристрою, який дозволяє виконувати відпрацювання системного та спеціального ПЗ для роботизованих систем ВСК.

3. Розробці програмного забезпечення для системи автоматизованого ВСК яке дає змогу здійснювати оперативне управління режимами збору даних, управління маніпулятором, відображення результатів у інтерактивному режимі.

4. Підтвердженні можливості використання 3D-принтерів для створення прототипів механічних сканерів зі складними кінематичними схемами що дозволяє суттєво зменшити час виконання досліджень на фізичних моделях системи.

1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1. Актуальність процесу автоматизації НК матеріалів та виробів

Досягнення високого рівня промислового розвитку країни є одним із першочергових завдань сьогодення. Відомо, що високий рівень промислового розвитку забезпечується як обсягами виробництва і широкою номенклатурою продукції, так і показниками її якості. У низці питань, пов'язаних із підвищенням якості та конкурентоспроможності продукції, важливе місце належить використанню на різних етапах виробництва об'єктивних фізичних методів неруйнівного контролю (НК) [1]. Їх використання стає ще більш актуальним в умовах інноваційного розвитку різних галузей виробництва, що ґрунтується на використанні новітніх досягнень фундаментальних і прикладних наук, широкому впровадженні нових конструкційних матеріалів, компонентів і прогресивних технологічних процесів.

Значні обсяги операцій НК у багатьох галузях промисловості неможливо забезпечити без часткової або повної автоматизації контрольних операцій. Одним із найбільш перспективних напрямів підвищення продуктивності та достовірності процесу НК конструкцій із феромагнітних і неферомагнітних металів зі складною геометрією є впровадження робототехнологічних систем вихрострумове автоматичного контролю, що забезпечують вирішення задачі зменшення впливу людського фактору на процес і результати контролю. Як відомо, неруйнівний вихрострумове контроль має такі переваги, як: відсутність фізичного контакту датчика з виробом, багатопараметровість, відсутність впливу параметрів оточуючого середовища на результати контролю, відсутність потреби в контактному середовищі (наприклад вода) і висока продуктивність.

Неруйнівний контроль виробів зі складною геометрією відрізняється високою складністю як траєкторії сканування, так і процедури розшифровки показань вихрострумове датчика. Наприклад, при виконанні низькочастотного вихрострумове контролю наявності дефектів оператор повинен ідентифікувати виявлені дефекти шляхом розділення їх на декілька класів:

зокрема, по глибині їх залягання на зовнішні і внутрішні відносно поверхні виробу, на якій вони зароджуються; оцінити глибину дефекту у відсотках від товщини виробу. При цьому оператор повинен абстрагуватися від завад, пов'язаних зі структурною неоднорідністю матеріалу виробу, сигнали від яких часто дуже схожі на сигнали від дефектів. В своєму розпорядженні оператор має тільки графічне зображення годографу у комплексній площині та сигнал у часовій розгортці.

Можна відзначити, що якість сигналу залежить від того наскільки точно оператор виконає сканування вихрострумовим датчиком. Зрозуміло, що достовірність вихрострумового контролю в значною мірою залежить від технічної підготовки, досвіду і емоційного стану оператора-дефектоскопіста. Дуже уповільнює процес ручного контролю також наявність складної геометрії виробу. Наприклад, при скануванні зони зварного шва використовуються три основні схеми сканування контрольованої зони, що мають охоплювати безпосередньо зону проплавлення зварного шва та дві прилеглі пришовні зони. В залежності від висоти валика підсилення використовують чи зигзагоподібний, чи поздовжній метод сканування. При зигзагоподібному методі потрібно один раз виконати операцію балансування вихрострумового датчика, а при поздовжньому – кожного разу. Помилка при проведенні сканування приведе до зниження достовірності результатів контролю. Застосування антропоморфного робота-маніпулятора, що може відтворити без помилок і з високою точністю скануючі рухи дефектоскопіста, дає змогу точно реалізувати необхідну траєкторію руху з максимальною швидкістю переміщення вихрострумового датчика, а використання сучасних обчислювальних засобів дозволяє безпомилково синхронізувати процес сканування і процедуру балансування датчиків. В свою чергу, реалізація алгоритмів оброблення даних з використанням елементів штучного інтелекту дозволяє формалізувати процедуру розшифровки годографів та сигналів з часовою розгорткою, що отримані від вихрострумових датчиків. Таким чином, що для підвищення

продуктивності та достовірності результатів контролю виробів зі складною геометрією потрібно забезпечити впровадження сучасних робототехнологічних систем автоматичного неруйнівного вихрострумовеого контролю.

У зв'язку з постійною і зростаючою потребою у більш досконалих засобах НК, розширенням сфери їх застосування в цій галузі не припиняється процес розроблення нових та удосконалення існуючих приладів та систем НК. На сьогодні ринок засобів НК насичений приладами різного призначення, що мають високі технічні характеристики. Незважаючи на впровадження сучасних схемотехнічних рішень, досягнень обчислювальної техніки та інформаційно-вимірjuвальних технологій, значна частина таких засобів орієнтована на «ручний» спосіб сканування поверхні об'єктів контролю (ОК). Наявність людського фактора приводить до підвищення суб'єктивності контролю, зниження ймовірності прийняття правильних діагностичних рішень. Тому на практиці, навіть за наявності найкращих методик контролю, ручний спосіб не гарантує досягнення високої вірогідності контролю. Наявність у технологічному ланцюгу контролю людини-оператора значно підвищує вірогідність отримання помилкових рішень, що важко оцінити кількісно і що не дозволяє реалізувати у повному обсязі високі потенціальні можливості засобів НК. Негативний вплив людського фактора особливо відчутний в умовах серійного виробництва.

1.2. Огляд промислових роботизованих систем

Сучасні промислові робота представляють собою універсальний пристрій, який має кілька осей рухливості та платформу для встановлення інструменту для здійснення необхідної операції. Поширеними промисловими роботами на виробництві є дистанційно керовані «механічні руки», які можуть бути закріплені на рухомій або нерухомій основі (рис. 1.1).

Різне застосування промислових роботів змушує виробників виготовляти роботів призначених для виконання конкретних завдань. Наприклад, для таких

операцій, як складання виробів на транспортери і піддони. Перевагою такого робота є реалізація простої кінематики, тому необхідна лише одна система управління для керування кількома роботами, відносно невеликі габаритні розміри, енергоекономічність і висока швидкодія. Модель антропоморфного робота яка має 4 керовані вісі на сьогоднішній день можна побачити у номенклатурі виробів таких компаній, як: KUKA, Columbia Machine, Möllers North America, Ouellette Machinery Systems, American-Newlong, Frain Industries і ін.

Роботи-зварювальники дозволяють економити виробничий час в кілька разів. Це досягається за рахунок модернізації зварювальної оснастки, що забезпечує швидкий цикл збірки конструкції.

Також велике значення має багатofункціональність таких роботів. Наприклад, можна зробити зварювання за допомогою зміни пальника або режимів зварювання без переустановлення деталі.

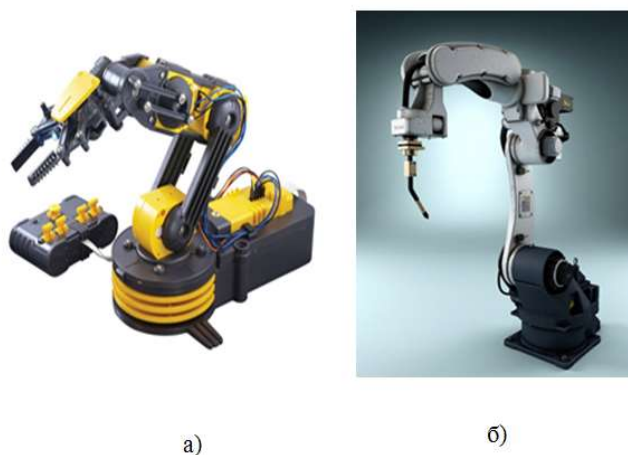


Рис. 1.1. Робот-маніпулятор OWI-535 і робот-зварювальник ТВ -1400

Існують також роботи для забарвлення і напилення. Конструкційна особливість даного типу роботів передбачає наявність герметичного зап'ястя, форма якого дозволяє використати чохол для захисту відповідальних вузлів системи від зовнішніх забруднювачів. Роботи для здійснення лакофарбових

робіт виготовляються фірмами Swamiali Automation, Yaskawa, Gridbots Technologies Private Limited, Kawasaki та ін.

Своєю особливою конструкцією виділяються дворукі складальні роботи. Вони відносно легкі і компактні, як правило оснащені двома основними маніпуляторами- «руками», здатними рухатися в семи площинах, а також додатковими маніпуляторами, які можуть збирати дрібні деталі. Такі роботи призначені для того, щоб працювати в безпосередній близькості з людьми, тому питанням безпеки в цьому разі відведено особливу увагу.

Важливе питання в процесі використання роботів у виробництві є їх програмування. Найчастіше програмувати робота за допомогою ручного навчання точок програмної траєкторії є занадто дорогим і технічно складним процесом, тому сьогодні багато компаній віддають перевагу системам автономного програмування.

Ця технологія дозволяє здійснювати моделювання руху в 3D-просторі для одного або декількох роботів, для подальшого використання для здійснення операцій фарбування, переміщення вантажів, зварювання. Цей етап необхідний для моделювання складних процесів коли вартість помилки дуже висока, а також як підготовчий етап (рис. 1.2).

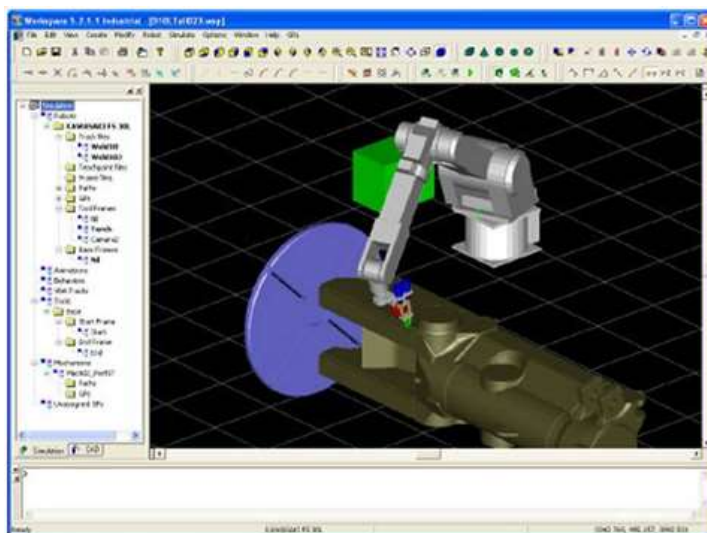


Рис. 1.2. Програмне забезпечення для промислових роботів

Важливим питанням в світі робототехніки є питання безпеки. Основні положення безпеки для промислових роботів із застосуванням у промисловості викладені у міжнародному стандарті ISO 10218 (Robots and robotic devices - Safety requirements for industrial robots), до якого також випущено додаток - «Роботи і робототехнічні пристрої. Вимоги безпеки для промислових роботів. Робототехнічні системи та інтеграція».

Серед промислових роботів виділяється продукція таких відомих фірм, як Kuka, Fanuc, Universal Robots та інші.



Рис. 1.3. Робот KUKA KR QUANTEC PA

KUKA KR QUANTEC PA - один з кращих роботів-палетоукладчиків на ринку. KUKA KR QUANTEC PA Arctic – одна з його модифікація, яка функціонує при екстремально низьких температурах (рис. 1.3). Він створений для роботи переважно в морозильних камерах, при температурах до -30°C . Електронні та механічні частини апарата не потребують захисту від морозу, снігу, інею, а також не виділяють зайвого тепла. Радіус дії маніпулятора модифікації Арктик, як і у стандартного KUKA KR QUANTEC PA, становить 3195 мм, а корисне навантаження - до 240 кг. Апарат ідеальний для застосування в харчовій промисловості і в умовах крайньої півночі. Крім складання штабелів з палетів, робот може виконувати і інші маніпуляції, адже точність його рухів, а точніше кажучи - стабільність повторюваності позиціонування, становить 0,06 мм.



Рис. 1.4. Робот FANUC M-2000iA/1200

FANUC M-2000iA / 1200 - п'ятиосевий вантажопідйомний робот піднімає до 1200 кг і переміщає цей вантаж на відстань до 3,7 м - ідеальний як навантажувач, оскільки працює без участі людини, що практично зводить до нуля небезпеку травматизму (рис. 1.4). Працює при температурах 0°C - +45°C. Стабільність повторюваності - 0,03 мм. Модельний ряд фірми FANUC містить багатий вибір для вирішення різних задач (рис.1.5).

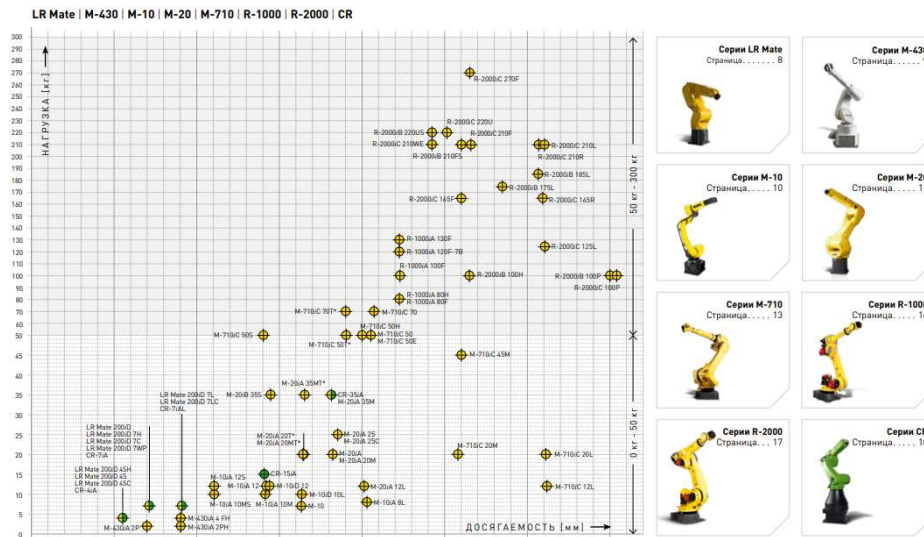


Рис. 1.5. Модельний ряд роботів FANUC

UR10 - найбільший з маніпуляторів Universal Robots і це колаборативний робот, простіше кажучи - він створений для роботи з іншим обладнанням і допомоги в роботі людині.

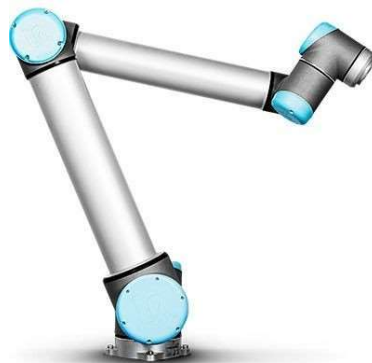


Рис. 1.6. Робот Universal Robots — UR10

Маніпулятор моделі UR10 має радіус дії 1,3 м і піднімає вантаж до 10 кг. Його можна використовувати з сільськогосподарським, фармацевтичним, технологічним і багатьма типами обладнання. Компактно розміщується на робочому місці людини, щоб стати йому "третьою рукою", легко програмується і швидко налаштовується (рис. 1.6).

UR10 вміє загвинчувати, клеїти, зварювати і паяти, виробляти ливарні і складальні роботи.

Роботи Universal Robots застосовані в проєкті Voodoo Manufacturing: Project Skywalker компанії Medium Corporation - це фабрика 3D-друку, багато операцій на якій виконують саме роботи-маніпулятори. Такі дії, як заміна платформ для друку, збір і складування готових виробів більше не вимагають невпинної уваги персоналу.

Особливо цікаві універсальні роботи, оскільки саме вони, в силу свого призначення, забезпечені найбільш адаптивними системами управління.



Рис. 1.7. Робот Baxter

Baxter - багатифункціональний робот з двома маніпуляторами і системами зворотного зв'язку та самонавчання (рис. 1.7).

Його 7-осьові маніпулятори здатні майже на все, на що здатна рука людини, крім того мають зворотний зв'язок і можуть контролювати зусилля, що докладаються. Це, плюс особливості дизайну, роблять Бакстера безпечним для живих робітників - його робоче місце не потребує огорожі, та й взагалі - місця він займає небагато, що суттєво економить простір в цеху. Пара Бакстерів здатна успішно працювати разом.

Бакстер цікавий ще й тим, що не вимагає ретельного детального програмування кожного свого дії - "вчити" його можна не тільки через інтуїтивно зрозуміле візуальний додаток, але і прямо на робочому місці - повторюючи показання руху він запам'ятовує їх і застосовує в подальшому.

Sawyer - "молодший брат" Бакстера - дивно компактний і легкий робот-маніпулятор, він важить всього 19 кілограм і може бути встановлений майже де завгодно, не займаючи при цьому багато місця.

Точність дій Соєра доходить до 0,1 мм, що дозволяє використовувати його в сотнях видів комплектувальних, складальних і інших конвеєрних робіт.

Обидва роботи легко перенавчати для виконання нових функцій навіть без застосування традиційного програмування і настільки ж просто переміщуються з одного робочого місця на інше.

Розглядаючи статистику застосування роботів по галузях, найбільша популярність користується автомобілебудуванням, в якому провідна позиція по роботизації галузі займає Японія, після чого йдуть Італія, Німеччина та США. Найбільшим попитом з точки зору застосування роботів у виробництві є вантажоперенесення (40%), зварювальні роботи (28%), робота в чистих приміщеннях (14%).

Згідно з прогнозами, в 2016 році планується продати близько 250 000 промислових роботів за даними даними Міжнародної федерації робототехніки. При цьому країни Азії закупають найбільшу їх частину (64%), потім йде Європа, на яку припадає близько 20% обсягу закупівель, і США, чия частка становить близько 16%. (Рис. 1.8)

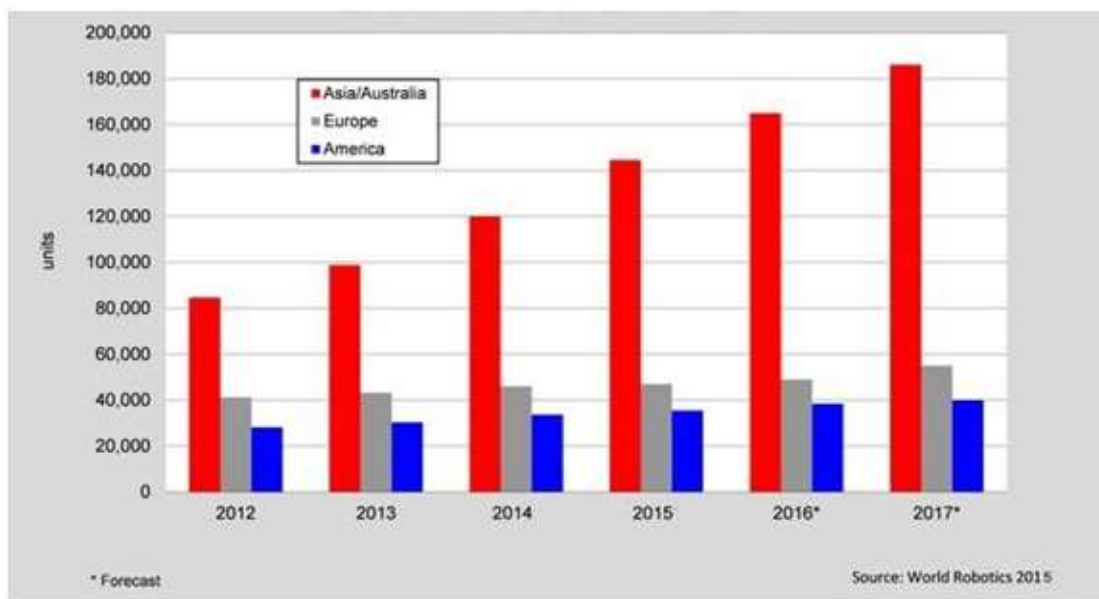


Рис. 1.8. Щорічні продажі промислових роботів в світі

Виходячи з спостережень збільшення продажів у сфері робототехніки, можна стверджувати про розширення сфери її використання. Розвиток промисловості мотивує виробників вдосконалювати технічні особливості

виготовляємої продукції, переходити на нові, більш легкі і в той же час більш якісні матеріали, застосовувати передові технології в розробках. Саме з такими особливостями володіють роботи - відносна простота у експлуатації, можливість виконання монотонних операцій, різнопланової роботи. Вони відрізняються високою стабільністю. Особливість таких систем полягає в тому, що при необхідності система легко перелаштовується для виконання іншого виду роботи [3].

Однією з головних галузей застосування роботів є літакобудування. Роботи відмінно підходять для таких повторюваних збірних операцій, як клепка, свердління, зварка та викладання композитних матеріалів. Також роботи беруть участь у автоматизації процесів підготовки поверхонь, фасонного фрезерування, фарбування, нанесення покриттів та неруйнівного контролю.

Компанія Spirit AeroSystems Inc. застосовує роботи в деяких виробничих процесах, таких як виготовлення фюзеляжа Boeing 787, Boeing 737, Cessna Columbus, пілонів і конструктивних елементів крил, компонентів реверса тяги, салону та кабіни Sikorsky CH-53K.

1.2.1. Класифікація промислових роботів

Здійснення класифікація промислових роботів має свої особливості. Розподіл здійснюється при науково обґрунтованому виборі ознак і подальшому розподіленні їх на класифікаційні групи (рис. 1.9).

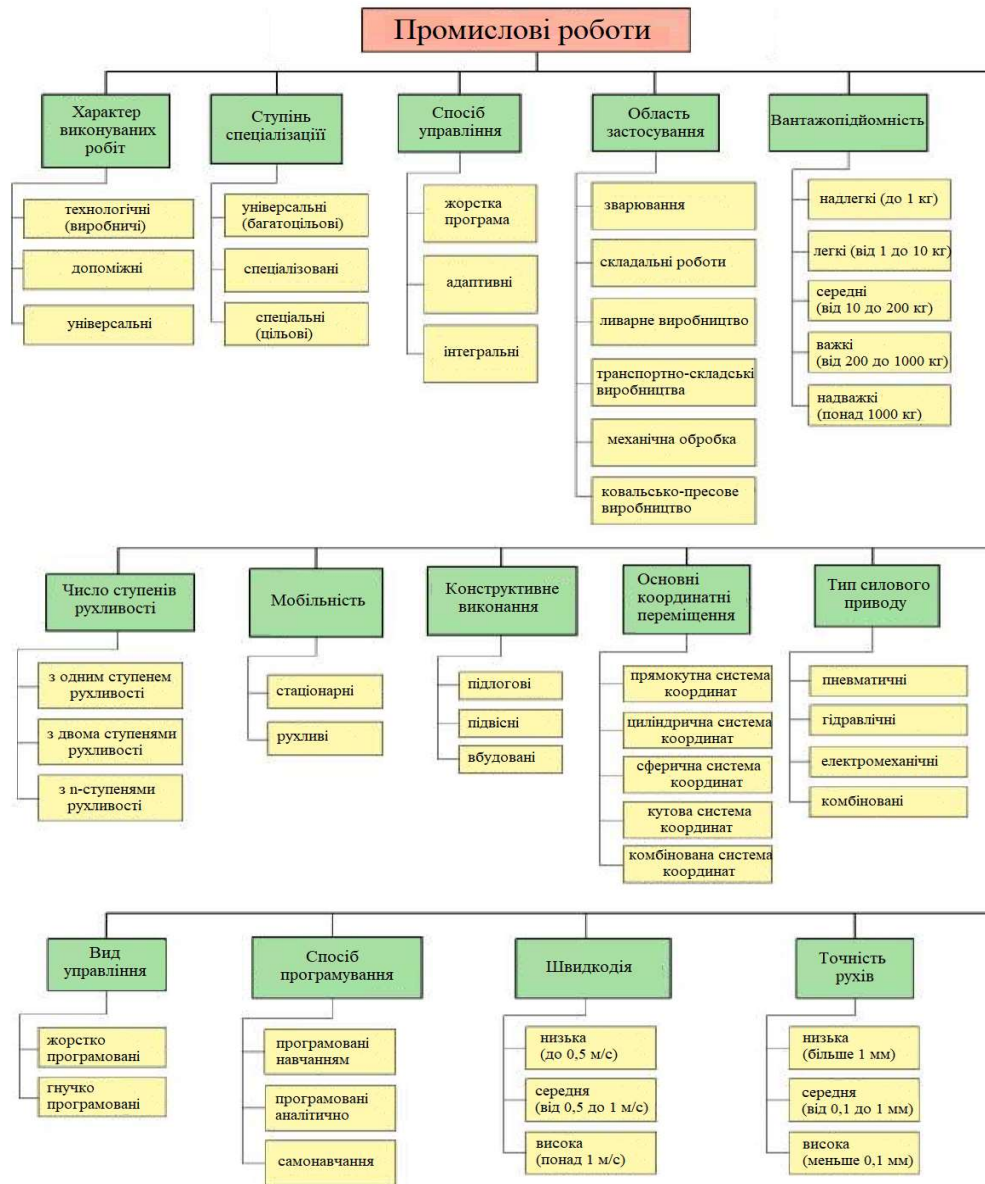


Рис. 1.9. Класифікаційні групи промислових роботів

Універсальні промислові роботи мають найширші технологічні можливості, що зумовлює їх кількісну перевагу над спеціальними і спеціалізованими. Спеціальні роботи розраховані на роботу (підйом, переміщення, опускання і т.д.) з однаковими деталями або виконання певної технологічної операції, а спеціалізовані - на роботу з конструктивно і технологічно подібними деталями чи виконання однотипних технологічних операцій (процесів).

Роботи які відносяться до першого покоління (із програмним керуванням) застосовують для: обслуговування пресів, зварювальних установок і машин, печей, верстатів; виконання основних технологічних процесів (збірки , вальцювання, різання, зварювання); вантажно-розвантажувальних і складських робіт. Роботи які відносяться до другого покоління мають у своєму складі чутливі пристрої (дотик, телевізійний зір), мають більш складні управляючий пристрої. Роботи третього покоління (інтегральні роботи) на відміну від роботів другого покоління обробляють інформацію, що отримується від «органів почуттів». Ці роботи застосовують для робіт, що вимагають розпізнавання образів (робота за кресленням), а також перебувають в складних і мінливих умовах.

За типом інформаційної системи їх підрозділяють на роботи з: пошуковою системою; відображенням зусиль; штучним зором; комбінованою інформаційною системою. Застосовують ці роботи для: складання і монтажу за принциповою схемою; виконання робіт, що вимагають інформації про зовнішній вигляд і властивості предметів (тріщини, забрудненість, колір і т.д.); робіт з неорієнтованими у просторі деталями довільної форми.

Залежно від призначення промислових роботів ознаками класифікації можуть бути тип приводу робочих органів, тип системи управління, число маніпуляторів (два - чотири і більше), ступінь гнучкості програми (рівень адаптації), тип робочої зони, спосіб завдання режиму роботи, тип інформаційної системи, тип виконання, швидкодія і т.д.

Всього в застосовуваних класифікаціях промислових роботів використовують до 20 ознак, а максимальне число ознак в одній класифікації 9-12. Практика показала, що таке число ознак класифікації промислових роботів порівняно повно і достовірно характеризує їх технічні та експлуатаційні особливості. Тому недоліки існуючих класифікацій промислових роботів криються не в кількісному складі ознак, а у відсутності єдиної науково обґрунтованої системи вибору ознак, послідовності і порядку включення їх в

класифікацію, формування відповідних їм класифікаційних підрозділів (класів, підкласів, груп та інших підрозділів промислових роботів), встановлення характеру і форм зв'язку між технічними параметрами і організаційно-економічними показниками представників класифікаційних груп.

Відсутність такої системи призвело до того, що створення класифікації зводиться до звичайного групування промислових роботів за деяким числом ознак без виділення по ним класифікаційних груп і без систематизації і аналізу технічних параметрів і економічних показників типових прогресивних промислових роботів. Подібне групування промислових роботів обмежує можливості класифікації і принижує важливу роль її в удосконаленні виробництва зварних конструкцій.

На сучасному етапі розвитку зварювальної робототехніки система класифікації промислових роботів повинна відповідати таким вимогам:

1. за мінімального числа ознак комплексно і найбільш повно характеризувати конструктивно-технологічні, експлуатаційні особливості промислових роботів і економічні показники, що досягаються при їх застосуванні;

2. ознаки класифікації промислових роботів повинні відображати не тільки досягнуті результати, а й перспективи розвитку роботів. До таких ознак можуть бути віднесені тип системи управління робота, що показує, з одного боку, рівень конструктивної досконалості (автоматизації) і експлуатаційні можливості їх в різних виробничих умовах, а з іншого, – перспективи розвитку роботів даного типу; вони позначаються, наприклад, на створенні високорозвинених адаптивних систем для контактного і дугового зварювання; систем управління виробничими комплексами, включаючи основне технологічне обладнання та промислові роботи першого покоління; в розробці алгоритму адаптивного групового керування роботами другого покоління.

1.2.3. Технічні характеристики промислових роботів

Технічні характеристики промислового робота згідно ГОСТ 25685-83 включають такі групи: номінальну вантажопідйомність, зону обслуговування роботом, робочу зону ПР, число ступенів рухливості, швидкість переміщення по ступенях рухливості, похибку позиціонування робочого органу, похибку відпрацювання траєкторії робочого органу (рис. 1.10).

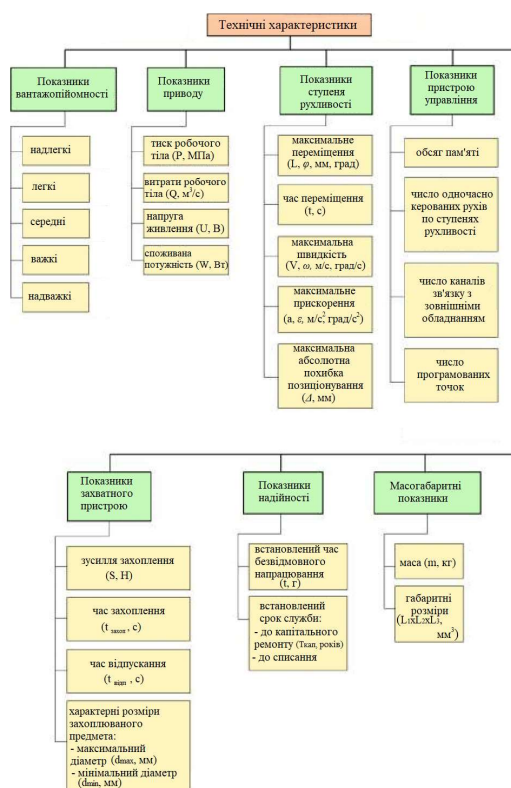


Рис. 1.10. Технічні характеристики промислових роботів

Вантажопідйомність ПР – це найбільше значення маси об'єктів маніпулювання, включаючи і масу робочого органу, яку може переміщувати "рука" робота за заданих умов. Для деяких типів промислових роботів важливим показником є зусилля (або крутний момент), що розвивається виконавчим механізмом. До числа таких показників можна віднести зусилля затиску об'єкта маніпулювання хватним пристроєм, робоче зусилля "руки" ПР вздовж поздовжньої осі.

Число ступенів рухливості ПР визначають як суму можливих координатних рухів його робочого органу або об'єкта маніпулювання щодо опорної системи. Для деяких типів ПР додатково враховують число ступенів рухливості захватного пристрою, рівне числу ступенів свободи всіх його ланок щодо вузла кріплення до "руки" робота.

Робоча зона ПР - це простір, в якому може перебувати робочий орган при його функціонуванні. Вона характеризується своїми формою (або видом) і об'ємом.

Похибка позиціонування, або відпрацювання траєкторії, - це відхилення фактичного стану (або траєкторії) робочого органу ПР від заданого програмою при багаторазовому позиціонуванні (повторення руху), яке оцінюється в лінійних або кутових одиницях.

Відносна похибка позиціонування - величина, що характеризує точність роботів з цикловим і позиційним керуванням і дорівнює відношенню абсолютної похибки позиціонування до максимальної відстані від осі найближчої до основи робота кінематичної пари до межі робочої зони, виражена у відсотках.

Існує багато технічних характеристик промислових роботів, однак, на практиці по відношенню до кожного конкретного механізму використовується лише невелика їх кількість, найбільш важливих у рамках передбачуваної сфери та завдань його застосування.

1.3. Огляд відомих автоматизованих систем ВСК

Розробленню автоматичних систем НК передували механізовані та напівавтоматичні системи, що певний час задовольняли потреби промисловості. В такі системи застосовувались не дуже складні лінійні маніпулятори, які забезпечували досить стабільне позиціонування [1]. Наприклад, для НК колісних пар вагонів застосовувався автоматизований комплекс «PELENG-AUTOMAT» (фірми «АЛТЕК», Росія), до складу якого входить модуль ВСК всієї поверхні

колеса і гальмівного диску (рис. 1.11). Механізована система ВСК труб середнього діаметру (від 1,75 до 38 дюймів) на основі *ChainXY*–сканера від фірми “*Olympus*” представлена на рис. 1.12. Застосування таких систем обмежується контролем деталей простої форм (пластин, труб тощо).

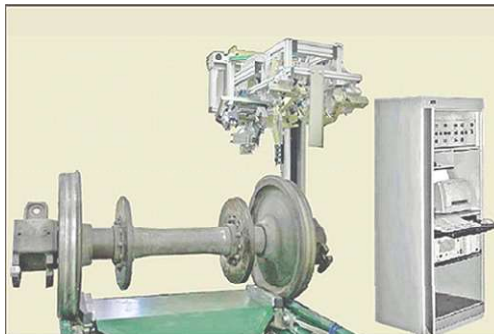


Рис. 1.11 – Автоматизований модуль системи вихрострумового контролю колісних пар залізничних вагонів “PELENG-AUTOMAT”



Рис. 1.12– Механізована система вихрострумового контролю труб.

Більшу гнучкість та продуктивність мають системи контролю з антропоморфними роботами-маніпуляторами (схожий на людську руку), що мають шість і більше ступенів свободи [4, 5]. Такі системи використовуються там, де потрібно забезпечити високу продуктивність, або виконувати контроль виробів зі складною геометрією.

Роботизовані системи НК можна умовно поділити на два класи: адаптивні і неадаптивні (рис. 1.13). Неадаптивні системи використовують для НК деталей та виробів з нескладною геометрією. Основним критерієм якості функціонування таких систем є їх продуктивність.

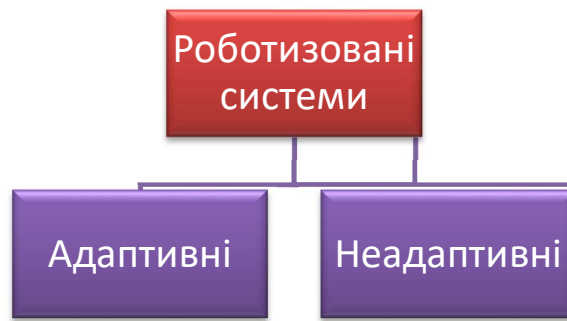


Рис.1.13. Види роботизованих систем

Ці системи призначені в основному для контролю невеликих деталей з незначною шорсткістю поверхні. Як приклад такого типу систем на рис.1.13а представлена роботизована система неруйнівного ВСК “EloScan-system”, яка призначена, головним чином, для перевірки симетричних обертаючих компонентів в літакобудуванні. Точність позиціонування ОК забезпечується як високою точністю виготовлення контрольованої деталі, так і використанням спеціального маніпулятора виробу типу «токарний патрон». Система має станцію обслуговування датчиків (рис. 1.14б), що дозволяє в процесі ВСК швидко змінювати їх і оперативно переналагоджуватися для контролю виробів з різною геометрією в залежності від завдання та виду поверхні зони контролю.

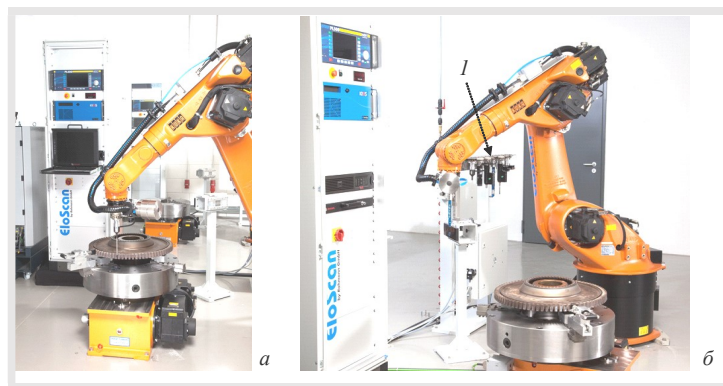


Рис.1.14. Система роботизованого ВСК деталей зі складною геометрією “EloScan-system”:

а – процес контролю; б – процес налаштування датчика; 1 – станція обслуговування датчиків

Адаптивні роботизовані системи використовують у випадках, коли необхідно виконувати НК габаритних деталей та виробів зі складною геометрією. Основним критерієм якості функціонування таких систем є вірогідність виявлення дефектів за заданого рівня продуктивності контролю. До складу систем може входити лазерно-телевізійний відеосенсор, ефективна робота якого забезпечується розсіяним відбиттям лазерного світла від контрольованих поверхонь. Представниками цього класу систем є роботизовані комплекси неруйнівного ВСК типу «Робоскоп ВТМ-3000» (фірма “*WorldNDT*”, Росія) [6], що зображені на рис. 1.14.

До складу цих систем входять два антропоморфні роботи, лазерно-телевізійний відеосенсор і станція обслуговування вихрострумів датчиків. Лазерно-телевізійний відеосенсор може використовуватися як в комплексі з ВСК для первинного вимірювання розмірів ОК або адаптації до реальних розмірів конкретного ОК, так і самостійно – як інструмент визначення і контролю геометричних параметрів виробу (рис. 1.15г).

Використання того чи іншого типу відеосенсора залежить як від необхідної точності отримуваних результатів вимірювань, так і від геометрії ОК. Для контролю габаритних виробів з плоскими поверхнями можна використовувати відеосенсор з більшим триангуляційним кутом. Відеосенсор з меншим триангуляційним кутом має значно менші габарити, тому його доцільно використовувати за наявності в геометрії ОК вузьких зон та значних заглибин.

Ефективне функціонування роботизованої системи ВСК пов'язано з правильним вибором вихрострумів датчиків (ВСП) з певного набору датчиків, необхідних для регламентного контролю виробу [11]. Для кожного типу ОК конструкції ВСП визначаються їх призначенням, умовами застосування, діапазоном частот струму збудження та іншими факторами. Розміри котушок ВСП обмежені знизу кількома міліметрами в діаметрі, а маса ВСП – десятками грамів (без урахування вузлів закріплення і переміщення ВСП та елементів інтерфейсу).

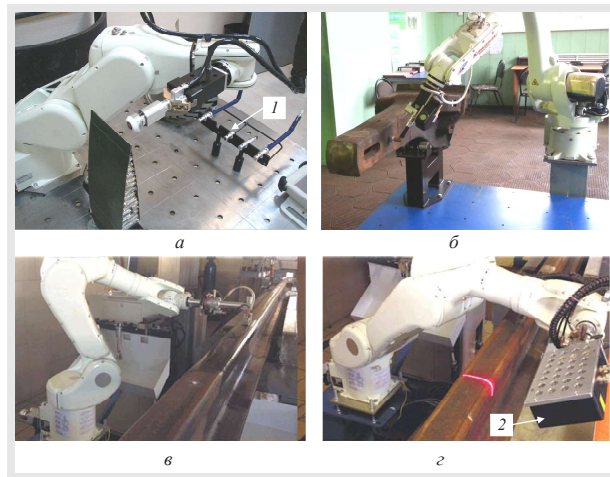


Рис. 1.15. Системи НК типу «Робоскоп ВТМ-3000» для ВСК: а – елементів крила літака; б – залізничного автозчепного пристрою; в – рейки залізничної колії; г – геометрії рейки;

1 – станція обслуговування датчиків; 2 – лазерно-телевізійний відеосенсор.

Окремо слід зупинитись на засобах ВСК. На сьогодні ринок насичений приладами різного призначення, в тому числі вихрострумовими дефектоскопами, які мають високі технічні характеристики. За умов ручного сканування достовірність результатів ВСК значною мірою залежить від підготовки, досвіду і емоційного стану оператора-дефектоскопіста. Проте їх використання в роботизованих системах НК обмежено декількома факторами. По-перше, відомі вихрострумові дефектоскопи від самого початку зорієнтовані на роботу з оператором, який приймає рішення за візуальним сигналом у виді годографа (рис. 1.16). Здебільшого такий годограф і передається до зовнішніх пристроїв, що створює певні незручності для використання таких сигналів в автоматизованих системах.

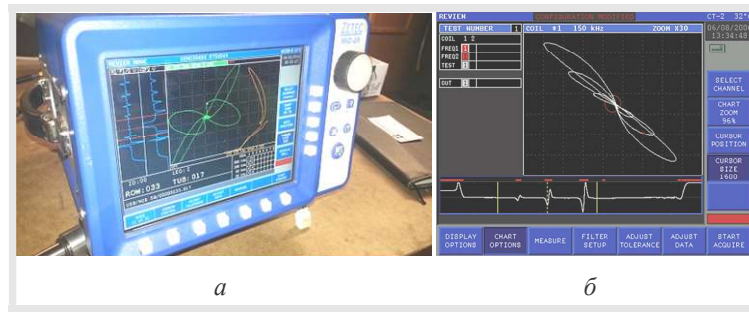


Рис. 1.16. Графічні зображення результатів неруйнівного вихрострумowego контролю в системах ручного сканування: а – переносна системи; б – стаціонарна комп'ютерна система

По-друге, такі прилади для розробника роботизованих систем НК уявляють собою «чорні скриньки» – процес вибору режиму контролю, калібрування, алгоритми опрацювання експериментальних даних в цілому «прихований» від користувача, що ускладнює інтеграцію таких пристроїв в системи автоматизованого контролю.

По-третє, опрацювання сигналів ВСП ґрунтується на аналізі амплітудних характеристик сигналів. Використання фазових методів має допоміжний характер і може бути спрямовано, наприклад, на підвищення селективності контролю [7]. В той же час аналіз фазових характеристик сигналів ВСП включаючи їх статистичне опрацювання та визначення кругових статистик [8] дозволить виділити додаткову інформацію, використати нові для ВСК діагностичні ознаки, що створить передумови для розширення функціональних можливостей ВСК, підвищення розрізняювальної здатності вихрострумовой дефектоскопії, введення в практику ВСК нових характеристик.

1.4. Формування вимог до прототипу автоматизованої системи ВСК виробів деталей зі складною геометрією

Формування вимог до прототипу автоматизованої системи ВСК виробів деталей зі складною геометрією здійснено на основі розподілу основних функцій

системи між її апаратною і програмною частинами. Розподіл основних функцій системи представлено в табл.1.1.

Табл. 1.1. Розділення функцій автоматизованої системи

<i>Апаратна частина системи</i>	<i>Програмна частина системи</i>
Цифровий синтез вимірювального і опорного сигналів	Управління параметрами вимірювального та опорного сигналів (амплітуда, частота, фазовий зсув)
Сканування поверхні ОК ВСП	Управління переміщенням ВСП
Збудження вихрових струмів в ОК	Збереження результатів контролю та формування протоколу контролю
Отримання вихідного сигналу ВСП	Візуалізація результатів контролю та параметрів поточного режиму
Попереднє опрацювання сигналів ВСП (підсилення, фільтрація)	Цифрова обробка сигналів (фільтрація, дискретне перетворення Гільберта)
Аналого-цифрове перетворення сигналів ВСП	Підтримка інтерактивного режиму роботи

Функціональні можливості запропонованої системи можуть розширюватися за рахунок нарощування програмної частини системи, реалізації різних методів опрацювання даних вихрострумів контролю (амплітудного, фазового, методу проєкцій), що дозволяє здійснювати контроль різних параметрів та характеристик ОК - електропровідності та магнітної проникності матеріалів, геометричних параметрів ОК, виявляти дефекти (порушення суцільності, поверхневі та підповерхневі дефекти) без суттєвих змін апаратної частини системи.

1.5. Аналіз похибки позиціонування ВСП

Похибка позиціонування виникає за рахунок помилки відпрацювання приводами системи програмних значень координат, які відповідають заданому положенню сенсора.

Нехай дійсні значення координат сенсора відрізняються від програмних на величину Δq_i , де i – номер координати. Якщо з сенсором зв'язати декартову прямокутну систему координат, то його задане (програмне) положення $X_n Y_n Z_n$ буде відрізнятися від дійсного її положення $X_d Y_d Z_d$ на величину

$$\Delta r = \sqrt{(X_n - X_{.d})^2 + (Y_n - Y_{.d})^2 + (Z_n - Z_{.d})^2} = \sqrt{\Delta q_1^2 + \Delta q_2^2 + \Delta q_3^2} \quad (1.1)$$

Величину Δr називають лінійною помилкою позиціонування, а кут поворота φ , на який слід повернути систему $X_n Y_n Z_n$, щоб зробити її осі паралельними відповідним осях системи $X_d Y_d Z_d$, називають кутовою помилкою позиціонування. Такий поворот завжди можливий на основі відомої теореми Ейлера-Даламбера [9, 10]. Радіус-вектор \vec{r} довільної точки сенсора можна записати у вигляді:

$$\vec{r} = r(q_i), i = 1..n, \quad (1.2)$$

де n – кількість рухомих ступенів свободи.

Проінтегрувавши вираз (1.2) по координатах q_i , отримаємо наступний вираз:

$$dr = \sum_{i=1}^n \frac{\partial r}{\partial q_i} dq_i \quad (1.3)$$

Якщо замінити диференціали у виразі (1.3) кінцевими приростами, можна визначити лінійну похибку позиціонування сенсора Δr :

$$\Delta r = \sum_{j=1}^p \Delta \varphi_j \bar{e}_j + \sum_{i=1}^s \Delta S_i \bar{e}_i \quad (1.4)$$

$\Delta \varphi$ та ΔS – похибки у поступальних і обертальних парах механізму позиціонування;

p – кількість обертових пар; s – кількість поступальних пар;

\bar{e} – орти обертових і поступальних пар у механізмі позиціонування.

Кутова похибка положення твердого тіла може бути визначена матрицею похибок [9], що представляє собою матрицю переходу від системи $X_d Y_d Z_d$ до системі $X_n Y_n Z_n$ за допомогою повороту на три кути Ейлера, які вважаються

малими. Оскільки така матриця містить значення трьох кутів Ейлера, то вона не дозволяє виразити кутову похибку однією величиною. Внаслідок цього необхідно знайти векторну формулу для кутової похибки положення сенсора.

Нехай лінійна і кутова похибки сенсора малі. Тоді на підставі відомого правила додавання малих поворотів твердого тіла [2] можна записати вираз:

$$\Delta\varphi = \sum_{i=1}^s \Delta q_i = \sum_{j=1}^p \Delta q_j \bar{e}_j. \quad (1.5)$$

Лінійну похибку позиціонування сенсору найзручніше визначати за формулою (4), яка не містить операції диференціювання. В цьому випадку лінійна похибка положення центру мас сенсора Δr_C визначається як

$$\Delta r_C = \Delta\varphi_1(\bar{e}_1 \times \bar{r}_{1C}) + \Delta S_1 \bar{e}_1 + \Delta\varphi_2(\bar{e}_2 \times \bar{r}_{2C}) + \Delta S_2 \bar{e}_2 + \dots \quad (1.6)$$

Виходячи з того що центр мас С знаходиться на вісі обертання сенсора на маніпуляторі, модуль лінійної похибки визначається як

$$\Delta r_C = \sqrt{\Delta r_{Cx}^2 + \Delta r_{Cy}^2 + \Delta r_{Cz}^2}, \quad (1.7)$$

де $\Delta r_{Cx}, \Delta r_{Cy}, \Delta r_{Cz}$ – проекції вектора лінійної похибки Δr_C на вісі декартової системи координат координат.

Висновки до розділу 1

1. В даному розділі проведено загальний огляд промислових роботів, їх характеристики, переваги та недоліки.
2. Проаналізовані існуючі системи для здійснення автоматизованого вихрострумowego неруйнівного контролю.
3. Проаналізовані похибки позиціонування вихрострумowych перетворювачів к системах автоматизованого контролю.

2. Розробка структурної схеми та її елементів

2.1. Обґрунтування структурної схеми системи

Загальна структура системи автоматизованого ВСК наведена на рис.2.1



Рис.2.1. Структура системи автоматизованого вихрострумовеого контролю

Для отримання вимірювальних сигналів від ВСП було запропоновано використовувати модуль АЦП. Для дослідження була розроблена структура (рис. 2.2) дослідної системи отримання інформаційного сигналу ВСП.

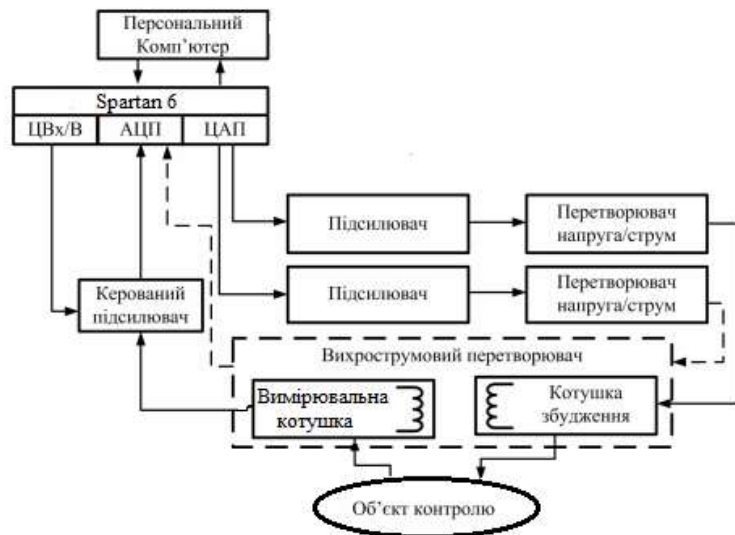


Рис. 2.2. Структурна схема отримання інформаційних сигналів

Сам сканер представляє собою маніпулятор із закріпленим вихрострумвим перетворювачем. Маніпулятор на якому закріплений ВСП представляє собою кінематична ланцюг, утворений паралельним, послідовним або послідовно-паралельним з'єднанням тіл, що називаються кінематичними ланками, і призначені для перетворення руху вхідних ланок в потрібний

(заданий) рух схвату. Кінематичні ланки з'єднуються один з одним рухливо за допомогою кінематичних пар.

В основі маніпулятора є кінематичний ланцюг має дві кінцеві ланки: одна з них буде основою (нульовий номер), а інша кінцева ланка обладнується схватом. У випадку послідовного з'єднання ланок маніпулятора, кінцевій ланці присвоюється останній n-й номер.

Маніпулятор може бути створений як на основі розімкнутого кінематичного ланцюга (рис. 2.3) з послідовним з'єднанням ланок (антропоморфні людиноподібні роботи), так і на основі замкненого кінематичного ланцюга з послідовно-паралельним або паралельним з'єднанням (рис. 2.4) ланок (роботи з паралельною кінематикою, зокрема гексапод на основі платформи Стюарта).

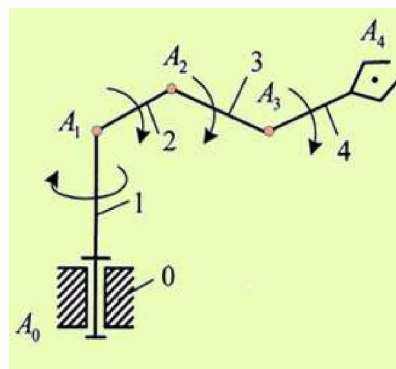


Рис. 2.3. Маніпулятор із розімкненим кінематичним ланцюгом

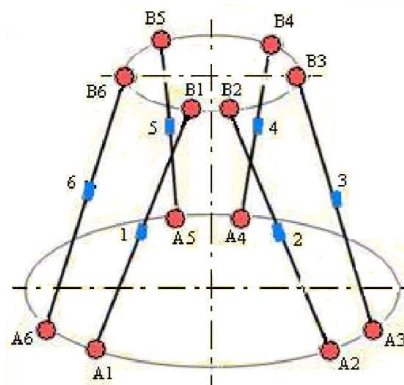


Рис. 2.4. Маніпулятор з паралельною кінематикою

2.2. Розрахунок системи ВСП-ОК

Виконаємо електричний розрахунок накладного трансформаторного вихрострумowego перетворювача, який дозволить оцінити діапазон зміни електричних параметрів вихідних сигналів, що необхідно для обґрунтування вимог до підсистеми опрацювання цих сигналів.

Для вибору режиму контролю (робочої частоти) скористаємося поняттям комплексної чутливості ВСП \dot{S}_p^* до контрольованого параметра p (у нашому випадку електропровідності) яка залежить нелінійно від p .

В загальному випадку маємо

$$\dot{S}_p^* = \frac{\delta \dot{U}_{\text{ВН}}^*}{\delta p^*} = \frac{\delta \dot{U}_{\text{ВН}}^*}{\delta p} p_0 = \frac{p_0}{E_0} \cdot \frac{\delta \dot{U}_{\text{ВН}}^*}{\delta p} = \frac{p_0}{E_0} \cdot \dot{S}_p, \quad (2.1)$$

де $p^* = \frac{p}{p_0}$ – відносне значення параметра p ;

$\dot{U}_{\text{ВН}}^*$ – відносна внесена напруга;

E_0 – початкове значення електрорушійної сили ВСП.

Для спрощення подальших розрахунків скористаємося годографом комплексної чутливості накладного ВСП до зміни електропровідності матеріалу ОК σ (рис. 2.4) і виберемо узагальнений параметр β , за якого реалізується найбільш сприятливий режим контролю. Вибір цього годографа пояснюється тим, що дія підповерхневих і поверхневих дефектів на сигнали ВСП аналогічна зменшенню електропровідності матеріалу ОК. [14]

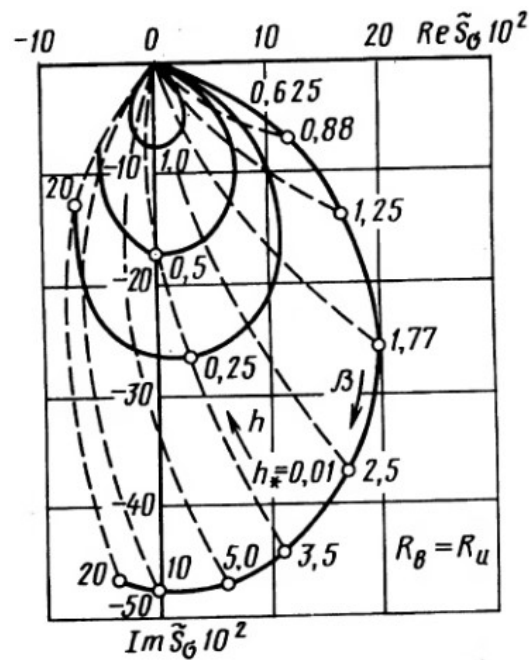


Рис. 2.5. Годограф комплексної чутливості накладного ВСП до зміни електропровідності

Із рис. 2.5 видно, що максимум чутливості $\dot{S}_{\sigma max}^*$ накладного ВСП досягається при наступних значеннях узагальненого параметра:

$$3,5 \leq \beta \leq 10 \quad (2.2)$$

Виберемо значення узагальненого параметра $\beta \cong 3,5$.

Діаметр збуджуючої обмотки виберемо виходячи з наступної умови:

$$R_{cp} \leq 0,1 \cdot R_{ок}, \quad (2.3)$$

де R_{cp} – середній радіус збуджуючої обмотки ВСП;

$R_{ок}$ – радіус кривизни ОК.

Із вихідних даних $D_{ок} = 200$ мм, тоді

$$D_{cp} = 20 \text{ мм}$$

Визначимо аксіальну довжину L котушки із наступної умови:

$$0,15 < \frac{L}{D_{cp}} < 0,3 \quad (2.4)$$

Тоді

$$L = D_{cp} \cdot 0,2 \quad (2.5)$$

$$L = 20 \cdot 0,2 = 4 \text{ мм}$$

Виберемо діаметр проводу збуджуючої котушки з умови:

$$0,1 \leq d_1 \leq 0,8 \text{ мм} \quad (2.6)$$

Тоді

$$d_1 = 0,1 \text{ мм}$$

Виберемо кількість витків збуджуючої котушки з умови:

$$10 \leq W_1 \leq 50 \quad (2.7)$$

Тоді

$$W_1 = 40 \text{ витків}$$

Розрахуємо струм збудження I з умови відсутності значного перегріву котушки:

$$I = (0,85 \div 0,9) \cdot I_{\text{пр}} \quad (2.8)$$

$$I_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{\lambda \cdot S_{\text{охл}} [\theta]_{\text{д}}}{R}} \quad (2.9)$$

де $\lambda = (8 \div 12) \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$ – коефіцієнт теплопередачі;

$S_{\text{охл}}$ – площа поверхні охолодження котушки;

$[\theta]_{\text{д}}$ – допустима температура перегріву;

$R = \frac{4 \cdot \rho \cdot W_1 \cdot D_{\text{ср}}}{d_1^2}$ – активний електричний опір котушки,

ρ – питомий електричний опір міді – матеріалу, з якого виготовлено дріт,

$$\rho = 0,0175 \text{ Ом} \frac{\text{мм}^2}{\text{м}}$$

Розрахуємо опір котушки:

$$R = \frac{4 \cdot 0,0175 \cdot 40 \cdot 20 \cdot 10^{-3}}{0,1^2} = 5,6 \text{ Ом}$$

Знайдемо орієнтовну площу охолодження котушки:

$$S_{\text{охл}} = 2\pi \frac{D_{\text{ср}}}{2} \left(L + \frac{D_{\text{ср}}}{2} \right) \quad (2.10)$$

$$S_{\text{охл}} = 2 \cdot 3,14 \cdot 10 \cdot (4 + 10) = 879,2 \text{ мм}^2$$

Тоді максимальний струм через котушку дорівнюватиме

$$I_{\text{пр}} = \sqrt{\frac{10 \cdot 879,2 \cdot 10^{-6} \cdot 5}{5,6}} = 88,6 \text{ мА.}$$

Вибираємо силу струму рівною

$$I = 0,9 \cdot 88,6 = 79,74 \text{ мА.}$$

Виберемо діаметр проводу вимірювальної котушки з умови:

$$0,02 \leq d_2 \leq 0,1 \text{ мм} \quad (2.11)$$

Тоді

$$d_1 = 0,1 \text{ мм}$$

Виберемо кількість витків вимірювальної котушки з умови:

$$50 \leq W_2 \leq 100 \text{ витків} \quad (2.12)$$

Тоді

$$W_2 = 100 \text{ витків}$$

Розрахуємо частоту струму збудження за наступною формулою:

$$f = \frac{2 \cdot \beta_{\text{ср}}^2}{D_{\text{ср}}^2 \cdot \pi \cdot \gamma \cdot \mu_0}, \quad (2.13)$$

де γ – питома електропровідність матеріалу;

μ_0 – магнітна стала, $4\pi \cdot 10^{-7} \frac{\text{Гн}}{\text{м}}$;

β – узагальнений параметр;

$$f = \frac{2 \cdot 3,5^2}{(20 \cdot 10^{-3})^2 \cdot 3,14 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7}} = 443 \text{ Гц}$$

Визначимо глибину проникнення вихрових струмів за наступною формулою:

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{\omega \cdot \gamma \cdot \mu_0}} \quad (2.14)$$

Тоді

$$\delta = \sqrt{\frac{2}{2 \cdot 3,14 \cdot 443 \cdot 35 \cdot 10^6 \cdot 4 \cdot \pi \cdot 10^{-7}}} = 4,47 \text{ мм}$$

Визначимо напругу холостого ходу:

$$U_{x.x.} = 1,35 \cdot \omega \cdot \mu \cdot \mu_0 \cdot W_1 \cdot W_2 \cdot (m - 0,3) \cdot I \cdot \sqrt{D_{cp1} \cdot D_{cp2}} \quad (2.15)$$

$$m = \frac{D_{cp1}}{D_{cp2}} \quad (2.16)$$

Із формули 2.16 отримуємо

$$m = \frac{20}{20} = 1$$

Тоді значення холостого ходу дорівнює

$$U_{x.x.} = 1,35 \cdot 2 \cdot 3,14 \cdot 600 \cdot 443 \cdot 4 \cdot 3,14 \cdot 10^{-7} \cdot 40 \cdot 100 \cdot (1 - 0,3) \cdot 2,85 \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{(20 \cdot 10^{-3})^2} = 450 \text{ мВ}$$

Абсолютне значення внесеної напруги визначається за виразом

$$U_{BH} = U_{x.x.} (Re(U_{BH}^*) + j Im(U_{BH}^*)) \cdot e^{-3 \cdot \xi}, \quad (2.17)$$

де $\xi = \frac{(h_1 + h_2)}{D_e}$ – відносна відстань між ОК і котушками ВСП.

Оцінювання відносної внесеної напруги здійснимо за годографом [1], представленим на рис. 2.6.

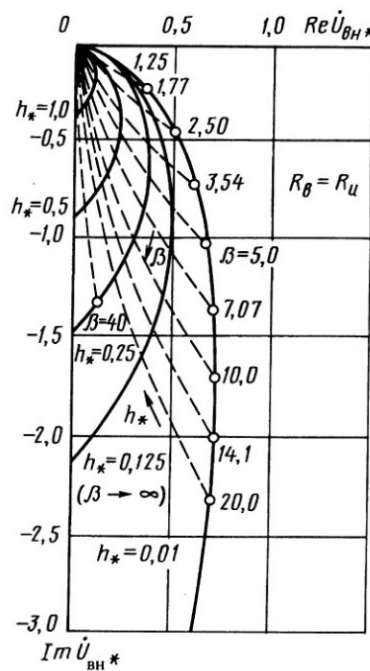


Рис. 2.6. Годограф внесених напруг у разі контролю ОК накладним ВСП

За годографом рис.2.6 визначимо внесені напруги:

$$Re(U_{\text{ВН}}^*) = 0,625 \quad Im(U_{\text{ВН}}^*) = -0,625$$

За годографом рис.2.6 для

$$D_e = D_{\text{сп1}} + 1,5 \cdot h_1, \quad (2.17)$$

$$D_e = 20 + 1,5 \cdot 0,2 = 20,3 \text{ мм},$$

$$\xi = \frac{(0,2 + 4)}{20,3} = 0,207$$

визначимо:

$$Re(U_{\text{ВН}}^*) = 0,625 \quad Im(U_{\text{ВН}}^*) = -0,625.$$

Тоді отримуємо:

$$U_{\text{ВН}} = 0,45 \cdot (0,625 - j 0,625) \cdot e^{-3 \cdot 0,207} = 0,25 - 0,25j \text{ мВ}.$$

В режимі холостого ходу (за відсутності ОК) амплітудне значення вихідної напруги ВСП становить

$$E_0 = jU_{\text{х.х.}} e^{-\frac{3c}{D_1}}. \quad (2.18)$$

Для обраних конструктивних параметрів ВСП маємо

$$c = h_2 - h_1 \quad (2.19)$$

$$c = 4 - 0,2 = 3,8 \text{ мм},$$

$$E_0 = j0,75 \cdot 10^{-3} e^{-\frac{3 \cdot 3,8}{20 \cdot 10^{-3}}} = 0,75j \text{ мВ}.$$

Амплітудне значення вихідної напруги ВСП в режимі контролю та за відсутності дефекту ОК становить

$$U_{\text{Вих}} = E_0 + U_{\text{ВН}}, \quad (2.20)$$

$$U_{\text{Вих}} = 0,75j + 0,25 - 0,25j = 0,15 + 0,75j \text{ мВ}.$$

Отримані орієнтовні параметри вихідних сигналів ВСП дозволяють обґрунтувати вимоги до коефіцієнту підсилення та смуги частот вимірювального каналу вихрострумове дефектоскопу.

2.3. Розрахунок кінематичної схеми маніпулятора

2.3.1. Розрахунок і аналіз прямої кінематики маніпулятора

Розрахунок прямої задача зазвичай багаторазово використовується при проектуванні маніпулятора.[13] На цій основі можна визначати характеристики робочої зони маніпулятора зі складною кінематичною схемою за наявності обмежень на узагальнені координати, визначати характеристики точності, наприклад, похибки положення і орієнтації ВСП, які обумовлені або неточним виготовленням ланок маніпулятора, або неточностями опрацювання тієї чи іншої координати.

Існує безліч методів вирішення цієї задачі, які мають свої переваги і недоліки. Вибір того чи іншого методу пов'язаний, як правило, зі специфікою розв'язуваної задачі і особливостями конструкції маніпулятора.

Нижче на рис. 2.7 та 2.8 наведені відповідно схематичне зображення кінематики маніпулятора та проекція кінематики на вісь OzOy, необхідні для проведення подальшого аналізу та розроблення методики розрахунку кінематичної схеми маніпулятора.

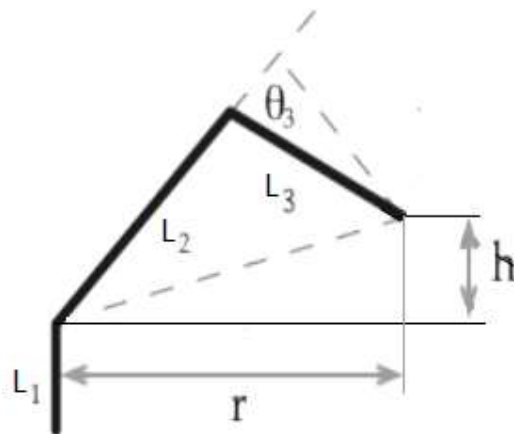


Рис.2.7. Схематичне зображення кінематики маніпулятора

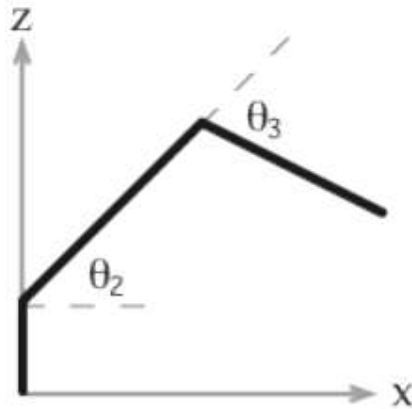


Рис. 2.8. Проекція кінематики на вісь OzOy

Поточні координати положення ВСП у декартовій системі координат визначає наступна система рівнянь:

$$\begin{cases} X = (L_2 \cdot \cos \theta_2 + L_3 \cdot \cos(\theta_3 - \theta_2)) \cdot \cos \theta_1 \\ Y = (L_2 \cdot \cos \theta_2 + L_3 \cdot \cos(\theta_3 - \theta_2)) \cdot \sin \theta_1 \\ Z = L_1 + L_2 \cdot \sin \theta_2 - L_3 \cdot \sin(\theta_3 - \theta_2) \end{cases} \quad (2.21)$$

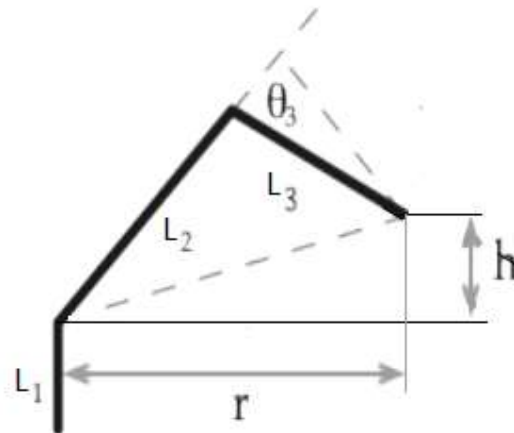


Рис. 2.9. Схематичне зображення положення схвату маніпулятора

Із рис. 2.9 знайдемо положення схвату відносно робочої зони робота-маніпулятора:

$$h = z - L_1 = L_2 \cdot \sin \theta_2 - L_3 \cdot \sin(\theta_3 - \theta_2) \quad (2.22)$$

$$r = \sqrt{X^2 + Y^2} = L_2 \cdot \cos \theta_2 + L_3 \cdot \cos(\theta_3 - \theta_2) \quad (2.23)$$

За допомогою математичного пакету MatLab промодельовано вирішення прямої задачі кінематики з умови вхідних даних руху ланок, час моделювання 1 с, крок моделювання 0,01 секунда.

Графіки залежностей узагальнених координат від часу представлені на рис. 2.10.

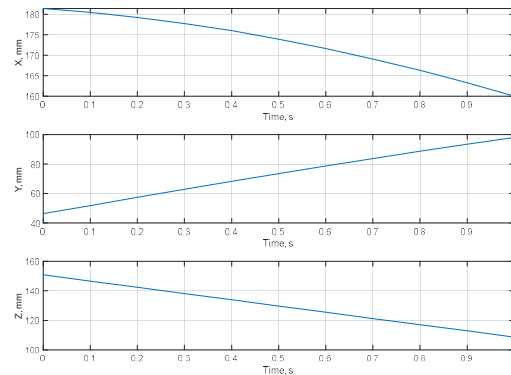


Рис. 2.10. Графіки залежностей узагальнених координат від часу

Графіки зміни узагальнених координат дають змогу відображення переміщення ланок робота у просторі, а також вони є основою для дослідження задач динаміки, тобто аналізу швидкостей та прискорень кожної ланки. Це впливає із диференціювання системи рівнянь (2.21).

2.3.2. Розрахунок і аналіз зворотної кінематики маніпулятора

Зворотна задача кінематики полягає у визначенні значень трьох узагальнених координат робочого органу з метою привести виконавчий механізм в такий стан, в якому захоплення матиме положення і орієнтацію відповідної заданої позиції. [14]

Для коректного розв'язання задачі необхідно враховувати робочий простір робота. Робоча зона робота-маніпулятора визначається як множина всіх точок в тривимірному просторі, яких може досягти робочий орган (в нашому випадку – ВСП). Іншими словами, це множина точок, які є досяжними для точки P , розташованої в центрі на осі робочого органу. У загальному випадку робочий простір робота являє собою поверхню, яка називається оболонкою робота, яку складно описати геометрично. Знання меж оболонки робота дозволяє судити про виробничу ефективності і можливості робота.

Для розв'язання зворотної задачі введемо спрощення:

$$s_1 \rightarrow \sin \theta_1$$

$$c_1 \rightarrow \cos \theta_2$$

$$s_{3-2} \rightarrow \sin(\theta_3 - \theta_2)$$

$$c_{3-2} \rightarrow \cos(\theta_3 - \theta_2)$$

Підставимо ці значення у рівняння (2.22, 2.23)

$$r = L_2 \cdot c_2 + L_3 \cdot c_{3-2} \quad (2.24)$$

$$h = L_2 \cdot s_2 - L_3 \cdot s_{3-2} \quad (2.25)$$

Прирівняємо значення узагальнених координат із системи рівнянь (2.21) до рівнянь (2.22, 2.23)

$$X^2 + Y^2 + (Z - L_1)^2 = r^2 + h^2 \quad (2.26)$$

Підставимо значення узагальнених координат в рівняння (2.26)

$$\begin{aligned}
r^2 + h^2 &= L_2^2 \cdot c_2^2 + L_3^2 \cdot c_{3-2}^2 + 2 \cdot L_2 \cdot L_3 \cdot c_2 \cdot [c_3 \cdot c_3 + s_3 \cdot s_2] + L_2^2 \cdot s_2^2 + L_3^2 \cdot \\
s_{3-2}^2 - 2 \cdot L_2 \cdot L_3 \cdot s_2 \cdot [s_3 \cdot c_2 - c_3 \cdot s_2] &= L_2^2 \cdot L_3^2 + 2 \cdot L_2 \cdot L_3 \cdot [c_2^2 \cdot c_3 + s_2^2 \cdot c_3] = \\
&= L_2^2 + L_3^2 + 2 \cdot L_2 \cdot L_3 \cdot c_3 \quad (2.27)
\end{aligned}$$

Розв'яжемо рівняння (2.26) відносно c_3 :

$$c_3 = \frac{x^2 + y^2 + (z - L_1)^2 - L_2^2 - L_3^2}{2 \cdot L_2 \cdot L_3} \quad (2.28)$$

При вирішенні зворотної задачі виникає проблема положення плеча, або «зверху», або «знизу». Це впливає на значення вибраних кутів (2.29) або (2.30) від цього залежить подальший розрахунок. Для даного варіанту приймемо значення коли плече знаходиться зверху і в подальшому використаємо формулу (2.29).

$$s_3 = +\sqrt{1 - c_3^2} \quad (2.29)$$

$$s_3 = -\sqrt{1 - c_3^2} \quad (2.30)$$

Тоді значення кута повороту для платформи робота розраховується як

$$\theta_3 = \text{atan2}(s_3, c_3) \quad (2.31)$$

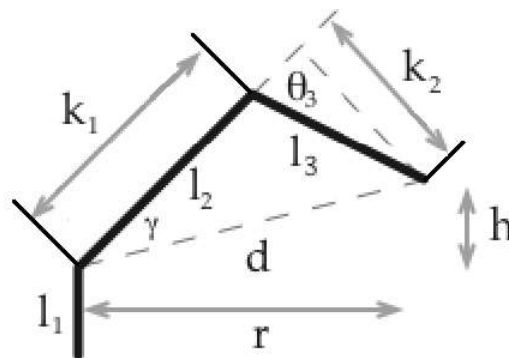


Рис. 2.11. Схематичне зображення кінематики робота із спрощеннями

Із рис. 2.11 при проєціюванні на вісь отримаємо

$$k_1 = L_2 + L_3 c_3 \quad (2.32)$$

$$k_2 = L_3 s_3 \quad (2.33)$$

Відстань від бази робота до положення робочого органу визначається як

$$d = +\sqrt{k_1^2 + k_2^2} \quad (2.34)$$

Тоді кут між проекціями плечей робота:

$$\gamma = \text{atan2}(k_2, k_1) \quad (2.35)$$

Знайдемо довжини плеч із формул (2.34) та (2.35)

$$k_1 = d \cos \gamma \quad (2.36)$$

$$k_2 = d \sin \gamma \quad (2.37)$$

Отримані значення підставимо у формули (2.24) та (2.25)

$$r = d \cos \gamma \cos \theta_2 + d \sin \gamma \sin \theta_2 = d \cos(\theta_2 - \gamma) \quad (2.38)$$

$$h = d \cos \gamma \sin \theta_2 - d \sin \gamma \cos \theta_2 = d \sin(\theta_2 - \gamma) \quad (2.39)$$

Визначимо кут повороту для другого плеча

$$\theta_2 - \gamma = \text{atan2}\left(\frac{h}{d}, \frac{r}{d}\right) = \text{atan2}(h, r), \text{ при } d > 0 \quad (2.40)$$

Зведемо всі отримані кути в єдину систему рівнянь

$$\begin{cases} \theta_1 = \text{atan}(Y, X) \\ \theta_2 = \text{atan2}(z - L_1, \sqrt{X^2 + Y^2}) - \text{atan2}(L_3 s_3, L_2 + L_3 c_3) \\ \theta_3 = \text{atan2}(s_3, c_3) \end{cases} \quad (2.41)$$

Отримана система рівнянь (2.41) дає змогу визначення кутів повороту крокових двигунів для переміщення ВСП у задану точку простору. Ці значення кутів необхідні для системи керування кроковими двигунами.

2.3.3. Розрахунок передаточного механізму

Основним призначенням передаточного механізму є перетворення параметрів руху від двигуна до виконавчого органу машини. Механічна енергія передається, як правило, з перетворенням швидкостей і обертальних моментів, а іноді з перетворенням виду і закону руху.

Перевагами зубчастих передач є постійне значення передаточного відношення, можливість використання у великому діапазоні швидкостей і навантажень, високий ККД (99% при використанні мастил), компактність, надійність, відносно малі навантаження на вали і довговічність. Недоліком зубчастої передачі є шум який виникає в процесі роботи (при неточному

виготовленні), неможливість плавної зміни передаточного відношення, відносна складність виготовлення.

За вимогами ГОСТ 16531-83 встановлюються наступні основні параметри зубчастого вінця: P – крок зчеплення; z – число зубів; d_a – діаметри кіл вершин; d_f – діаметри кіл впадин; d – діаметр ділильного кола.

Кінематична схема передачі руху для кожної ланки зображена на рис.

2.12.

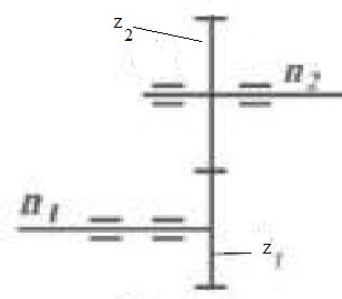


Рис. 2.12. Кінематична схема циліндричної передачі

Підберемо число зубців згідно ГОСТ 9563-60 для кожної з передач та окремо для кожного колеса. Спочатку виберемо кількість зубців першого колеса:

$$z_1 = 9$$

Тоді передаточне відношення дорівнює:

$$I_{12} = \frac{z_1}{z_2} \quad (2.42)$$

За вхідними даними передаточне відношення яке розраховується за формулою (2.42) дорівнює:

$$I_{12} = 0,28$$

Потім із формули (2.42) знаходимо кількість зубці другого колеса:

$$z_2 = \frac{z_1}{I_{12}} \quad (2.43)$$

$$z_2 = \frac{9}{0,28} = 32,14$$

Кількість зубців колеса повинно бути цілим числом, тоді округлюємо:

$$z_2 = 32$$

Уточнюємо передаточне відношення:

$$I_{12\text{ут}} = \frac{9}{32} = 0,281$$

Похибка при здійсненні заокруглення кількості зубців яка виникає розраховується за наступною формулою:

$$\delta_{I_{12}} = \left| \frac{I_{12} - I_{12\text{ут}}}{I_{12}} \cdot 100\% \right| \quad (2.44)$$

Розраховуємо отриману похибку за формулою (2.44) :

$$\delta_{I_{12}} = \left| \frac{0,28 - 0,281}{0,28} \cdot 100\% \right| = 0,35\%$$

Отримана похибка повинна задовольняти наступній умові:

$$\delta_{I_{12}} < 3\%$$

Оскільки в роботі використовуються три однакові циліндричні передачі – виконаємо розрахунок тільки для однієї ланки. Всі розраховані параметри для зручності занесено в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1. Геометричні параметри зубчастих коліс

Параметр	Формула	Перше зубчасте колесо	Друге зубчасте колесо
Діаметр ділильної окружності	$d_i = m \cdot z_i$	$d_1 = 1,75 \cdot 32 = 56$	$d_2 = 1,75 \cdot 9 = 15,75$
Висота голівок зубців	$h_a = m$	$h_a = 1,75$	
Висота ніжок зубців	$h_f = 1,25 \cdot m$	$h_f = 1,25 \cdot 1,75 = 2,19$	
Діаметр окружності вершин	$d_{a_i} = m \cdot (z + 2)$	$d_{a_1} = 1,75 \cdot 34 = 59,5$	$d_{a_2} = 1,75 \cdot 11 = 19,25$
Діаметр окружності впадин	$d_{f_i} = m \cdot (z - 2,25)$	$d_{f_1} = 1,75 \cdot 29,75 = 52,06$	$d_{f_2} = 1,75 \cdot 6,75 = 11,81$
Висота зуба	$h = h_a + h_f$	$h_i = 1,75 + 2,19 = 3,94$	

Міжосьова відстань (рис. 2.13) розраховується за наступною формулою:

$$a_w = \frac{d_1 + d_2}{2} = \frac{m \cdot (z_1 + z_2)}{2} \quad (2.45)$$

Із формули (2.45) маємо

$$a_w = \frac{1,75 \cdot (9 + 32)}{2} = 35,875 \text{ мм}$$

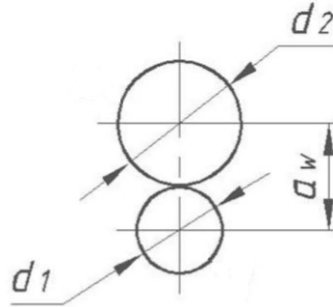


Рис 2.13. Міжосьова відстань циліндричної передачі

На основі розрахованих параметрів було виготовлено шість зубчастих коліс за допомогою 3D-принтеру. Виготовлені зубчасті колеса були застосовані у прототипі роботизованої системи вихрострумовеого контролю.

2.4. Розроблення алгоритму опрацювання сигналу ВСП

Зручним є графічним способом представлення програмних операцій є блок-схеми. До їх складу входять блоки різного типу, які між собою з'єднують лініями. Існують три основні типи блоків (рис 2.14) які використовуються при складанні блок-схем. Блок прямокутної форми описує кожну операцію або дію яку необхідно виконати. Блок ромбічної форми використовується для позначення операції ухвалення рішення, наприклад при перевірці змінної величини. Блок овальної форми означає початок та кінець блок-схеми. Лінії будуть вказувати на послідовність дій які необхідно виконати.

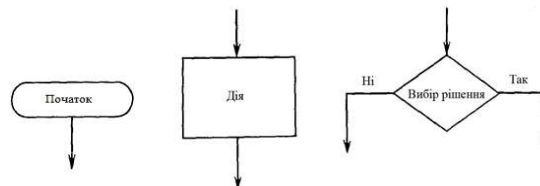


Рис. 2.14. Основні блоки алгоритму

Початок вимірювання починається з отримання сигналу від вимірювальної котушки ВСП та опорного сигналу від генератора у вигляді цифрових відліків. Далі за допомогою програмного забезпечення виконується дискретне перетворення Гільберта. Після отримання гільберт-образу сигналу можливо визначити дві характеристики сигналу: амплітудну і фазову. Загальний алгоритм опрацювання сигналу ВСП представлено на рис. 2.15.

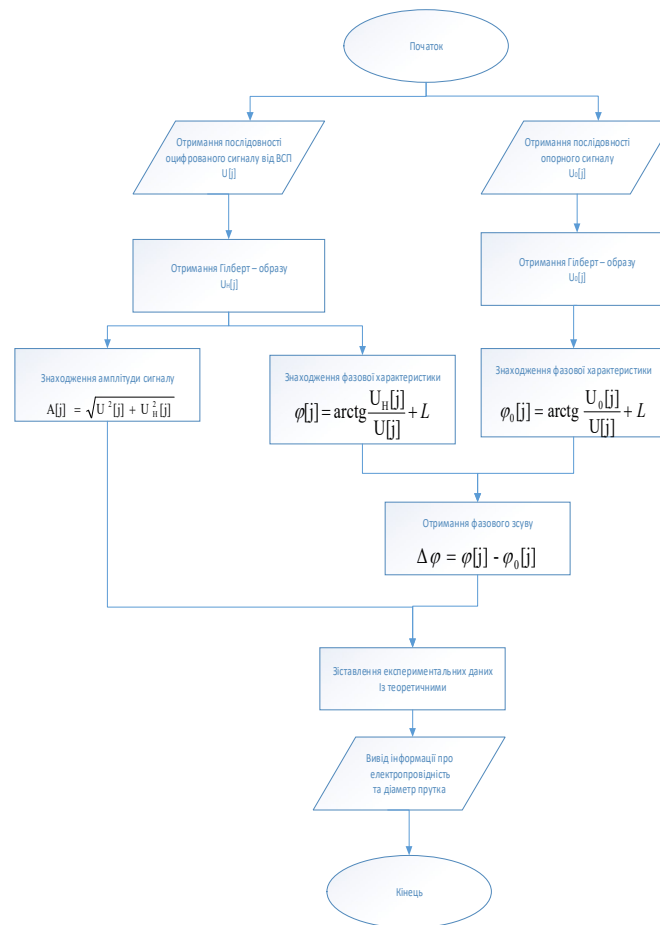


Рис. 2.15. Алгоритм роботи

Для визначення амплітудної характеристики необхідно знати тільки вихідний сигнал ВСП і його гільберт-образ. Якщо необхідно знайти фазовий зсув ще потрібен опорний сигнал. При знаходженні фазового зсуву необхідно мати інформацію про фазові характеристики як вихідного сигналу ВСП так і опорного сигналу від генератора коливальних. Різниця між двома фазовими характеристиками сигналів дорівнюватиме поточному значенню фазового зсуву сигналів.

Отримані дані про амплітуду і фазу зіставляються із теоретичними розрахунками для встановлення кількісного значення щодо діаметра та електропровідності об'єкта контролю. Отримані дані відображаються на моніторі для візуального сприймання оператором.

Висновки до розділу 2

1. В даному розділі вибрана і обґрунтована структурна схема автоматизованої системи вихрострумowego контролю.
2. Проведено розрахунок накладного вихрострумowego перетворювача для систем контролю.
3. Проведено аналіз та розрахунок прямої та зворотної задачі кінематики. Розрахунок дозволяє аналізувати положення сенсора, а також положення рухомих ланок маніпулятора у просторі.
4. Розроблено алгоритм опрацювання сигналів вихрострумowego перетворювача за допомогою їх дискретного перетворення Гільберта.

3. Розроблення програмного забезпечення системи ВСК

3.1. Розроблення програми опрацювання сигналів ВСП та її модельне дослідження

Моделювання процесів опрацювання сигналів ВСП здійснено у програмному середовищі Matlab. Оскільки сигнал збудження ВСП являє собою гармонійний сигнал то зробимо вибірку із 1700 відліків (рис. 3.1).

Моделювання виконано для наведених нижче послідовностей, представлених дискретними значеннями за умови: обсяг вибірки $N = 1700$, період дискретизації сигналу $T_d = 10^{-5}$ с.

Задамо збудження ВСП у вигляді:

$$U = A \cdot \cos(\omega \cdot t), \quad (3.1)$$

де A – амплітуда сигналу,

ω – циклічна частота.

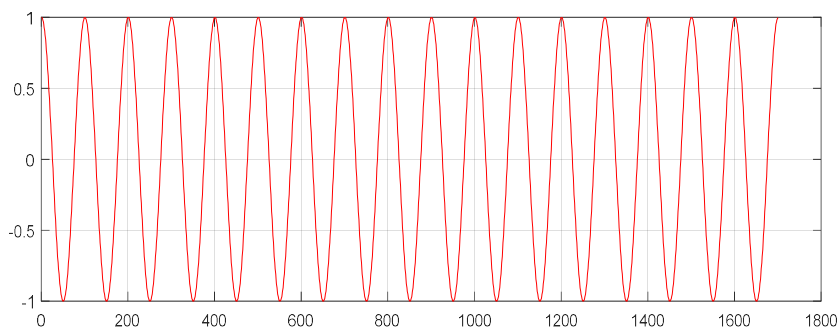


Рис. 3.1. Сигнал збудження ВСП

Необхідно за результатами спостереження сигналу ВСП виду $u[j, \overline{p_g}, r_g]$, $j = \overline{1, N}$ визначити його дискретні фазову і амплітудну характеристики, визначити різниці дискретних фазових характеристик для сигналу ВСП та дискретної фазової характеристики опорного сигналу.

Сигнал від вимірювальної котушки буде нести інформацію про ОК, яку отримує сигнал під час його одночасної модуляції як по фазі так і по амплітуді. [16]З метою дослідження коректності процесу визначення законів такої модуляції проведено комп'ютерний вимірювальний експеримент. Його суть

полягала у створення амплітудофазомодульованого сигналу з відомими законами модуляції та їх відтворення за допомогою перетворення Гільберта.

Закони фазової і амплітудної модуляції наведені на рис. 3.2.

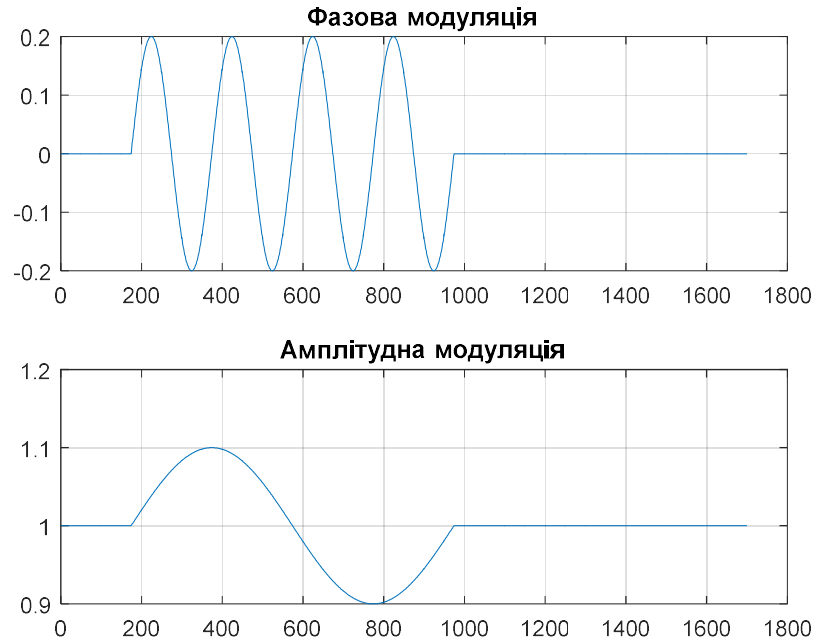


Рис. 3.2. Графіки амплітудної і фазової модуляції вихідного сигналу

На вихідний сигнал накладемо шум який розподілений за нормальним законом та порівняємо з вихідним сигналом від вимірювальної котушки рис. 4.5. Методологію визначення дискретних характеристик сигналів ВСП розглянемо на прикладі дослідження дискретної комплекснозначної послідовності (далі для спрощення аналітичних викладок у позначенні дискретних сигналів ВСП залишимо тільки змінну j).

Задамо дискретну комплекснозначну послідовність у вигляді

$$\dot{z}[j] = u[j] + i\hat{u}[j], \quad j = \overline{1, N}. \quad (3.2)$$

У цій послідовності задані лише значення дійсної послідовності $u[j]$, яку визначають за результатами спостережень неперервного сигналу ВСП (рис. 3.3).

Необхідно знайти дискретну дійсну послідовність $\hat{u}[j]$ як дискретний

Гільберт-образ дискретної послідовності $u[j]$. Метод обчислення комплексної послідовності $z[j]$ реалізовано у програмному середовищі Matlab за допомогою функції `hilbert`. [17]

Дискретні характеристики послідовності (2.44) визначаються наступним чином:

1) дискретна амплітудна характеристика

$$A[j] = \sqrt{u^2[j] + \hat{u}^2[j]}; \quad (3.3)$$

2) дискретна фазова характеристика

$$\Phi[j] = \arg z[j] = \arctg \frac{\hat{u}[j]}{u[j]} + \frac{\pi}{2} \{2 - \text{sign } \hat{u}[j](1 + \text{sign } u[j])\} + 2\pi \mathbf{K}[u[j], \hat{u}[j]]; \quad (3.4)$$

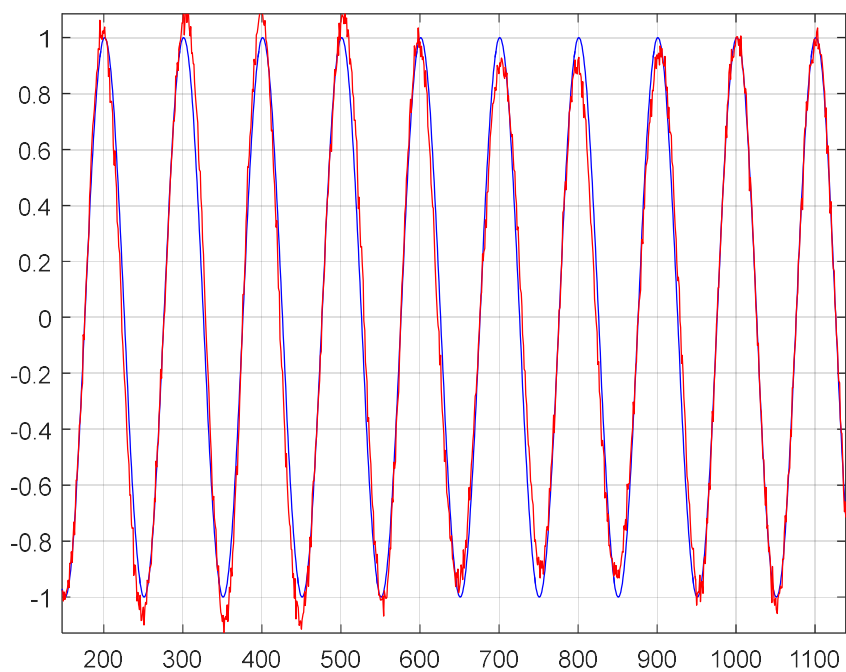


Рис. 3.3. Сигнали ВСП

Виконаємо Гільберт перетворення та знайдемо амплітудну і фазову характеристику сигналу отриманого від вимірювальної котушки ВСП та порівняємо із промодельованим сигналом від дефекту рис. 3.4.

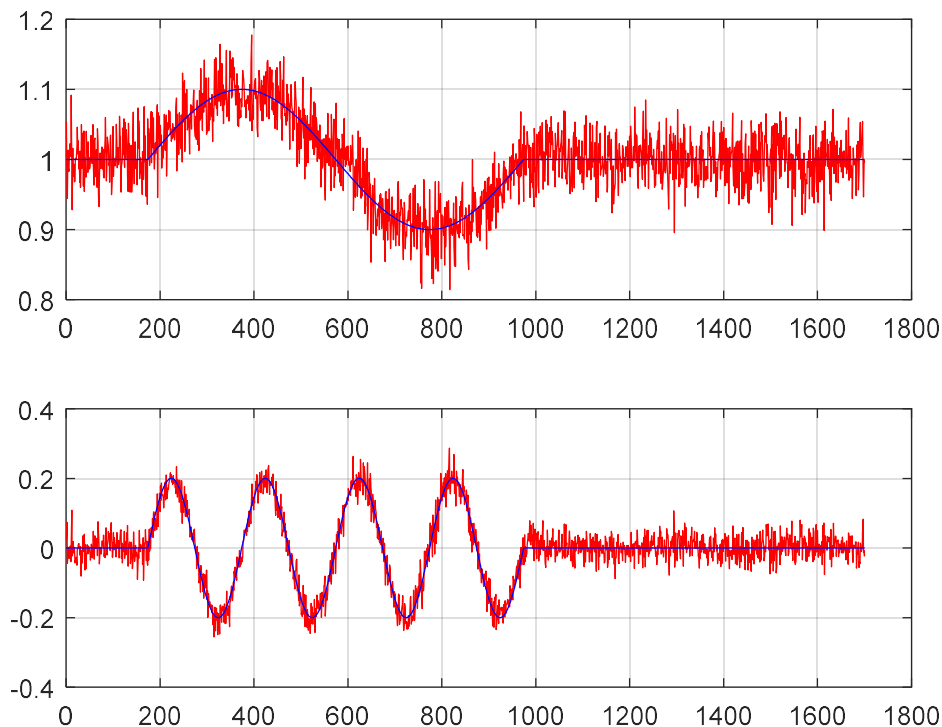


Рис. 3.4. Отриманий інформативний сигнал від дефекту

Виконане моделювання дозволяє знайти амплітудну і фазову модуляцію вхідного сигналу ВСП навіть при шумленості вхідного сигналу і дає змогу використовувати Гільберт перетворення для аналізу у роботизованих системах вихрострумowego контролю.

3.2. Розроблення програмного забезпечення для мікроконтролера

3.2.1. Опрацювання команд G-Code

G-код, який також називається мовою програмування RS-274, і який поставляється в багатьох варіантах, специфічних для виробника, є загальною

назвою для найбільш широко використовуваної мови програмування NC. Його серія вказівок суттєво визначає, як осі машини рухаються і взаємодіють разом. Числові елементи керування та мова G-коду вперше були розроблені в 1950-х роках у тісній співпраці авіаційної промисловості та МІТ в контексті комп'ютеризованих токарних і фрезерних верстатів. Багато основних принципів розроблення мови G-коду слід розглядати в контексті цього періоду часу. Спочатку програми НК зберігалися на перфокартах і стрічках, що дуже добре видно з результуючої структури мови.

Щоб описати будь-які рухи, незалежні фізичні осей (наприклад, двигуни та накопичувачі) повинні бути зіставлені з відповідними змінами або командами на мові програмування. Як правило, машина з тривимірними можливостями позиціонування інструменту, наприклад, свердла, має три осі, де вектори напрямку взаємно перпендикулярні одна одній. Таким чином, у пов'язаній ортогональній системі координат $3d$, звичайно, можна буде посилатися на три напрямки через координати, а пов'язані змінні в NC також називаються X, Y і Z. Залежно від параметрів машини, положення зазвичай вказується в "дюймах" "Одиниці або" міліметричні "одиниці, але ми повернемося до цього пізніше.

Крім того, G-код є модальною мовою. Це означає, що після встановлення певного режиму роботи або параметра він залишається активним, доки його не буде змінено іншою командою. Інтуїтивно це має великий сенс: після встановлення швидкості руху інструмента, ви не хочете встановлювати це значення кожен раз для кожної наступної команди руху, яка описує шлях інструменту. Крім того, верстат залишається в одному положенні, доки не з'явиться наступна команда руху. Рухи, по суті, запрограмуються, повідомляючи машині пункт призначення за значеннями осей призначення. Після цього машина намагається якнайшвидше переміщатись з позицій поточних осей до цих цільових позицій за заданими обмеженнями швидкості руху, режимами інтерполяції тощо.

Кожна базова команда G-code складається з двох компонентів: букви та цифри. Лист зазвичай записується у верхньому регістрі, хоча це не є обов'язковим. Номер може бути або ціле число (6, 12, 512) або число з плаваючою комою (-3.41, 15, 0.62). Завдяки величезній різноманітності машин, обладнаних числовим контролем, існує безліч G-кодів, які часто дуже специфічні для машини. На щастя, є, принаймні, невелика основна мова, на якій майже всі виробники чисельного контролю погоджуються і які мають свої коріння в оригінальних фрезерних і поворотних додатках:

1. F, а потім цифра, наприклад F76.322 визначає швидкість подачі апарата, що є, по суті, цільовою швидкістю кінцевої точки верстатобудування. Якщо у вас є свердла, це може бути швидкість, з якою ви хотіли б просвердлити матеріал. Аналогічно, у фрезерних машинах це описує, як швидко інструмент рухається через матеріал. Залежно від одиниць вимірювання довжини, що використовуються в машині, швидкість подачі зазвичай вказується або в міліметрах, або дюймах за хвилину, тобто "мм / хв" або "дюйм / хв".

2. G0 активує режим швидкого переміщення, що означає, що апарат йде якомога швидше - швидкість подачі ігнорується в цьому режимі роботи, але вона залишається встановленою. Це використовується, якщо інструмент не контактує з матеріалом, тобто для швидких завдань позиціонування.

3. G1 активує режим лінійної інтерполяції, де кінцева точка інструменту рухається за швидкістю подачі, визначеною кодом F. Це типовий режим роботи, якщо інструмент контактує з матеріалом (плюс невелика межа для помилки).

4. G2 та G3 активізують режим кругової інтерполяції, що дозволяє обробити кола та дуги.

5. X, Y та Z, за якими слідує число, встановлює позицію осі об'єкта інструментів, що насправді відповідає команді руху.

Кілька команд можна використовувати в тому самому блоці, наприклад, встановити швидкість подачі, режим інтерполяції і так далі, і порядок виконання

команд у блоці не має значення. Блоки завжди виконуються якомога швидше, що означає, що блоки, що містять лише модальні зміни, є квазі-миттєвими, а блоки, що містять рухи, беруть стільки часу, скільки вимагає рух.

Приклад реалізації опрацювання G-code наведено у додатку Б.

3.2.2. Обґрунтування вибору структури даних

Черга є абстрактним типом даних або лінійною структурою даних, точно так само, як структура даних стек, в якій перший елемент вставляється з одного кінця, називається REAR (також називається хвостом), а видалення існуючого елемента відбувається з іншого кінця називається FRONT (також називається головою).

Це робить чергу як структуру даних FIFO (First In First Out), що означає, що перший вставлений елемент спочатку буде видалено.

Процес додавання елемента в чергу називається Enqueue, і процес видалення елемента з черги називається Dequeue (рис. 3.6).

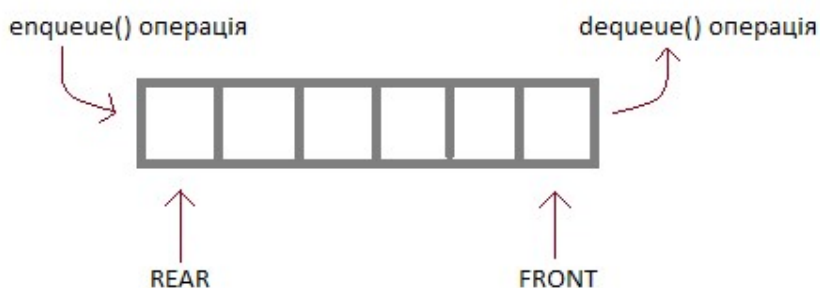


Рис. 3.6. Структура даних – Черга

Черга, як випливає з назви, використовується кожного разу, коли нам потрібно опрацьовувати будь-яку групу об'єктів у тому порядку, в якому перший входить, також виходить спочатку, а інші чекають своєї черги, як у наступних сценаріях:

1. Подання запитів до одного спільного ресурсу, як-от принтер, планування завдань ЦП і т. д.

2. Опрацювання переривань у системах реального часу. Переривання опрацьовуються в тому ж порядку, в якому вони прибувають.

Тому чергу можна застосовувати для опрацювання команд які надходять до роботизованого комплексу через протокол зв'язку. Приклад реалізації структури для використання у блоці отримання команд наведено у додатку А.

Черга може бути реалізована за допомогою масиву, стеків або зв'язаних списків. Найпростіший спосіб реалізації черги - це використання масиву.

Спочатку голова (FRONT) і хвіст (REAR) черги вказують на перший індекс масиву (починаючи індекс масиву з 0). Коли ми додаємо елементи до черги, хвіст продовжує рухатися вперед, завжди вказуючи на позицію, де буде вставлено наступний елемент, а голова залишатиметься на першому індексі.

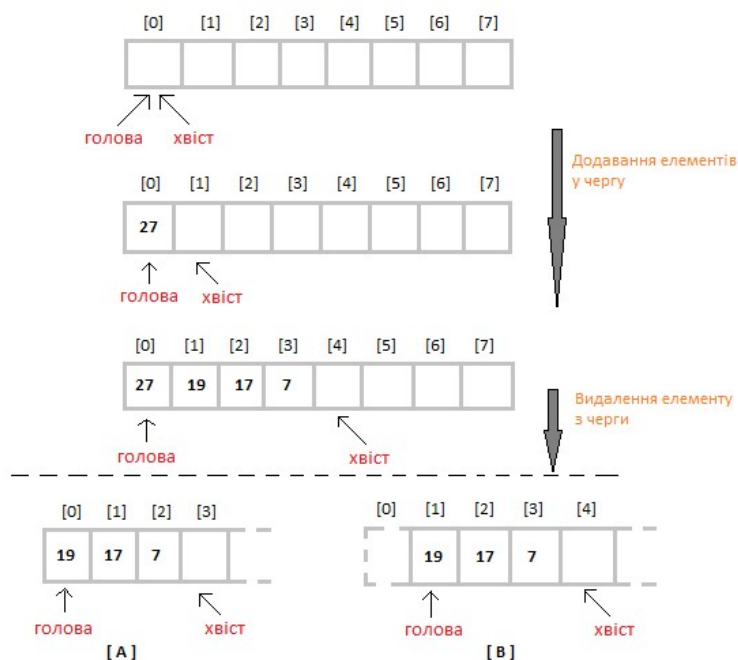


Рис. 3.7. Додавання та видалення елементів із черги

Коли видаляється елемент з черги, є можливість стежити за двома варіантами ([A] та [B] на рис.3.7). У варіанті [A] ми видаляємо елемент з позиції голови, а потім по одному зміщуємо всі інші елементи на одну позицію вліво. У варіанті [B] ми видаляємо елемент з положення голови, а потім переміщуємо голову в наступну позицію. У варіанті [A] є накладні витрати по часу коли йде

зміщення елементів на одну позицію кожного разу, коли ми видаляємо перший елемент. У варіанті [В] таких накладних витрат немає, але коли ми зміщуємо голову на одну позицію вперед, після видалення першого елемента, розмір масиву у черзі зменшується на одиницю щоразу.

3.2.3. Керування кроковими двигунами

Крокові двигуни відносяться до класу безколекторних двигунів постійного струму (рис. 3.8). Схеми управління кроковими двигунами повинні виконувати комутації обмоток при роботі двигуна. Даний тип двигунів відрізняє висока надійність і довгий термін служби, що дозволяє використовувати їх в промисловому застосуванні.

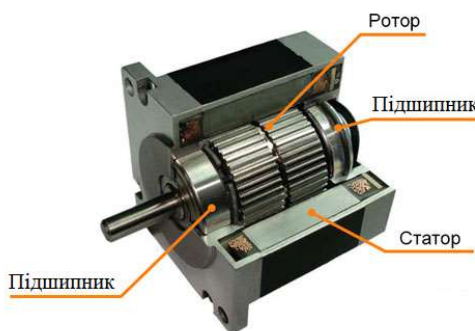


Рис. 3.8. Гібридний кроковий двигун

Перевагою крокових двигунів полягає у здійсненні точного позиціонування і зміні швидкості без системи зворотного зв'язку. Оскільки системи зворотного зв'язку можуть коштувати набагато більше самого двигуна. Системи у яких реалізована система зворотного зв'язку здатні працювати з великими прискореннями та при змінному навантаженні. Якщо перевищити номінальний момент втримання крокового двигуна, то інформація про положення ротора в просторі втрачається і система вимагає базування за допомогою, наприклад, кінцевого вимикача або іншого датчика. Системи зі зворотним зв'язком не мають такої вади.

В перерізі ротор сучасного гібридного двигуна має спеціальні зубці, які розташовані в осьовому напрямку (рис. 3.8).

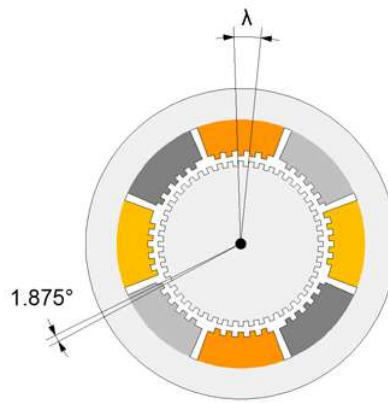


Рис. 3.9. Ротор гібридного крокового двигуна у перерізі

При здійсненні керуванням обертами крокового двигуна потрібно обрати один із способів управління фазами крокового двигуна. Перший спосіб здійснюється за допомогою зміни комутації фаз, при якому вони не перекриваються, і в один момент часу увімкнена тільки одна фаза (рис. 3.10а). Цей спосіб називають повнокроковим. Точки рівноваги кожного кроку знаходяться в «природних» точках рівноваги ротора увімкненого двигуна. При використанні цього способу управління недоліком є використання половини обмоток для біполярного двигуна, а для уніполярного - тільки 25%. В такому способі двигун не зможе розвинути максимального крутного моменту.

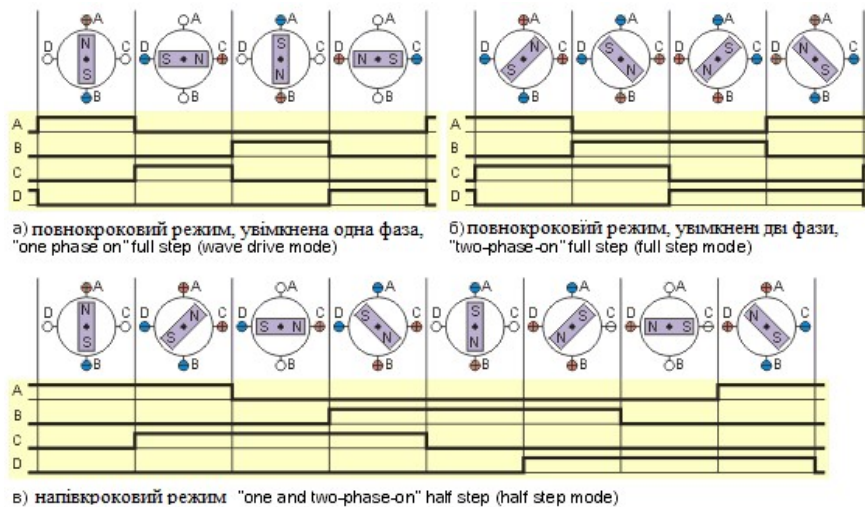


Рис. 3.10. Три основних режими керування фазами крокового двигуна

Другий спосіб управління полягає в увімкненні фаз з перекриттям: коли одночасно включені дві фази. При цьому способі управління ротор фіксується в проміжних позиціях між полюсами статора (рис. 3.10б) і забезпечується приблизно на 40% більший момент, ніж в разі однієї включеної фази. Цей спосіб управління забезпечує становище точок рівноваги ротора зміщене на пів-кроку.

Третій спосіб є комбінацією перших двох і називається напівкроковим режимом, коли двигун робить крок в половину основного (рис. 3.11в). При здійсненні такого кутового переміщення ротор займає положення половини кута кроку для перших двох способів управління. Цей спосіб дає змогу зменшити розміру кроку, а також частково позбутися явища резонансу. Напівкроковий режим також не дозволяє отримати максимальний крутний момент.

Сучасним способом управління кроковими двигунами є мікрошаговий режим. При здійсненні управління струм в обмотках двигуна необхідно змінювати малими кроками, таким чином забезпечується дріблення половинного кроку на мікрокроки. При одночасному увімкненні двох фаз, при умові що струми не рівні, то положення рівноваги ротора буде знаходитися не в середині кроку, а в положенні визначеному співвідношенням струмів обмоток. При зміні цього співвідношення, можливо забезпечити необхідну кількість мікрокроків всередині одного кроку. При реалізації даного режиму необхідні спеціальні драйвери, які зможуть задавати струм в обмотках двигуна з малою дискретністю.

Для забезпечення керуванням крокового двигуна було обрано мікросхему А4988. Мікросхема являє собою драйвер із вбудованою системою керування біполярними кроковими двигунами із можливістю розбиття кроку на 1/2, 1/4, 1/8, 1/16 частину.

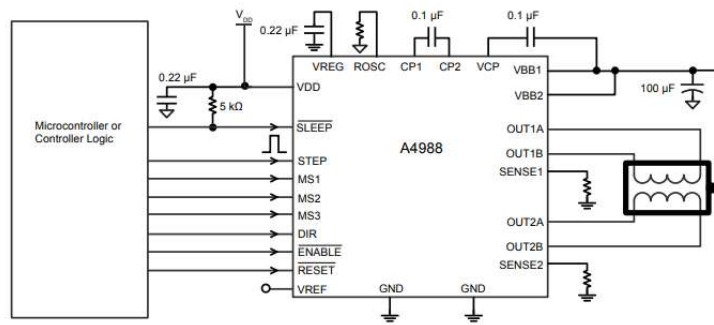


Рис. 3.11. Схема підключення драйверу

Запропонована система керування кроковими двигунами є складовою частиною дослідного стенду, що представляє собою робот-маніпулятор, в якій крокові двигуни використовуються для позиціонування ВСП у просторі. Приклад коду керування кроковим двигуном у прямому і зворотному напрямку наведено у додатку Г.

3.3. Розроблення структури програмного модуля керування системою та її окремими елементами

Розроблено інтерфейс комп'ютерної програми «EC-Roboscope SW» для практичної реалізації запропонованих методів опрацювання вихідних сигналів ВСП та здійснення керування положенням ВСП у просторі у інтерактивному режимі та автоматичному режимі.

Розроблене програмне забезпечення містить такі елементи:

1. Вкладка керування положенням робота-маніпулятора;
2. Вкладка із інструментами для опрацювання сигналів ВСП.

На рис.3.12 наведено зовнішній вигляд головного вікна програми, в якому відображається органи управління маніпулятором. Вікно розділено на п'ять блоків: блок позиціонування по координатам, блок зміни кроку переміщення, блок основних положень при базуванні робота, блок відображення службової інформації, блок основних команд та блок запису контрольованих точок.

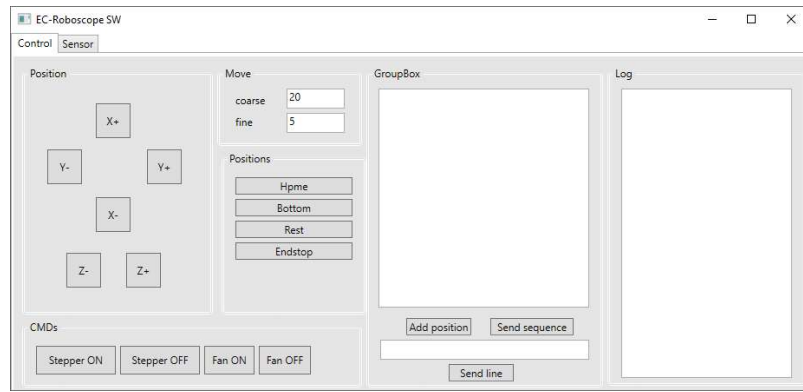


Рис. 3.12. Вкладка вікна керування положенням ВСП

Програма дозволяє в інтерактивному режимі переміщення ВСП у відповідне місце простору та встановлення необхідного зазору між поверхнею ОК та ВСП.

Також існує можливість автоматичного формування звіту із обстеження в форматі PDF.

Оператор може задавати вручну положення необхідних контрольованих точок, після чого програма в автоматичному режимі посилає ці координати до блоку управління кроковими двигунами через канал зв'язку.

Висновки до розділу 3

1) Визначено що вихідний сигнал трансформаторного ВСП уявляє собою гармонічне коливання, амплітуди і фаза якого під час сканування ОК з неоднорідностями типу поверхневих та підповерхневих дефектів, модулюються за складними законами.

2) Виконано в середовищі MatLab моделювання процесу визначення характеристик гармонічних сигналів зі складними законами амплітудної і фазової модуляції. Отримані результати підтверджують можливість визначення характеристик сигналу на основі перетворення Гільберта.

3) Розроблено програмне забезпечення ВСК яке включає: модуль визначення характеристик ВСП; модуль управління кроковими двигунами приводів робота-маніпулятора; модуль управління режимами роботи системи та візуалізації результатів контролю.

4. Розроблення стартап-проекту «ЕС-Roboscope»

Метою даного розділу є проведення маркетингового аналізу стартап-проекту для визначення можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження. [20]

Ідея проекту полягає в тому, щоб забезпечити максимально автоматизований спосіб контролю деталей із складною геометрією поверхні, при цьому точність системи відповідає вимогам, а також прискорення процесу вихрострумowego неруйнівного контролю із збереженням результатів контролю в електронному вигляді.

4.1. Опис ідеї проекту

Табл. 4.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Розроблення системи автоматизованого вихрострумowego контролю виробів зі складною геометрією поверхні	1. Літакобудівні та обслуговуючі підприємства	Зменшення браку вихідної продукції
	2. Автомобілебудування	Прискорення процесу контролю, виключення людського фактору
	3. Підприємства із ремонту деталей важкого машинобудування	Збереження результатів контролю в електронному вигляді для подальшого аналізу

Ця таблиця дає цілісне уявлення про зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів. Основними напрямками застосування ідеї є використання у різних сферах промисловості, таких як автомобілебудування, літакобудування та ін. Основними вигодами користувача є зменшення часу на проведення неруйнівного контролю і виключення впливу людського фактору на результати контролю.

Далі проведемо аналіз потенційних техніко-економічних переваг даної ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів. Визначимо чим вона відрізняється від існуючих аналогів та замінників. Результати наведено у таблиці 4.2:

Табл. 4.2. 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 проект	“EloScan-system”	“WorldN DT”	«Робоскоп ВТМ-3000»			
1.	Вартість, грн	350000	500000	700000	650000			+
2.	Точність вимірювання, %	99%	98%	99%	97%		+	
3.	Точність позиціонування, %	99%	98%	99%	97%		+	
4.	Довговічність	5 років	5 років	7 років	5 років		+	
5.	Збереження результатів контролю	+	-	+	-			+
6.	Керування в інтерактивному режимі	+	+	-	+	+		

Висновок: у даній таблиці визначено перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї; визначено попереднє коло конкурентів, що вже існують на ринку, та визначено слабкі, нейтральні та сильні характеристики ідеї даного стартап-проекту. Однією із сильних сторін проекту є самонавчання і керування системою в інтерактивному режимі.

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту

В даному підрозділі проводиться аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею проекту (технології створення товару). Визначення

технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових, які наведено в таблиці (табл. 4.3):

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Розроблення системи автоматизованого вихрострумового контролю виробів зі складною геометрією поверхні	Виготовлення на підприємстві на замовлення	Наявна	Недоступна
		Замовлення компонентів та виготовлення власноруч	Наявна	Доступна
Обрана технологія реалізації ідеї проекту: В якості оптимальної технології реалізації проекту обрано замовлення окремих компонентів та складових системи та збірка системи власноруч.				

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що наш проект необхідно збирати з готових блоків і мінімізувати шлях доставки замовлених деталей для автоматизованої системи.

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

В цьому підрозділі визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити реалізації проекту. Цей аналіз дозволить нам спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів. В таблиці 4.4. проведено аналіз попиту: наявність попиту, обсяг та динаміка розвитку ринку.

Табл. 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Показники стану ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	3
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	350000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Обмежень немає
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	ISO, EN
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	85 %

Отже, за результатами аналізу таблиці можна зробити висновок, що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

У таблиці 4.5 визначимо потенційні групи клієнтів та їх характеристики, після чого сформуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної з груп клієнтів.

Табл. 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Необхідність отримання якісного продукту	Виробничі підприємства	Нові вимоги до стандартизації продукції. Легкість у модернізації нового обладнання у виробничий процес	Ергономічність. Можливість використання як модуля. Легкість до транспортування

Висновок: в даній таблиці ми визначили цільову аудиторію та її основні вимоги до товару даного виду, визначили основні характеристики системи, які формують поведінку клієнтів відносно нашої системи, та визначили основні вимоги до системи. При застосуванні даної технології існують певні загрози. Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також налаштування та встановлення таких систем повинні здійснювати висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне

обслуговування даного продукту. Після визначення потенційних груп клієнтів проводимо аналіз ринкового середовища. Складаємо таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (табл. 4.6).

Табл. 4.6. Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Конкурентні	Вихід нового продукту на ринок	Моніторинг ринку
2	Брак	Можливість поломки з часом	Додаткове випробування
3	Програмна поломка	Внаслідок багатьох впливів та у повсякденному житті	Майстер
4	Втрата привабливості	З часом дизайн втрачає свою привабливість	Оновлення інтерфейсу
5	Застарілість програмного забезпечення	Щоденне використання часто робить інтерфейс набридлим	Оновлення прошивки
6	Не вміння управління та запитання	Часті питання, яких немає в інструкції до експлуатації	Гаряча лінія та підтримка клієнтів

Табл. 1.7. Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Політичний	Підтримка фінансування державою малого та середнього бізнесу	Розширення асортименту продукції
2	Розроблення нових проєктів	Залучення нових працівників	Проведення стартапів
3	Дистанційне управління	Управління через мобільний телефон, планшет, спеціальний пульт	Створення дистанційного пульта управління (ДПУ), написання програми
4	Ринок збуту	Можливість виходу на міжнародний ринок	Розробка та виготовлення продукту за європейськими стандартами

5	Технічний	Контроль витрат рідини в трубках малого діаметру	Впровадження нової технології виготовлення системи
---	-----------	--	--

В таблицях 4.6 та 4.7 наведено основні фактори що загрожують та сприяють ринковому впровадженні даного проекту. В таблиці 4.8 проводиться аналіз пропозиції, тобто визначаються загальні риси конкуренції на ринку.

Табл. 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентного середовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)</i>
1. Вказати тип конкуренції олігополія	Невелика кількість фірм які виробляють дану продукцію	Конкуренція заставляє розробляти нові привабливі ідеї
2. За рівнем конкурентної боротьби -глобальний	Продукція виробляється по всьому світі	Нижча ціна, дешевша доставка, підтримка національного продукту
3. За галузевою ознакою - міжгалузєва	Дана продукція охоплює декілька галузей	Розроблення нових пристроїв та технологій дозволять завжди бути високо конкурентоспроможним
4. Конкуренція за видами товарів: - товарно-родова	Конкуренція між звичайними технологіями та товарами, що виконують схожі функції та товарами	Реклама, нові функції технологій
5. За характером конкурентних переваг -нецінова	Здійснюється вдосконалення якості продукції, технології виробництва, інновацій та нанотехнологій, патентування і брендування і умов її продажу	Моніторинг цін на ринку
6. За інтенсивністю -не марочна	Придбання товару не залежить від бренду, а від завдань які він вирішує	Реєстрація марки, рекламування товару

Отже, відповідно до наведеного вище аналізу головними силами, які діють на конкуренцію в галузі є постачальники та споживачі. Також в силу розвитку ринку все більшого значення набуває інтенсивність конкуренції між існуючими конкурентами та загроза зі сторони товарів-субститутів.

Після аналізу конкуренції в таблиці 4.9 проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі за моделлю 5 сил М. Портера.

Табл. 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	<i>Прямі конкуренти в галузі</i>	<i>Потенційні конкуренти</i>	<i>Постачальники</i>	<i>Клієнти</i>	<i>Товари-замінники</i>
<i>Складові аналізу</i>	<i>“WorldNDT”</i>	Ціна, якість, швидкість доставки, вартість доставки	Значення розміру поставок для постачальників	Клієнти залишають відгуки, оцінюють роботу продавців, якість продукції, термін доставки. Тому суб’єктивна оцінка з боку покупців завжди є високопоставлена	Неякісні товари
Висновки:	Висока конкуренція	Є можливість виходу на ринок за рахунок держзамовлень. Конкуренти присутні.	Постачальники не впливають на умови роботи на ринку	Клієнти вимагають якісної та простої в керуванні продукції	Більш відомі компанії захоплюють ринок.

Висновок: за результатами аналізу даних таблиць можна зробити висновок, що в даний момент з огляду на конкурентну ситуацію щоб вийти на ринок та бути конкурентоспроможним проект повинен не поступатись в якості

витратомірам більш відомих компаній, але в той же час повинен пропонуватися за дещо нижчою ціною ніж в конкурентів.

В таблиці 5.10 наведемо фактори конкурентоспроможності, які засновані на аналізі конкуренції, який проведений в табл. 4.9, а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 5.2), вимог споживачів до товару (табл. 5.5) та факторів маркетингового середовища (табл. №№ 5.6-5.7) визначимо та обґрунтуємо перелік факторів конкурентоспроможності.

Табл.4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ п/п</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1	Економічні зв'язки	Залучення додаткового фінансування
2	Розміщення виробничих сил	Зменшення витрат та транспортування окремих частин
3	Наявність сировинних ресурсів	Наявність необхідної сировини для виготовлення окремих частин
4	Загальний рівень техніки та технологій	Наявність необхідної техніки та технологій
5	Рівень технологій процесу виробництва	Підвищення якості продукту
6	Орієнтація на маркетингову концепцію	Пошук нових ринків збуту
7	Інноваційний характер виробництва	Використання нових алгоритмів та сучасної елементної бази

Отже, в таблиці 4.10 ми визначили основні фактори конкурентоспроможності, за допомогою яких проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту.

Табл. 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «ЕС-Roboscore»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з ...						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Економічні зв'язки	7			•				
2	Розміщення виробничих сил	9				•			
3	Наявність сировинних ресурсів	9				•			
4	Загальний рівень техніки та технологій	12					•		
5	Рівень технологій процесу виробництва	10					•		
6	Орієнтація на маркетингову концепцію	6		•					
7	Інноваційний характер виробництва	16						•	

З таблиць 4.10 та 4.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності є досить хорошими. Основною перевагою та головним досягненням є виконання контролю витрат палива в трубах малого діаметру, висока якість продукту та сервісне обслуговування 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 4.12, на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін, що наведені в таблиці 4.11.

Табл. 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: зменшення впливу людського фактору, використання сучасної електронної бази, використання більш сучасних алгоритмів	Слабкі сторони: система одноканальна, масштабність системи
Можливості: збільшення державного фінансування в сфері контролю якості продукції	Загрози: поява нового конкурента, збільшення цін на комплектуючі,

Табл.4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Укласти договір з одним із конкурентів про співпрацю і взаємообмін запатентованими розробками	75%	2 міс
2	Укласти договір з партнерами про розширення партнерської діяльності	80%	1 міс
3	Укласти договір з виробництвами про збільшення асортименту виробництва	95%	2 тиж
4	Розширення компанії внаслідок збагачення цінними кадрами	85%	6 міс

Отже, розглянувши можливості ринкового впровадження стартап-проекту можна зробити висновок, що основною альтернативою є отримання держзамовлення на прилад, оскільки ймовірність отримання ресурсів висока, а терміни реалізації менші.

4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту

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

Табл. 4.2. 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
	Приватні та державні промислові компанії	Продукт затребуваний	Високий	Помірна	Необхідність мати
Які цільові групи обрано: Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати із промисловими компаніями.					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати автоматизовану систему контролю виробів та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію масового маркетингу, із всім ринком, пропонуючи стандартизовану програму. Для роботи в обраних сегментах ринку сформуємо базову стратегію розвитку (табл. 4.15).

Табл. 4.3. 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

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Табл. 4.4. 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*
	Ні	Шукати нових та переманювати інших	Ні, в цьому немає необхідності	Стратегія виклику лідеру

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.

Табл. 4.5. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувані комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Ціна, Простота використання, Точність, Надійність	На основі специфічних відсутніх характеристик	Ціна, точність виміру, якість приладу	Позиціонування «Ціна-якість» Позиціонування на високій точності приладу Сервісне обслуговування

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у таблиці 4.18 сформуємо результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.6. 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 вихрострумове перетворювача.
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 приладу	Постійне якісне обслуговування приладу

Надалі розробляється триврівнева маркетингова модель товару: уточнимо ідеї продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.19).

Таблиця 4.7. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Автоматизована система вихрострумowego контролю		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Довговічність (немає строку давності)	М	Тл
	2. Точність вимірювання	Нм	Тх
	3. Збереження результатів контролю	Нм	Тх
	4. Керування в інтерактивному режимі	Нм	Тх
	5. Можливість передачі даних в режимі онлайн	Нм	Тх
Якість: відповідає нормам ДСТУ2499:2017			
Пакування: спеціальний контейнер			
Марка: "EC-Roboscope"			
III. Товар із підкріпленням	До продажу включається		
	Після продажу включається		

В таблиці 4.19 ми створюємо трьохрівневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основні характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

Таблиця 4.8. 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
	650000 грн	400000-550000 грн	5000000-10000000 грн	300000-550000 грн

В даній таблиці проаналізовано ринкові ціни на товари аналоги та замінники, а також середній рівень доходів споживачів. За отриманими даними буду встановлена верхня та нижня межа на нашу програму.

Таблиця 4.9. 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 сайти	Безпосередній продаж товару клієнту, оформлення та відправлення замовлення, Установка та налаштування системи	Висока	Оптовий продаж продукції

Отже, із наведеної вище таблиці можна зробити висновок, що оптимальною системою збуту є продаж та установка витратоміру палива великими партіями. Основні шляхи збуту – це продаж через мережу інтернет.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.22).

Таблиця 4.10. 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
	Спостереження за новинками на ринку. Замовлення товарів онлайн.	Публікації Інтернет Виставки	Ефективність, ціна, простота використання, точність	Донести переваги даної продукції	

Висновки до розділу 4

Аналіз стартап-проекту показав можливість ринкової комерціалізації проекту. Це обумовлено високим попитом на автоматизовані системи неруйнівного контролю. Також в ході аналізу було підтверджено рентабельність проекту. Незважаючи на наявну конкуренцію певного рівня, ринок надає можливості впровадження продукту в обіг з огляду наявності цільової аудиторії, яка зацікавиться даним продуктом. Продукт здатен подолати бар'єри входження в ринок, такі як необхідність сертифікації обладнання перед випуском її в вільний продаж та набір клієнтської бази. Також треба пам'ятати, що на ринку вже присутні аналоги продукту який розробляється. Тому для успішного виходу на нього треба надати нашому продукту властивостей які будуть виділяти його серед конкурентів. На даний момент продукт є конкурентоспроможним але для підвищення довіри споживачів і формування своєї бази клієнтів необхідно:

1. Вдосконалити конструкцію та технологію виробництва системи
2. Провести рекламну компанію
3. Працювати над покращенням продукту і прислуховуватись до потреб споживачів

Висновки

В даній магістерській дисертації було проведено дослідження системи автоматизованого вихрострумowego контролю виробів зі складною геометрією поверхні. Розглянуті основні технічні характеристики промислових роботів та існуючі систем ВСНК. Запропоновано структурну схему контролю плоских виробів.

Також проведені розрахунки накладного вихрострумowego перетворювача, виведено рівняння прямої та зворотної кінематики розроблюваної системи, визначені основні фактори, що впливають на точність позиціонування сенсорів.

За результатами дослідження кінематики маніпулятора виявлено основні похибки позиціонування сканерів у автоматизованих системах вихрострумowego контролю і запропоновано методи їх зменшення.

Запропоновано поєднання вихрострумowego контролю і можливостей промислових маніпуляторів, що дозволяє реалізувати вихрострумовой неруйнівний контроль в автоматичному режимі і зменшити на цій основі вплив людського фактору на результати контролю. Також був створений алгоритм управління приводами сканера для стабілізації зазору між ВСП та поверхнею ОК в режимі контролю об'єктів плоскої форми за рахунок аналізу зворотної задачі кінематики. Був розроблений діючого макету 3-х координатного скануючого пристрою, який дозволяє виконувати відпрацювання системного та спеціального ПЗ для роботизованих систем ВСК.

Також було підтверджено використання можливостей 3D-принтерів для створення прототипів механічних сканерів зі складними кінематичними схемами що дозволяє суттєво зменшити час виконання досліджень на фізичних моделях системи.

Список використаної літератури

1. Неразрушающий контроль: Справочник: В 7 т. Под общ. ред. В.В.Клюева. Т.2: В 2 кн. – М.: Машиностроение, 2003. – 688с.
2. ДСТУ EN 12084:2005 «Неруйнівний контроль. Контроль вихрострумівий. Загальні вимоги і рекомендації».
3. Иванов А.А. Основы робототехники. М.: Форум, 2012. – С. 224
4. Юревич Е.И. Основы робототехники. – 2-е изд., перераб.и доп. – СПб.: БВХ-Петербург, 2005. – 416 с.
5. Сляднева Н.А. «РОБОСКОП ВТ-3000» Роботизированный комплекс вихретокового контроля / Диагностические приборы. Средства и технологии неразрушающего контроля.– 2008, №1. – С.31.
6. Сляднева Н.А. «РОБОСКОП ВТ-3000» Роботизированный комплекс вихретокового контроля / Диагностические приборы. Средства и технологии неразрушающего контроля.– 2008, №1. – С.31.
7. Куц Ю. В. Статистична фазометрія / Ю.В. Куц, Л.М. Щербак – Тернопіль: Вид-во Тернопіл. технічного ун-ту імені Івана Пулюя, 2009. – 383с.
8. Бендат Дж., Пирсол А. Прикладной анализ случайных данных. Пер. с англ. – М.: Мир, 1989. – 540 с.
9. Лурье А.И. Аналитическая механика. – М.: Физматгиз, 1971. – 632 с.
10. Гернет М.М. Курс теоретической механики: Учебник для вузов. – М.: Высшая школа, 1987. – 344 с.
11. Тетерко А.Я. Селективна вихрострумова дефектоскопія / А.Я. Тетерко, З.Т. Назарчук; НАН України. Фіз.-мех. ін-т ім. Г.В.Карпенка. - Л., 2004. - 247 с.
12. Дергунов О.В. Комп'ютеризована система вихрострумівийого неруйнівного контролю / О.В. Дергунов, Ю.В. Куц, // Системи обробки інформації. Вип. 8, Харків - 2013. - С.75-79.

13. Попов Е.П., Письменный Г.В. Основы робототехники – М.: Высш. шк., 1990. – 224 с.
14. Юревич Е.И. Основы робототехники. – 2-е изд., перераб.и доп. – СПб.: БВХ-Петербург, 2005. – 416 с.
15. Учанин В.Н. Накладні вихрострумові перетворювачі подвійного диференціювання /В.М. Учанив. –Львів: СПОЛОМ, 2013. – 268 с.
16. Вакман В.Е. Об определении понятия амплитуды, фазы и мгновенной частоты сигнала // Ради отехника и электроника.–1972.–Т.17, №5.– С.972–978.
17. S. Lawrence Marple, Jr. Computing the Discrete-Time "Analytic" Signal via FFT // IEEE Transactions on Signal Processing, vol. 47, №9, 1999.- P.2600-2603.
18. Доллиненко В.В., Шаповалов Є.В., Скуба Т.Г., Коляда В.О., Куц Ю.В., Галаган Р.М., Карпінський В.В. Роботизована система неруйнівного вихрострумовеого контролю виробів зі складною геометрією // Автоматическая сварка, № 5-6 (764), Май-июнь 2017.– С. 60-67.
19. Учанин В.Н. Вихретоковые накладные преобразователи: расширенная классификация, сравнительный анализ и характерные примеры реализации / В.Н. Учанин // Техническая диагностика и неразрушающий контроль. – 2010. – № 4. – С. 24-30.
20. Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.

Додатки

```

template <typename Element> class Queue {
public:
    Queue(int alen);
    ~Queue();
    bool push(Element elem);
    Element pop();
    bool isFull() const;
    bool isEmpty() const;
    int getFreeSpace() const;
    int getMaxLength() const;
    inline int getUsedSpace() const;
private:
    Queue(Queue<Element>& q); .
    Element* data;
    int len;
    int start;
    int count;
};

template <typename Element>
Queue<Element>::Queue(int alen) {
    data = new Element[alen];
    len = alen;
    start = 0;
    count = 0;
}

template <typename Element>
Queue<Element>::~~Queue() {
    delete data;
}

template <typename Element>
Queue<Element>::Queue(Queue<Element>& q) {}

```

```

template <typename Element>
bool Queue<Element>::push(Element elem) {
    data[(start + count++) % len] = elem;
}

template <typename Element>
Element Queue<Element>::pop() {
    count--;
    int s = start;
    start = (start + 1) % len;
    return data[(s) % len];
}

template <typename Element>
bool Queue<Element>::isFull() const {
    return count >= len;
}

template <typename Element>
bool Queue<Element>::isEmpty() const {
    return count <= 0;
}

template <typename Element>
int Queue<Element>::getFreeSpace() const {
    return len - count;
}

template <typename Element>
int Queue<Element>::getMaxLength() const {
    return len;
}

template <typename Element>
int Queue<Element>::getUsedSpace() const {
    return count;
}

```



```

#include "command.h"

Command::Command()
    command.valueX = NAN;
    command.valueY = NAN;
    command.valueZ = NAN;
    command.valueF = 0;
    command.valueE = 0;
    command.valueT = 0;

    message = "";
}

bool Command::handleGcode() {
    if (Serial.available()) {
        char c = Serial.read();
        if (c == '\n') {
            return false;
        }
        if (c == '\r') {
            bool b = processMessage(message);
            message = "";
            return b;
        } else {
            message += c;
        }
    }
    return false;
}

bool Command::processMessage(String& msg) {
    msg += ' ';
    command.id = msg[0];
    if ((command.id != 'G') && (command.id != 'M')) {
        printErr();
        return false;
    }
    int first = 1;
    int last = pos(msg, ' ', 1);
    if (last < 0) {
        printErr();
        return false;
    }
    String s = msg.substring(first, last);
    command.num = s.toInt();
    command.valueX = NAN;
    command.valueY = NAN;
    command.valueZ = NAN;
}

```

```

command.valueE = NAN;
command.valueF = 0;
command.valueT = 0;
int parsePosition = last + 1;
int i = 0;
while (i < 5) {
    char id = msg[parsePosition++];
    if (id != ' ') {
        int first = parsePosition;
        int last = pos(msg, ' ', parsePosition);
        if (last < first) {
            i = 5;
        } else {
            String floatString = msg.substring(first, last);
            float value = floatString.toFloat();
            switch (id) {
                case 'X': command.valueX = value; break;
                case 'Y': command.valueY = value; break;
                case 'Z': command.valueZ = value; break;
                case 'E': command.valueZ = value; break;
                case 'F': command.valueF = value; break;
                case 'T': command.valueT = value; break;
                default: i = 5;
            }
            parsePosition = last + 1;
        }
    } else {
        i = 5;
    }
    i++;
}
return true;
}

Cmd Command::getCmd() const {
    return command;
}

int Command::pos(String& s, char c, int start) {
    int len = s.length();
    for (int i = start; i < len; i++) {
        if (c == s[i]) {
            return i;
        }
    }
    return -1;
}

void printErr() {
    Serial.println("rs");
}

```

```
void printFault() {
    Serial.println("!!");
}
void printComment(char* c) {
    Serial.print("// ");
    Serial.println(c);
}
void printComment(String& s) {
    Serial.print("// ");
    Serial.println(s);
}
void printOK() {
    Serial.println("ok");
}
```

```
t = 0:0.1:1;
L1 = 120;
L2 = 120;
L3 = 70;
theta1 = 0.25 + 0.3*t;
theta2 = 0.2 - 0.15*t;
theta3 = 0.1 + 0.2*t;
X = (L1*cos(theta2) + L3*cos(theta3-theta2)).*cos(theta1);
Y = (L1*cos(theta2) + L3*cos(theta3-theta2)).*sin(theta1);
Z = L1 + L2*sin(theta2) - L3*sin(theta3-theta2);

figure
subplot(3,1,1)
plot(t, X)
xlabel("Time, s")
ylabel("X, mm")
grid on

subplot(3,1,2)
plot(t, Y)
xlabel("Time, s")
ylabel("Y, mm")
grid on

subplot(3,1,3)
plot(t, Z)
xlabel("Time, s")
ylabel("Z, mm")
grid on
```

```
const int stepPin = 3;
const int dirPin = 4;
void setup()
{
  pinMode(stepPin,OUTPUT);
  pinMode(dirPin,OUTPUT);
}
void loop() {
  digitalWrite(dirPin,HIGH);
  for(int x = 0; x < 200; x++)
  {
    digitalWrite(stepPin,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepPin,LOW);
    delayMicroseconds(500);
  }
  delay(1000);
  digitalWrite(dirPin,LOW);
  for(int x = 0; x < 400; x++)
  {
    digitalWrite(stepPin,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(stepPin,LOW);
    delayMicroseconds(500);
  }
  delay(1000);
}
```