

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

Приладобудівний факультет

Кафедра приладів та систем неруйнівного контролю

«На правах рукопису»
УДК _____

«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: «Система позиціонування датчиків на плоских поверхнях»

Виконала:

студентка VI курсу, групи ПК-71мп

Лисяна Юлія Вадимівна _____

Керівник:

К.т.н, доц.

Галаган Р.М. _____

Консультант з розробки 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.

Студентка _____

Київ – 2018 року

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

Кафедра приладів та 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).

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ А.Г. Протасов

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Лисяній Юлії Вадимівні

1. Тема дисертації «Система позиціонування датчиків на плоских поверхнях», науковий керівник дисертації Галаган Роман Михайлович, к.т.н., доц., затверджені наказом по університету від «__» _____ 20__ р. № _____
2. Термін подання студентом дисертації _____
3. Об'єкт дослідження: процес контролю плоских об'єктів контролю
4. Вихідні дані: апаратна платформа Arduino Uno R3, CNC шилд 3.0, Arduino IDE, програмне забезпечення Inkscape, Rabbit G-code sender, рушійні елементи - двигуни Nema 17, сервопривід Sg90, кріплення первинних перетворювачів - універсальне.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: проведення аналітичного огляду літературних джерел, огляд існуючих рішень та проведення їх аналізу, розробка конструкції та макету системи, розробка програми керування системою, дослідження макету системи
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: плакати 4шт
7. Орієнтовний перелік публікацій: одна стаття
8. Консультанти розділів дисертації

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

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Формування завдання магістерської дисертації	30.09.2017	Виконано
2	Проведення аналітичного огляду літературних джерел	20.12.2017	Виконано
3	Огляд існуючих рішень	12.02.2018	Виконано
4	Визначення конструкції системи	19.03.2018	Виконано
5	Розробка макету системи	11.06.2018	Виконано
6	Розробка програми керування системою	12.09.2018	Виконано
7	Дослідження макету системи	15.11.2018	Виконано
8	Розробка стартап-проекту	28.11.2018	
9	Аналіз результатів та формулювання висновків	04.12.2018	Виконано

Студент

Ю.В. Лисяна

Науковий керівник дисертації

Р.М. Галаган

РЕФЕРАТ

Структура й обсяг магістерської дисертації

Магістерська дисертація складається зі вступу, 5 розділів, висновку, списку використаних джерел з 25 найменувань, і містить 36 рисунків, 2 таблиці. Повний обсяг магістерської дисертації становить 89 сторінок, з яких список використаних джерел займає 3 сторінки.

Актуальність теми

Підвищення вимог до якості продукції, збільшення продуктивності основних технологічних операцій, необхідність підвищення інформативності, достовірності та отримання об'єктивного документа контролю зумовили необхідність автоматизації та візуалізації неруйнівного контролю. При ручному контролі підготовчі операції, контроль, оцінку дефектних ділянок, розшифровку результатів, їх реєстрацію та видачу висновку здійснює оператор. Якість цих операцій багато в чому залежить від його кваліфікації, психофізіологічного стану, сумлінності і навколишніх умов. Чим більше число операцій контролю буде механізовано та автоматизовано, тим об'єктивніші дані можна отримати про якість виробу.

Об'єкт дослідження – процес контролю плоских об'єктів контролю.

Предмет дослідження – система для переміщення датчика по поверхні плоского об'єкта контролю.

Мета та задачі дослідження

Метою дисертаційної роботи є розробка системи для позиціонування датчиків на плоских поверхнях.

Для досягнення поставленої мети були поставлені наступні задачі:

- Провести аналіз скануючих систем за їх характеристиками та призначенням.
- Визначити переваги та недоліки кожного типу; охарактеризувати типи скануючих систем та їх функціональні властивості.
- Розробити систему, яка буде оснащена усім необхідним для можливості позиціонування датчиків на плоских поверхнях.
- Провести необхідні розрахунки системи.

- Обрати та обґрунтувати можливі варіанти матеріалу, комплектації та способу виготовлення такої системи; змодельовати дану систему.

Ключові слова: *СКАНУЮЧА СИСТЕМА, ПОЗИЦІОНУВАННЯ, ПОЗИЦІОНУВАННЯ ДАТЧИКА НА ПЛОСКИХ ПОВЕРХНЯХ*

ABSTRACT

Structure and volume of the master's dissertation

The master's thesis consists of an introduction, 5 chapters, a conclusion, a list of used sources of 25-titles, and contains 37 figures, 2 tables. The full volume of the master's dissertation is 89 pages, from which the list of used sources takes 3 pages.

Actuality of theme

Increasing the requirements for the quality of products, increasing the productivity of the main technological operations, the need to increase the informativity, reliability and obtaining an objective document of control have necessitated the automation and visualization of non-destructive testing. With manual control of preparatory operations, control, evaluation of defective areas, decoding of results, their registration and issuance of a conclusion is carried out by the operator. The quality of these operations depends largely on his qualifications, psycho-physiological state, integrity and environment. The greater the number of control operations will be mechanized and automated, the more objective data can be obtained about the quality of the product.

The object of research is the process of controlling flat objects of control.

Subject of research - a system for moving the sensor on the surface of a plane object of control.

Purpose and tasks of the research

The purpose of the dissertation is to develop a system for positioning sensors on flat surfaces.

To achieve the goal, the following tasks were set:

- Analyze scanning systems according to their characteristics and purpose.
- Identify the advantages and disadvantages of each type; characterize the types of scanning systems and their functional properties.
- Develop a system that will be equipped with everything necessary for the positioning of gauges on flat surfaces.

- Carry out the necessary calculations of the system.
- To select and substantiate the possible variants of the material, equipment and method of manufacturing such a system; simulate this system.

Keywords: *SCANNING SYSTEM, POSITIONING, POSITIONING OF THE SENSOR ON THE FLAT SURFACE*

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	10
ВСТУП.....	11
АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД	12
1.1 Пристрої сканування.....	12
1.2 Види передач	14
1.2.1. Зубчата передача	14
1.2.2 Черв'ячна передача.....	17
1.2.3 Передача гвинт-гайка	20
1.2.4 Фрикційна передача.....	21
1.2.5. Ремінна передача	23
1.2.6. Ланцюгова передача.....	24
1.3. Характеристика координатно-вимірювальних машин	26
1.3.1 Конструкція базової частини КВМ	28
1.3.2 Класифікація КВМ	29
1.4 Застосування пристроїв сканування в неруйнівному контролі	31
Висновки до розділу 1	36
2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СКАНУЮЧОГО ПРИСТРОЮ	37
2.1 Лінійні направляючі.....	37
2.2 Різьбовий стержень	38
2.3 Лінійний підшипник LM8UU	40
2.5 Гвинтовий ремінь GT2.....	41
Висновки до розділу 2	42
3. СХЕМОТЕХНІКА ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СКАНУЮЧОГО ПРИСТРОЮ.....	43
3.1 Кроковий двигун Nema 17.....	43

	9
3.2 Драйвер крокововго двигуна A4988	44
3.3 Сервопривід Sg90	48
3.4 Апаратна платформа Arduino Uno	49
3.4.1 Мікроконтролер ATmega328.	51
3.4 CNC шилд	52
3.5 Програмне забезпечення	53
4. ПОХИБКИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ.....	58
Висновки до розділу 4	61
5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	62
5.1 Опис ідеї проекту	62
5.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	64
5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	64
5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	73
5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	75
Висновки до розділу 5	77
ВИСНОВКИ.....	79
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	81

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ОК – об'єкт контролю

НК – неруйнівний контроль

КВМ – координатно-вимірювальна машина

$M_{\text{вих}}$ – вихідний момент

$P_{\text{вих}}$ – поступальний рух

$N_{\text{вих}}$ – потужність

ВСТУП

Підвищення вимог до якості продукції, збільшення продуктивності основних технологічних операцій, необхідність підвищення інформативності, достовірності та отримання об'єктивного документа контролю зумовили необхідність автоматизації та візуалізації неруйнівного контролю. При ручному контролі підготовчі операції, контроль, оцінку дефектних ділянок, розшифровку результатів, їх реєстрацію та видачу висновку здійснює оператор. Якість цих операцій багато в чому залежить від його кваліфікації, психофізіологічного стану, сумлінності і навколишніх умов. Чим більше число операцій контролю буде механізовано, тим об'єктивніші дані можна отримати про якість виробу.

Технологія ручного контролю складається з ряду простих і складних операцій. Оператор переміщує перетворювач в необхідній зоні по складній траєкторії, безперервно спостерігає за екраном дефектоскопа і виконує логічні операції з переробки отриманої інформації та оцінки якості контрольованого виробу. Така напружена робота призводить до швидкого фізичного стомлення оператора, внаслідок чого відбувається пропуск дефектів.

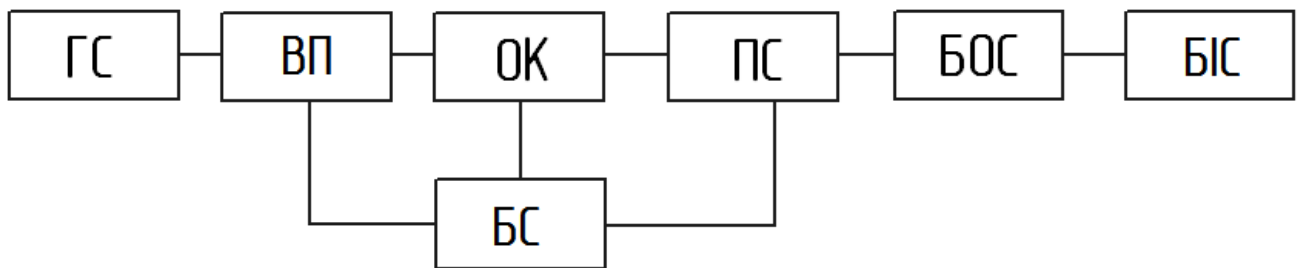
Одним з основних недоліків ручного контролю є те, що після нього не залишається об'єктивних документів (дефектограми), за якими можна було б контролювати роботу операторів. Це обумовлює залежність оцінки якості контрольованого виробу від кваліфікації, фізичного стану і умов роботи оператора.

Автоматизація контролю значно підвищує його продуктивність і достовірність

АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД

1.1 Пристрої сканування

В системах неруйнівного контролю дуже важливим елементом є скануючий пристрій. Завдяки скануючим пристроям можна виконувати контроль об'єкта як швидше, так і точніше, адже зменшується вплив різних факторів. Для якісного виконання контролю необхідно організувати або переміщення по певній траєкторії блока первинного перетворювача, або переміщення об'єкту контролю відносно блоку первинного перетворювача, а іноді взаємне переміщення об'єкту контролю та перетворювача.



Узагальнена схема системи неруйнівного контролю представлена на рис.1.

Рис. 1. Узагальнена блок-схема системи неруйнівного контролю

ГС – генератор сигналів, ВП – випромінювач сигналів, ОК –об'єкт контролю, ПС-приймач сигналів, БОС – блок обробки сигналів, БІС – блок-індикатор сигналів, БС– блок сканування

Головна необхідність використання скануючого пристрою пов'язана з тим, що малими по розміру первинними перетворювачами потрібно контролювати доволі великі по площі або по довжині об'єкти.

Скануючі пристрої – це системи, призначенням яких є переміщення датчиків по площині контрольованого об'єкта, або переміщення об'єкта контролю по відношенню до датчика. Як правило, скануючі пристрої можуть бути механічні, або електро-механічні. Частіше за все, в системах неруйнівного контролю є необхідність реалізовувати складні переміщення. В таких випадках розробляються системи, в яких рухаються як датчики, так і об'єкт контролю.

Переміщення датчика в просторі можна виконати шляхом ручного, механічного чи електронного сканування.

Ручне сканування виконується оператором, коли він переміщує датчик по бажаній траєкторії. Значною перевагою ручного сканування є можливість організувати будь-якою траєкторію коли необхідно просканувати складну деталь. Недоліком ручного сканування є той факт, що неможливо визначити і задокументувати поточні координати.

Завдяки механічному скануванню є можливість максимально автоматизувати процес сканування.

Враховуючи кількість координат, по яким може рухатись перетворювач, скануючі системи поділяють на однокоординатні, двокоординатні, трикоординатні. За видом переміщення сканери бувають лінійно-поступальні, обертальні, комбіновані. Зважаючи на характер поверхні ОК, скануючі системи можуть бути, відповідно, для плоских, циліндричних, а також для складних поверхонь. В залежності від способу, яким сканер кріпиться до поверхні ОК, вони бувають механічні або магнітні. За видом сигналу управління аналогові або цифрові.

При розробці конструкції скануючого пристрою повинні бути продумані наступні питання:

- вид переміщення перетворювача й ОК відносно один одного;
- кінематичні характеристики переміщення ОК або перетворювача, а саме: швидкості, кути повороту, наявність прискорень;
- необхідна точність операції контролю, що визначається такими величинами: дефектами і їхньою величиною, які необхідно визначити.

Параметри скануючого пристрою повинні бути розраховані і обрані відповідно до методу неруйнівного контролю, виду і параметрів об'єкта контролю, а також очікуваного місця положення й розмірам дефекту.

Основні параметри, що характеризують скануючі пристрої :

- вид і величина переміщення;
- швидкість переміщення;

- розміри зони контролю;
- крок сканування;
- момент або сила корисного опору (вага перетворювачів, орієнтовна вага платформ, і т. д.)

Параметри, які використовуються при проектуванні:

- Виконавчий механізм – механізм, де кріпиться блок перетворювачів
- Силкові характеристики: вихідні моменти $M_{вих}$, поступальний рух $P_{вих}$, потужність $N_{вих}$;
- Геометричні характеристики: довжина переміщення S , кут повороту, коефіцієнт простору (x, y, z) , додаткові геометричні розміри;
- Експлуатаційні характеристики: робота доменної печі, робота у вакуумі, робота з агресивними засобами й т. д.;
- Група характеристик, які визначають точність і швидкодію механізму.

1.2 Види передач

1.2.1. Зубчата передача

Два колеса із зубами, якими вони зчіплюються між собою – саме такий вигляд має проста зубчата передача (рис. 1, а ... і). Перетворення обертового руху ведучого зубчатого колеса, в обертовий рух веденого зубчатого колеса відбувається тоді, коли зуби першого колеса натискають на зуби другого. Шестернею називається колесо, яке є меншим за розміром. Колесо, яке має більший розмір, називається колесом. Вісі валів, між якими можуть перетворювати рух зубчаті передачі, можуть бути паралельні (рис. 1, а-г), пересічні (рис. 1, д-ж) та перехресні (рис. 1, з, і).

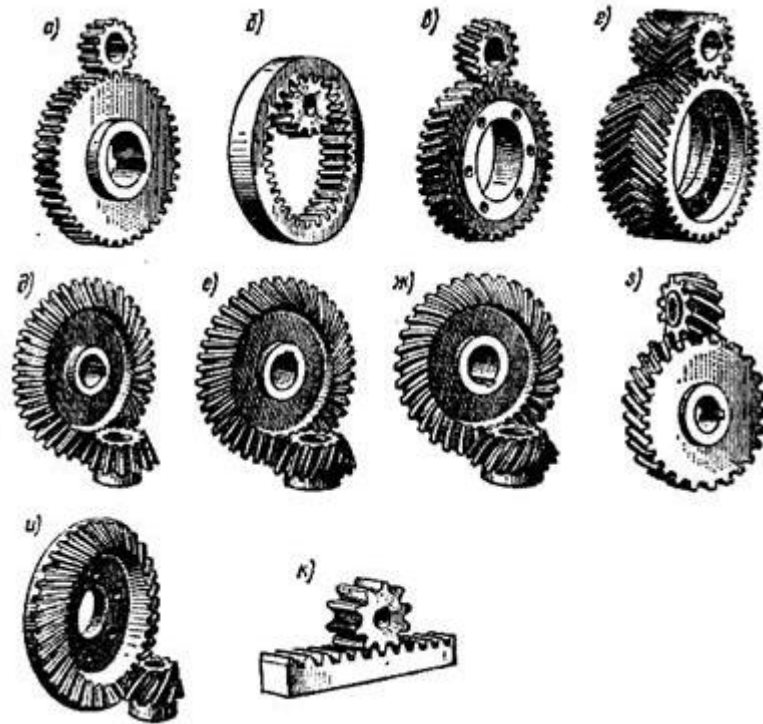


Рис. 1. Зубчата передача

В загальному випадку, в конічних та гвинтових передачах, кут між геометричними вісями валів становить 90° , хоча також він може бути в межах 180° . Значення кута зхрещування валів 90° приймають в гіпоїдній передачі. Бувають зубчасті передачі із зовнішнім (рис. 1, а) і внутрішнім зачепленням (рис. 1, б) – це залежить від взаємного розташування зубчатих коліс. В передачах із внутрішнім зчепленням колеса обертаються в одну сторону, на відміну від передач із зовнішнім [13].

Порядок за яким можна розрахувати зубчату передачу

Визначення сумарного числа зубів коліс

$$z_{\Sigma} = \frac{2a_w \cdot \cos\beta}{m}$$

(Округлюється до найближчого цілого числа).

Кут нахилу зуба приймається рівним $\beta = 0$ для прямозубих передач.

Розрахунок числа зубів шестерні

$$z_1 = \frac{z_\Sigma}{1 + u_{12}}$$

(Округлюється до найближчого цілого числа).

Визначення числа зубів колеса

:

$$z_2 = z_\Sigma - z_1$$

Передаточне відношення, під час розрахунку зубчатих передач, можна виразити через відношення кількостей зубів:

$$u_{12} = \frac{z_2}{z_1}$$

Якщо відмінність у значеннях між обчисленим і заданим передаточними відношеннями перевищуватиме 5%, то необхідно провести заміну значень z_1 і z_2 в межах z_Σ .

Визначення ділильної міжосьової відстані

$$a = \frac{z_\Sigma \cdot m}{2}$$

Міжосьова відстань відповідає ділильній відстані, якщо маємо зубчасту передачу без зміщень:

$$a_w = a$$

Розрахунок кута зачеплення передачі:

$$\cos \delta_w = \frac{a}{a_w} \cdot \cos \alpha$$

Кут зачеплення відповідає куту профілю вихідного контуру, якщо маємо зубчасту передачу без зміщення

$$a_w = a = 20^\circ$$

1.2.2 Черв'ячна передача

Черв'ячна передача утворюється з гвинта, який називається черв'яком, та черв'ячного колеса і відноситься до категорії зубчато-гвинтових передач. Якщо в зубчато-гвинтовій передачі кути нахилу зубів прийняти такими, щоб зуби шестірні охоплювали її навколо, то зуби перетворюються в витки різьблення, шестерня - в черв'як, а передача - з гвинтової зубчастої в черв'ячну.

Початковий контакт ланок відбувається по лінії, а не в точці – це є головною перевагою черв'ячної передачі. Зазвичай, кут схрещування валів черв'ячного колеса та черв'яка становить 90° , але, загалом, він може бути будь-яким. Обід черв'ячного колеса увігнутої форми, і це, в свою чергу, сприяє деякому обляганню черв'ячна і також збільшенню довжини контактної лінії. Напрямок та кут підйому зубів черв'ячного колеса такі ж, як і у витків різьби черв'яка. Різьба в черв'яка може бути одноходова або багатиходова, а також ліва або права. Найпоширеніше праве різьблення з числом заходів $z_1 = 1-4$.

Циліндричні та глобоїдні – два основні види черв'ячних передач. Черв'яки бувають: архимедові, конволютні, евольвентні і з увігнутим профілем витків. Архимедов черв'як (рис. 2, а) має трапецевидну форму різьби в перерізі. Черв'як одержав таку назву через те, що його витки різьблення у торцьовому січенні окреслені архимедовою спіраллю. У конволютного черв'яка трапецевидний профіль різьблення в нормальному перетині витків. Евольвентний профіль різьблення в перерізі має евольвентний черв'як (рис. 2,б). Найпоширенішими в машинобудуванні є архимедові черв'яки, оскільки їх технологія виробництва не складна і гарно розроблена. Архимедові черв'яки в основному застосовують без шліфування.

Найпоширенішими є черв'ячні передачі без зміщення. Черв'ячні передачі зі зміщенням застосовують при необхідності вписання в задану або стандартну міжосьову відстань.

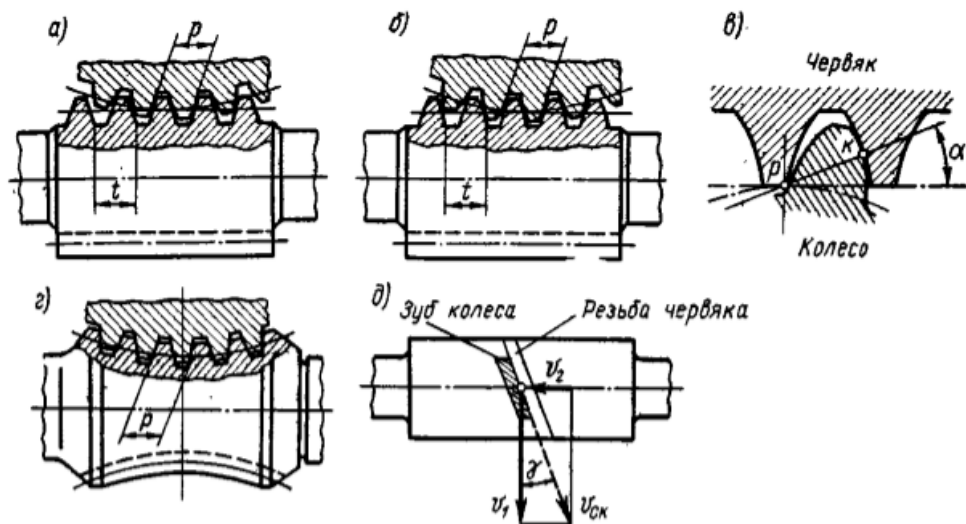


Рис. 2. Черв'ячна передача

Основні позначення та співвідношення черв'ячної передачі з циліндричним черв'яком, який в осьовому перерізі має прямолінійний профіль витка і коли кут між осями колеса та черв'яка = 90° , є наступними осьовий модуль

$$m = \frac{2A}{q + z_k + 2\zeta}$$

α — кут зачеплення ,

кут підйому черв'яка по ділильному циліндру

$$\varphi = \arctg\left(\frac{z_{\text{ч}}}{q}\right)$$

число заходів черв'яка

$$z_{\text{ч}} = \frac{z_i}{i}$$

кількість зубів колеса

$$z_k = iz_{\text{ч}}$$

число модулів у діаметрі ділильного кола черв'яка

$$q = \frac{d_{\text{д.ч}}}{m}$$

f' — коефіцієнт висоти зуба , s — коефіцієнт радіального зазору ,

діаметр ділильного кола черв'яка

$$d_{\text{д.ч}} = qm$$

діаметр ділильного кола колеса

$$d_{д.к} = z_k m$$

діаметр початкового кола черв'яка

$$d_{ч} = m(q + 2\xi)$$

діаметр кола виступів черв'яка

$$D_{в.ч} = d_{д.ч} + 2fm$$

діаметр кола виступів колеса (у середній площині)

$$D_{в.к} = d_{д.к} + 2m(f + \xi) = 2A - d_{д.ч} + 2m(f + \xi)$$

діаметр кола западин черв'яка

$$D_{іч} = d_{д.ч} - 2m(f + c)$$

діаметр кола западин колеса (у середній площині)

$$D_{ік} = d_{д.к} + 2m(f + c - \xi) = 2A - d_{д.ч} + 2m(f + c - \xi)$$

міжосьова відстань

$$A = \frac{d_{іч} + d_{д.к}}{2} = \frac{m(q + z_k + 2\xi)}{2}$$

передаточне відношення

$$i = \frac{z_k}{z_{ч}} = \frac{n_k}{n_{ч}} = \frac{\omega_k}{\omega_{ч}}$$

номінальний і розрахунковий крутні моменти на колесі

$$M_{к.н} = i\eta M_{ч.н}$$

$$M_{к.р} = M_{к.н} k_1 k_2 k_3 k_4$$

номінальна і розрахункова потужності на колесі

$$N_{к.н} = \eta N_{ч.н}$$

$$N_{к.р} = N_{к.н} k_1 k_2 k_3 k_4$$

$M_{ч.н}, N_{ч.н}$ — номінальні крутні момент і потужність на черв'яку;

колова швидкість черв'яка

$$v_{ч} = \frac{\pi \cdot d_{д.ч}}{60}$$

1.2.3 Передача гвинт-гайка

Передачі гвинт-гайка застосовуються в різноманітних механізмах та машинах. В основному використовуються для того, щоб перетворити обертальний рух в поступальний. Також в деяких випадках використання даної передачі може привести до значного виграшу в силі.

Завдяки даній передачі можна отримати повільний рух, а також високу точність переміщень. При цьому, конструкція передачі проста і недорога. Це можна віднести до переваг передачі гвинт-гайка.

Щодо недоліків передачі, то вона має низький коефіцієнт корисної дії. Застосування передачі гвинт-гайка є самим різноманітним – верстати, підйомно-транспортні машини, вимірювальні прилади, гвинтові преси, прокатні стани. Зазвичай гайка виготовляється у формі втулки з фланцем, для можливої її осевого кріплення, а гвинт виконують у вигляді циліндричного стержня, на якому більшу частину довжини займає різьба. Бувають випадки, коли необхідно застосовувати більш складні конструкції гайки і гвинта.

Найпоширеніший вид передачі гвинт-гайка – коли гвинт виконує обертальний рух, а гайка поступальний; далі, коли гайка нерухома, а гвинт одночасно виконує і обертальний, і поступальний рух; далі, коли гайка виконує обертальний рух, а гвинт – поступальний. Також можна зустріти передачі, які мають дві гвинтові пари. Існують передачі гвинт-гайка, в яких тертя ковзання замінили на тертя кочення, - кулькові гвинтові пари (рис. 3). До складу такої передачі входить гайка, гвинт і кульки, які заповнюють простір між западинами різьблення. Перший і останній витки різьблення гайки з'єднує замкнений канал, по якому і відбувається переміщення кульок. Основні відмінності в різноманітності конструкцій кулькових гвинтових пар – розташування каналу для кульок та профіль різьблення. Кулькові гвинтові пари мають високий ккд та мають можливість повного усунення осевого і радіального зазорів. Саме це можна назвати перевагами даного виду передач. Передачі такого типу набули широкого застосування в механізмах підйому і спуску шасі в літаках, механізмах подач верстатів з програмним керуванням і т.д.

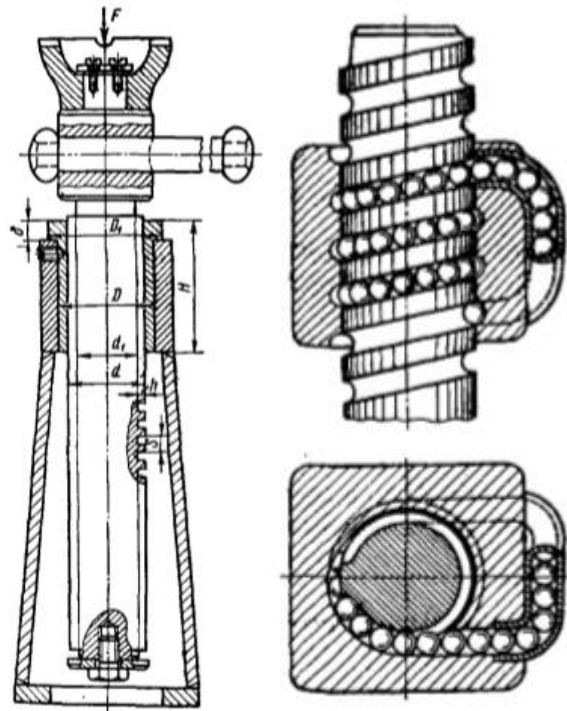


Рис. 3. Передача гвинт-гайка

1.2.4 Фрикційна передача

Два дотичних між собою колеса (диска, ролика, катка) утворюють саму звичайну фрикційну передачу. В точці, де колеса контактують, утворюються сили тертя, завдяки яким оберти першого колеса перетворюються в оберти другого колеса. Завдяки притисканню коліс одне до одного, утворюється необхідна сила тертя між ними. Способи, з допомоги яких здійснюється постійна сила притискання будуть описані далі: використання спеціальних пружин чи пружних деталей для початкового притиснення; відцентрова сила; власна маса машини чи вузла. Використовуючи особливі притискні механізми можна досягнути мінливої сили притиснення.

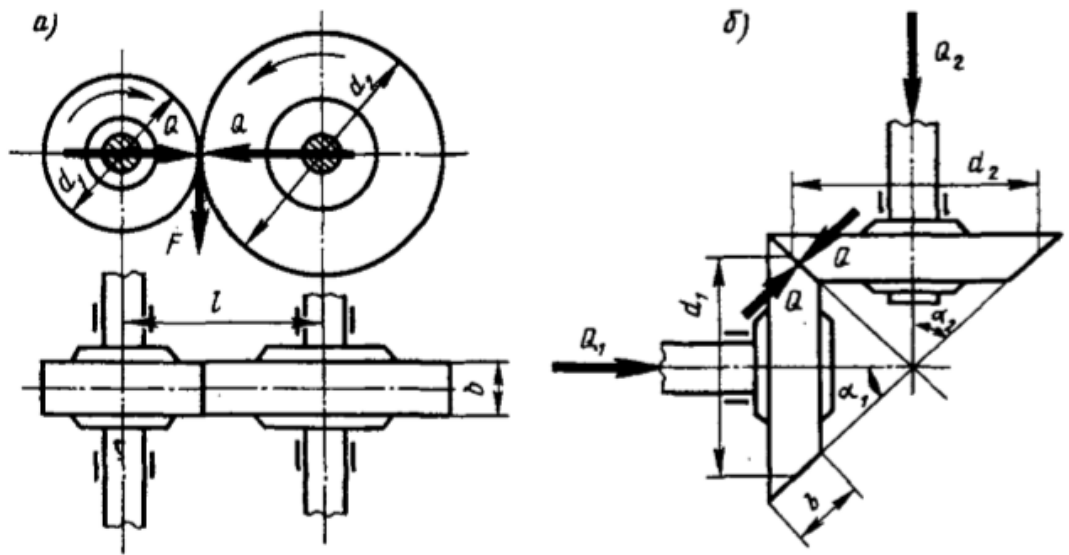


Рис. 4. Фрикційна передача

Фрикційна передача, в залежності від її конструкції та призначення може бути кількох видів. Циліндрична передача – сама проста передача між паралельними валами (рис. 4, а). Конічна передача – сама проста фрикційна передача між валами з осьовими лініями які перетинаються (рис.42,б). В основному, кут між валами конічної передачі становить 90° , але, взагалі, він може бути будь-яким. Необхідна загальна вершина для обох конусів для того, щоб колеса конічної передачі працювали правильно.

Умова, завдяки якій передача є працездатною:

$$T_{\text{тр}} \geq F,$$

F - передавальне окружне зусилля; $T_{\text{тр}}$ - сила тертя в місці контакту.

Окружне зусилля – це сила, завдяки якій обертається шків, колінчастий вал, маховик і т. д., ця сила напрямлена по дотичній до окружності, по якій рухається точка докладання цієї сили. Визначають окружне зусилля за формулою:

$$F = \frac{M}{r},$$

де: M - крутний момент; r - відстань від точки прикладання окружного зусилля до осі обертання.

У випадку, коли відбувається порушення цієї умови, відбувається буксування – іншими словами, один каток не обертається, а інший ковзає по ньому.

1.2.5. Ремінна передача

Два шківів – ведучий і ведений, з'єднані закріпленими з натягом ременями, і розташовані на певній відстані один від одного – таким є найбільш загальний вид ремінної передачі. Завдяки силі тертя, яка виникає між ременем та шківом, обертання ведучого шківів перетворюється в обертання веденого. Ремені, в залежності від форми поперечного перерізу, можуть бути плоскі (рис. 5, б), клинові (рис. 5, в), поліклинові (рис. 5, г) і круглі (рис. 5, д) приводні.

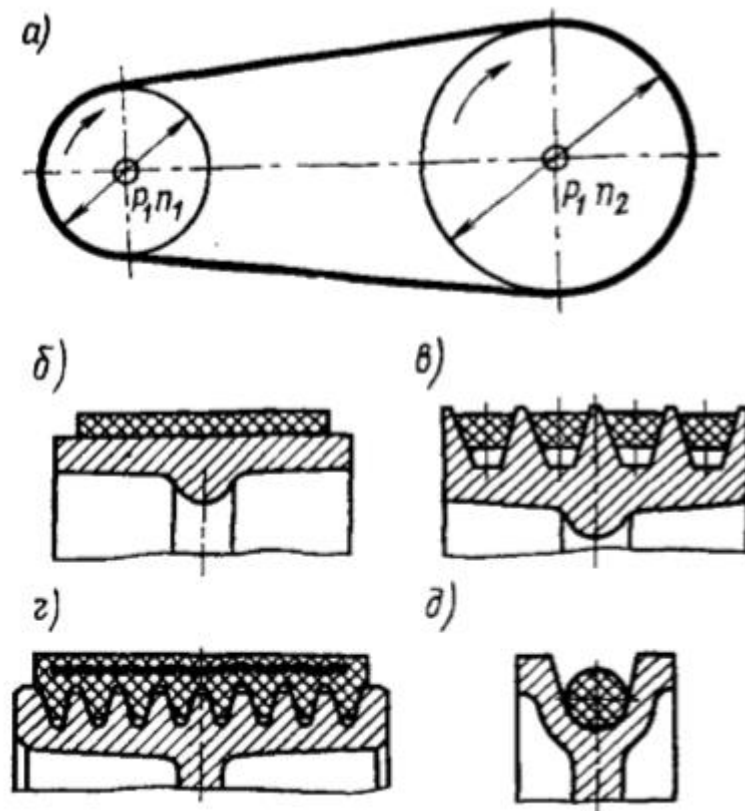


Рис. 5. Ремінна передача

Поперечний переріз плоского ременя має прямокутну форму, в якій товщина значно менша за ширину. Чим товстіший ремінь, тим він буде менш гнучким. Трапецевидну форму перетину мають клинові ремені. Клиновий ремінь своїми бічними сторонами, які є його робочою поверхнею, стикається до бічних сторін канавки (жолоба) шківів. Для того щоб між ременем і дном канавки шківів утворювався зазор, то глибина канавок шківів приймається більшою за висоту перетину ременя. Ремені характеризуються підвищеним

зчепленням, а, відповідно, й підвищеною тяговою здатністю, оскільки мають клинову взаємодію зі шківками. Поздовжні клинові виступи на робочій поверхні – ребра, що входять в клинові канави шківів, мають плоскі поліклинові ремені. В цих ременях добре поєднуються переваги як плоских, так і клинових ременів – вони гнучкі та мають підвищену зчіплюваність зі шківками.

Передачі класифікують у відповідності до форм поперечного перерізу ременя – плоскоремінні, клиноремінні, круглоремінні та поліклинові передачі. Найпоширенішими є передачі клиноремінні та плоскоремінні. Плоскоремінна передача простіша, проте клиноремінні передачі мають підвищену тягову здатність і менші габарити.

Ремінні передачі працюють безшумно та плавно, завдяки тому, що ремені еластичні. Для великих міжосьових відстаней використовують плоскоремінні передачі. Швидкість, при якій можуть працювати плоскоремінні передачі, може досягати 100м/с. Коли міжосьові відстані малі, а передаточні відношення великі, то використовують клиноремінні передачі.

1.2.6. Ланцюгова передача

Два колеса, котрі називаються зірочками, і розташовані на певній відстані одне від одного, а також ланцюг, який охоплює ці зірочки, разом утворюють ланцюгову передачу (рис. 6, а). Завдяки тому, що ланцюг зчеплений із зубами зірочок, оберти ведучої зірочки перетворюється в оберти веденої. В деяких випадках можуть застосовуватись ланцюгові передачі з декількома ведучими зірочками. В спеціальні кожухи, які називаються картерами, необхідно поміщати ланцюгові передачі, котрі працюють при великих навантаженнях і швидкостях (рис. 6,б) Це забезпечує зменшення шуму, захист передачі від забруднень, постійне змащування ланцюга.

Порівнюючи ланцюгові передачі з ремінними, можна сказати, що ланцюгові мають ряд переваг – у них відсутнє прослизання, вони компактні, вони діють менше навантаження на підшипники та вали, саме тому немає потреби встановлювати великий початковий натяг ланцюга. ККд ланцюгових передач становить 0,98.

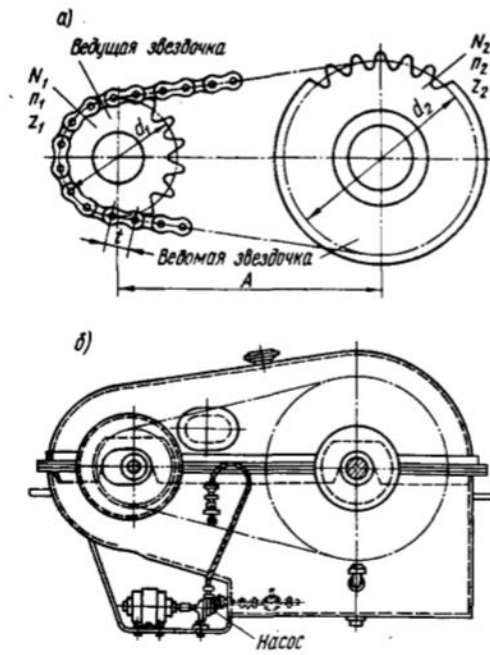


Рис. 6. Ланцюгова передача

Ланцюгові передачі мають також свої недоліки – через зношення шарнірів та розтягнення пластин, ланцюг подовжується, і через це він може мати неспокійний хід; чим більша швидкість руху ланцюга, та чим менше зубців на меншій зірочці, тим більшими будуть динамічні навантаження, котрі виникають через змінні прискорення, які присутні в елементах ланцюга; передача шумить під час роботи; при експлуатації передачі, за нею необхідно уважно доглядати.

У разі, коли зубчасті передачі неможливо використовувати через те, що вони громіздкі, а ремінні передачі не відповідають вимогам сталості передавального відношення та вимогам компактності, саме тоді використовують ланцюгові передачі, для забезпечення великих міжосьових відстаней. Використовуються передачі, потужністю до 5000 кВт при окружних швидкостях до 30-35 м/с в залежності від конструкції ланцюгів. У верстатах, будівельних, транспортних та сільськогосподарських машинах використовують найпоширеніші ланцюгові передачі, з потужністю до 100 кВт при окружних швидкостях до 15 м/с.

Точність виготовлення елементів зірочки, а також якість та твердість поверхні зубів значною мірою впливають на працездатність ланцюгової

передачі. Оскільки розмір та форма профілів зубців залежить від типу ланцюга, то саме це різнить конструкцію зірочки від конструкції зубчатого колеса. [14].

Через центри шарнірів ланцюга проходить ділительний діаметр зірочки

$$d = \frac{P}{\sin \left| \frac{180}{Z} \right|}$$

За хордою ділительного кола можна виміряти крок P у зірочки.

Діаметр d_a вершин зубців зірочок визначається за формулами:

для втулкових і роликкових ланцюгів

$$d_a = t \left| \operatorname{ctg} \left| \frac{180}{Z} \right| \right| + 0.58 \dots 0.5|$$

для зубчастих ланцюгів

$$d_a = t \operatorname{ctg} \left| \frac{180}{Z} \right|$$

Оскільки

$$\frac{d_2}{d_1} = \frac{\sin \left| \frac{180}{Z_1} \right|}{\sin \left| \frac{180}{Z_2} \right|} \neq \frac{Z_2}{Z_1}$$

не можна виразити передаточне число через ділительний діаметр, тобто

$$i = \frac{\omega_1}{\omega_2} = \frac{n_1}{n_2} = \frac{Z_1}{Z_2}$$

1.3. Характеристика координатно-вимірювальних машин

Координатно-вимірювальна машина (КВМ) – установка, яка призначена для вимірювання геометричних характеристик об'єкту. Керування КВМ може відбуватися як оператором – вручну, так і комп'ютером – автоматизовано. Виміри здійснюються з використанням перетворювача, який прикріплено до рухливої вісі машини. Вимірювальні перетворювачі відрізняються між собою по принципу своєї дії (оптичні, тензометричні, електро-контактні, ємнісні,

індукційні, п'єзометричні), сигналу який отримується на виході (аналогові, дискретні), способу вимірювання (контактні, безконтактні), типу вимірювання (скануючі, тригерні) та інші. [1]

Напіваавтоматичні системи КВМ були створені в середині ХХ ст. Автоматична КВМ на основі ЕОМ була розроблена в Англії, в 1970-х роках.

Стандартна «мостова» КВМ має три вісі – X, Y і Z. Вісі утворюють тривимірну систему координат, оскільки вони ортогональні між собою. Розташування кожної вісі визначається з масштабу, який є у кожній вісі, і для кожної з них він свій. За указівкою комп'ютера чи оператора, машина знімає показання з встановленого перетворювача. Для того щоб визначити розташування і розмір, машина застосовує всі три координати кожної точки яку вона отримала. КВМ має свою точність вимірювання. Зазвичай, вона становить близько мікрона, або мікрометра, що, в свою чергу, становить одну мільйонну частину метра.[13]

Шестиосьова координатно-вимірювальна машина (гексапод) побудована на основі паралельної кінематики. [2] На відміну від триосьової, в ній відсутні портали і мости. Конструктивно, КВМ представляє собою «паралельну структуру» у вигляді перевернутої усіченої піраміди. В основі піраміди розташовуються сферичні шарніри, які служать точками відліку для вимірювальної системи. Шість вимірників безпосередньо пов'язані з рухомою кареткою, на якій розташовується вимірювальна головка з датчиком. [3]

Основне застосування КВМ, як у складальному, так і у виробничому процесі – це перевірка геометричних розмірів деталей, а також порівняння запланованого дизайну з результируючою збіркою. Масиви даних, які створюються після того, як були зібрані координати множини точок необхідної деталі, підлягають аналізу з використанням різноманітних регресійних алгоритмів. Саме завдяки зонду, позиціонування якого відбувається вручну оператором або з використанням прямого управління комп'ютером - автоматично, відбувається збирання даних про точки. КВМ може вважатися

спеціалізованою формою промислового робота, оскільки її можна запрограмувати на потоковий конвеєрний аналіз.

Метод вимірювання, який застосовується в КВМ – координатний: він базується на тому, що послідовно знаходяться координати ряду точок деталі і потім проводиться розрахунок розмірів, їх відхилень, та положення у конкретних системах координат.[4]

Конструкція КВМ реалізує ідею мехатронних систем в верстатобудуванні і забезпечує високу жорсткість корпусу і прецизійне функціонування механіки. Навіть не використовуючи спеціальний фундамент, а з використанням лише віброопор, можна забезпечити високоточні вимірювання. Одним з головних елементів КВМ є вимірювальна головка, оскільки вона має похибку інформації, яка, в свою чергу, має безпосередній вплив на результати вимірювань. В залежності від завдань метрологічного типу, які можуть зустрічатись на практиці, в КВМ застосовуються різноманітні типи інформаційних головок. Розміри деталі визначаються на базі первинної інформації, яка в будь-якому випадку отримується з вимірювальної головки. Інформація, отримана з інформаційної головки, може бути надана у вигляді фактичних координат точок поверхні що контролюється, або у вигляді відхилень цих координат від заданих в певному напрямку [4].

1.3.1 Конструкція базової частини КВМ

Процес відліку координат точок поверхні деталі, тобто безпосередньо процес вимірювання, здійснюється на базовій частині КВМ. До складу базової частини входить механічна частина КВМ, яка матеріалізує систему координат КВМ і включає прецизійні вузли координатних переміщень, пристрої для установки вимірюваної деталі, вузли для підтримки горизонтального положення, вузли віброізоляції, вимірювальні головки, електромеханічні приводи, вимірювальні перетворювачі лінійних (кругових) переміщень, калібратори і т.д. Один з можливих варіантів базової частини КВМ представлений на рис.8.

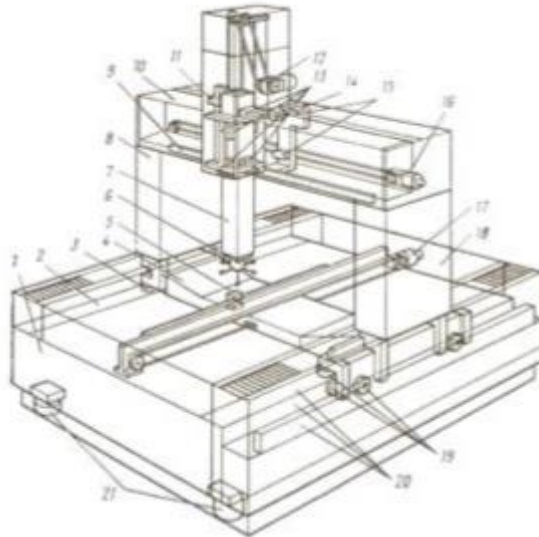


Рис. 8 Схема базової частини КВМ - основа; 2,20 - напрямні основи; 3,19 - підшипники порталу; 4, 8, 10, 18 - замикаючий місток, стійки і балка порталу; 5, 9, 11 - ПП порталу, каретки, пінолі; 6 – вимірювальна головка; 7 - піноль; 12, 16, 17 - приводи пінолі, каретки порталу; 13, 15 - підшипники пінолі і каретки; 14 - каретка; 21 - віброізолюючі опори.

Точність та швидкодія вимірювання координат є головними функціональними показниками базової частини КВМ.

1.3.2 Класифікація КВМ

За ступенем автоматизації трикоординатні системи бувають:

- ручні (рис.9)
- напівавтоматичні (рис.10)
- автоматичні (рис.11)



Рис.9 Ручний трикоординатний прилад. ВП- відліковий пристрій; ЦПМ- принтер

Оператор власноруч виконує будь-які операції, що пов'язані з вимірюванням деталі на ручному типі КВМ. Переміщення перетворювача відбувається вручну. По кожній координаті прилад оснащують датчиками переміщень, які в свою чергу мають блоки цифрового відліку положення виконавчих органів. Вимір міжцентрових відстаней; визначення відстаней між площинами; визначення координат точок плавних криволінійних поверхонь – найтипівіші операції для даного виду приладів.. На даний момент такий вид машин майже не випускається.[5]

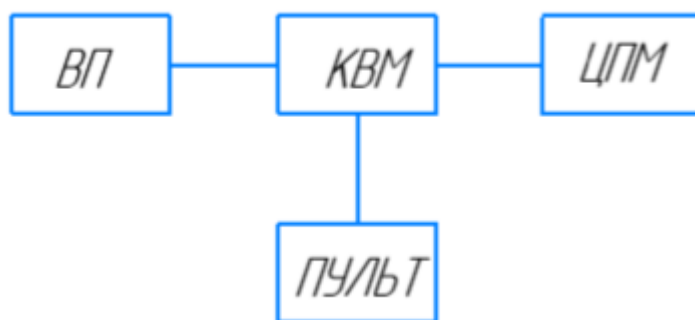


Рис.10 Напівавтоматичний трикоординатний прилад

Даний тип КВМ має певні частково або повністю автоматизовані функції зчитування, обробки і запису результатів вимірювань. Оператором вручну виконуються дії по взаємному переміщенню вимірювальної головки і вимірюваної деталі. Даний тип машин займає проміжну ланку між автоматичними та ручними КВМ. Дані КВМ мають низьку продуктивність, але водночас забезпечують високу точність вимірювання. Саме з цих причин дані машини не набули широкого застосування в цехових умовах. Вони більше пристосовані для того, щоб вимірювати корпусні деталі, які мають геометрію, яка описана такими елементарними поверхнями, як куля, конус, циліндр, площина.[5]

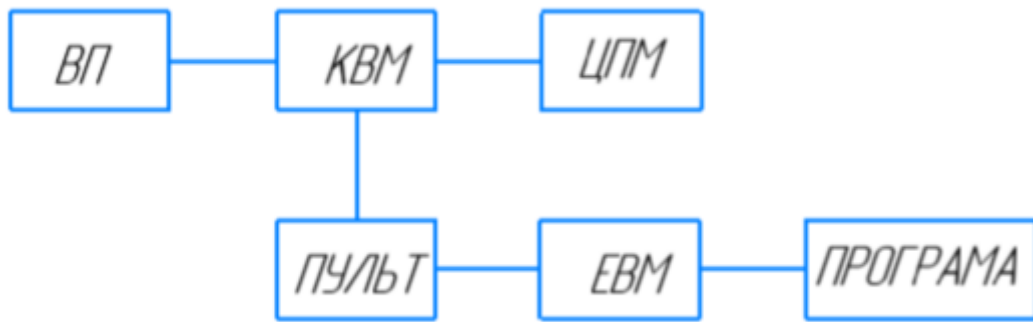


Рис.11 Автоматичний трикоординатний прилад

В автоматичному режимі виконуються всі операції автоматичних КВМ. Вимірювання деталей найрізноманітнішої конфігурації можна проводити з використанням даного типу машин. Коли необхідно вимірювати деталі складної форми, такі як корпуси автомобілів, кулачкових валів, колінчастих валів, лопаток турбін, коробок передач та ін., саме тоді будуть використовуватися такі типи машин – автоматизовані. В результаті, на дисплеї отримується детальна інформація про форму і розміри контрольованої деталі відразу після того, як вся інформація, яка знімається вимірювальними головками, автоматично передається на комп'ютер [5]

1.4 Застосування пристроїв сканування в неруйнівному контролі

Renishaw Equator

Система Equator (рис. 12), є новою розробкою компанії Renishaw. Тисячі точок обробляються широко використовуваним датчиком SP25 в процесі 3-вимірного сканування. Можливість ефективніше виміряти складні рельєфи, дає великий обсяг даних, який отримується від датчика. Також, завдяки цьому, можливе забезпечення більш точного метрологічного результату. Одна система Equator може замінити собою тисячі часових індикаторів, LVDT-датчиків (диференціальних трансформаторів для вимірювання лінійних переміщень) або ручних пристосувань, оскільки для порівняльних вимірювань можуть використовуватися дані кожної точки [8].



Рис.12 Renishaw Equator

Silverwing RMS2

RMS2 - високошвидкісний корозійний сканер (500мм / сек) для контролю товщини стінок з дозволом 2 мм і побудовою С-скана. Система може проводити сканування зі швидкістю до 500мм/с, завдяки ультразвуковим приймачам та передавачам у комбінації з 50МГц АЦП. Керуюче програмне забезпечення було спеціально розроблено для комп'ютерів останнього покоління з двоядерними процесорами під управлінням Windows 10. Програмне забезпечення для збору даних, аналізу та формування звіту поставляється як комбінований набір і автоматично зберігає А-скан, В-скан, С-скан і значення вимірювань товщини в процесі сканування зі швидкістю 500 мм/с з роздільною здатністю 2x2 мм.

Переваги:

- Ручний контроль джойстиком або автоматичний з використанням ПК
- Магнітні приводні колеса
- Низький профіль системи з максимально допустимою висотою 155мм
- Потужні магнітні колеса із зусиллям тяжіння до ваги 5: 1
- Програмоване оператором переміщення по вісях з кроком 1мм

Ультразвукові дані знімаються через імерсійний датчик, закріплений в шарнірному утримувачі, що забезпечує перпендикулярність розміщення трансдюсера до поверхні контролю. Захисна платформа з нержавіючої сталі

захищає датчик при скануванні нерівних поверхонь. Два низькопрофільних приводи обладнані потужним кроковим двигуном і чотирма провідними магнітними колесами. Сила тяжіння перевищує 100кг, що більше в п'ять разів ваги системи (ок.20кг), і дозволяє системі надійно переміщатися по вертикальних стінах і навіть «догори ногами». Електропомпа поставляється як частина системи з 15-и метровим шлангом і кабелем для збору даних і управління. Для більш високих або віддалених об'єктів існує подовжувач до 30-и метрів [10].



Рис. 13. Silverwing RMS2

Сканер-дефектоскоп A2051 SCAUT

Сканер-дефектоскоп A2051 ScaUT призначений для комплексного автоматизованого контролю стикових зварних з'єднань металоконструкцій при товщині зварюваних деталей від 4 до 40 мм і радіус кривизни зовнішньої поверхні від 300 мм.

Ультразвуковим методом забезпечується вимір товщини деталей, виявлення та ранжування дефектів зварного шва: пір, непровари, шлакових включень, тріщин, підрізів і розшарувань в околошовній зоні.

Лазерно-оптичним способом забезпечується вимір зсуву кромки шва, розмірів і профілю валика посилення, виявлення і вимірювання дефектів на зовнішній поверхні шва і околошовної зони.

Основною областю застосування A2051 ScaUT є виробничий і експлуатаційний контроль трубопроводів [9].



Рис. 14. Сканер-дефектоскоп А2051 SCAUT

Дефектоскоп Авгур

Дефектоскопи ультразвукові багатоканальний з цифровою фокусуванням і автоматизованим скануванням антенними ґратами АВГУР-АРТ призначений для:

- виявлення і візуалізації неоднорідностей, визначення їх розмірів і координат, амплітуд луна-сигналів.
- проведення автоматизованого ультразвукового контролю (АУЗК) зварних з'єднань і основного металу обладнання, деталей, трубопроводів та інших виробів з металів, їх сплавів і інших матеріалів, включаючи об'єкти з перлітних і аустенітних сталей товщиною від 6 до 500 мм.

Контроль з використанням дефектоскопа АВГУР-АРТ може проводитися на об'єктах, що знаходяться як в процесі спорудження (виготовлення, будівництва, монтажу), так і в процесі експлуатації.

Принцип дії дефектоскопа заснований на акустичному луна-метод неруйнівного контролю із застосуванням антенних решіток (АР). Дефектоскоп працює в режимі цифрової фокусування антени (ЦФА), що володіє рядом переваг в порівнянні з режимом фазованої решітки (ФР).

Дефектоскоп підтримує збір даних по 64 каналам в режимі ЦФА. Дефектоскоп реалізує режим роботи TOFD.

Режим ЦФА - це технологія отримання акустичних зображень із суцільною фокусуванням у всіх точках зображення. У режимі ЦФА на першому

етапі виконується збір даних при переборі всіх комбінацій випромінювач-приймач для лінійної АР, а на другому етапі виконується математична обробка отриманих даних із застосуванням алгоритму комбінаційний SAFT (C-SAFT). При використанні ЦФА забезпечується однакова і висока роздільна здатність по всьому зображенню; когерентне зображення формується тільки в одному шарі. Альтернативні назви режиму ЦФА в зарубіжних джерелах - Full Matrix Capture (FMC) або Sampling Phased Array.

Для забезпечення високої роздільної здатності і підвищення відносини сигнал / шум при контролі товстостінних об'єктів використовуються два варіанти ЦФА з синтезом апертури за рахунок високоточного механічного переміщення АР уздовж і поперек осі зварного з'єднання; потім виконується спільна математична обробка отриманих лунасигналів застосуванням алгоритмів ЦФА-Х, ЦФА-У, ЦФА-ХУ [15].



Рис. 15. Дефектоскоп Авгур

Система інспекції SDI-6110 EDDY SCANNER

Універсальна високошвидкісна система виявлення С-сканування SDI-6110 призначена для виконання як прямих поверхонь сканування, таких як ті, які використовуються для картографічного корозії, так і сканування на поворотному столі, як це використовується на частинах аеромонітора. Система

включає в себе все обладнання, необхідне для високопродуктивних виробничих застосувань.

Також доступна велика кількість аксесуарів, включаючи моторизовані Z, верстати, вертушки та ротатори.

SDI-6110 може бути обладнаний рядом позиціонерів допоміжних частин, таких як поворотна рамка SDI-6140, яка підходить для компонентів аеродинаміки. Це єдиний маніпулятор, система індексування кривої з високошвидкісною, багатоканальною системою з можливістю аналізу продуктивності дефектів [16].

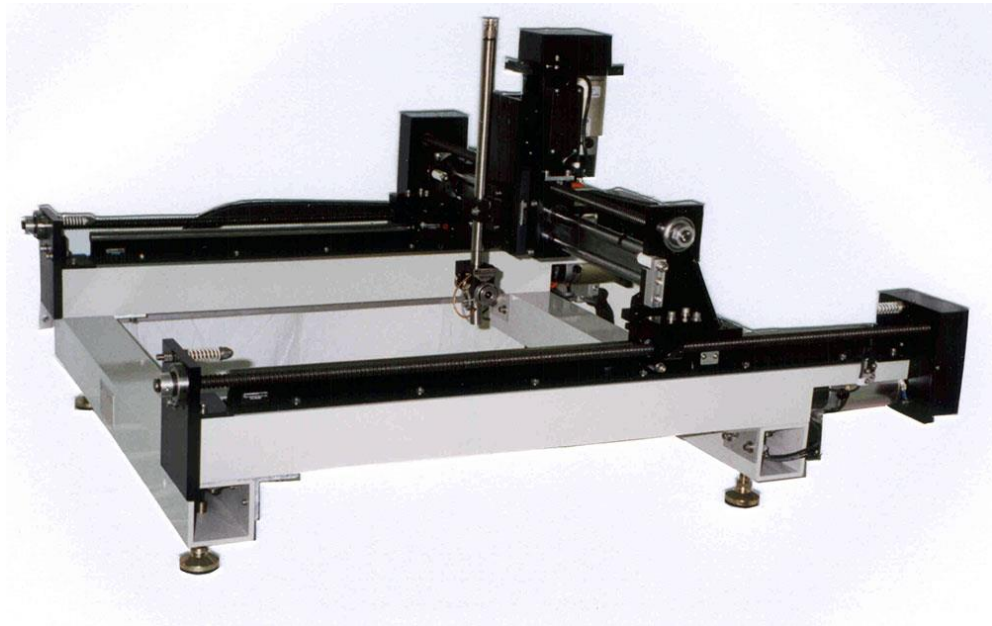


Рис. 16. Система інспекції SDI-6110 EDDY SCANNER

Висновки до розділу 1

В даному розділі було розглянуто пристрої сканування та описано основні параметри, що характеризують скануючі пристрої. Було розглянуто різні види передач, які можуть бути використані для переміщення руху в скануючих системах. Також було описано характеристики та існуючі класифікації координатно-вимірювальної машини, розглянуто характеристики базової частини координатно-вимірювальної машини.

2. РОЗРОБКА КОНСТРУКЦІЇ СКАНУЮЧОГО ПРИСТРОЮ

Для виготовлення конструкції системи позиціонування датчиків на плоских поверхнях, необхідно було роздрукувати деякі елементи на 3D-принтері. Зображення цих елементів представлено на рис. 17



Рис. 17. Елементи , необхідні для збору системи

2.1 Лінійні направляючі

Завдяки направляючим забезпечується переміщення робочого вузла верстата по строго вказаній траєкторії. Дуже важливим чинником, який впливає на точність виготовлюваної системи є якість направляючих, а також якість їх встановлення на станину.



Рис. 18. Поліровані вали

Найбільш поширений і досить бюджетний вид напрямних - поліровані вали. Вони досить доступні, легко обробляються і встановлюються. Матеріал

для виготовлення полірованих валів - високолеговані сталі. Також вали проходять індукційне загартовування поверхні з подальшим шліфуванням. Індукційне загартовування, яке вали проходять ще на заводі під час виготовлення, сприяє тривалому терміну служби і забезпечує вищу зносостійкість валів. Шліфовані вали забезпечують рух з дуже маленьким тертям, завдяки ідеальній поверхні, яку вони мають. Монтаж валів не є особливо складним, оскільки вони кріпляться лише в двох точках на кінцях. Хоча, часто трапляється, що виробники, користуючись не досить високою кваліфікацією споживачів, виготовляють вали з недорогих і м'яких сортів високовуглецевих сталей.

Недоліки полірованих валів:

- Відсутність кріплення до станини. Вал кріпиться в двох точках на кінцях - це полегшує монтаж направляючих, проте призводить до того, що напрямні встановлені незалежно від робочої поверхні стола. У той час в порталних верстатах вкрай бажано ставити напрямні в жорсткій зв'язку зі столом (такий зв'язок знижує похибки обробки, якщо робочий стіл піддався викривленню, «повело гвинтом» - напрямні, повторюючи вигини столу, нівелюють частину похибки).
- Провисання на великій довжині. На практиці через провисання вали використовують довжиною не більше 1 метра. Крім того, важливим є ставлення діаметра вала до його довжини - для отримання прийнятних результатів його значення повинно бути не менше 0.05, бажано в межах 0.06-0.1.

2.2 Різьбовий стержень

Різьбовий стрижень, також відомий як шпилька, являє собою відносно довгий стрижень, який обертано з обох кінців; різьба може проходити вздовж повної довжини стрижня.

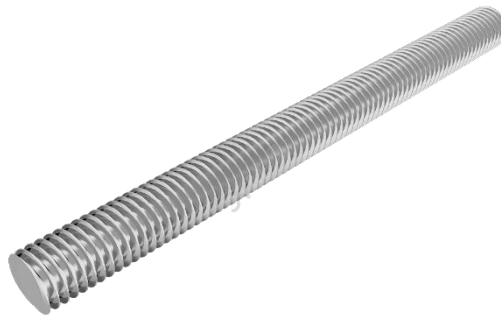


Рис. 19. Різьбовий стержень

Шпильки можуть мати слот для дисків в одному кінці, щоб полегшити встановлення шпильки.

Що стосується форми, шпильки болти. шпильки класифікуються в 3 основних типів: "Повністю різьбові ступки", "Болти на торцях", "Болти з подвійним кінцем". Кожен з цих шпильок має різне застосування. Як впливає з назви, повністю закріплені шпильки мають повне покриття тіла з нитками для повного зачеплення гайок або подібних деталей. На торцях кінцеві шпильки мають нитки на крайніх кінцях тіла з нерівною довжиною затягування різьблення, а болти з подвійним кінцем мають рівну довжину нитки на обох кінцях. Окрім цього, є гвинтові болти для фланців, які є повністю нарізними шпильками із фаскоінформованими кінцями, а також подвійні кінцеві шпильки із зменшеним хвостовиком для спеціальних шворень. Для шпильок, які не є повністю різьбовими, існують два типи шпильок: повноцінні шпильки, а також підрізні шпильки. Повножиті шпильки мають хвостовик, рівний основному діаметру нитки. Шпильки під ногами мають хвостовик, рівний діаметру гілки гвинтової різьби. Закріплені шпильки призначені для кращого розподілу осьових напруг. У повноцінній шпильці напруги в нитках більші, ніж у хвостовика [3].

Закріплені шпильки (рулонна нитка) також сильніші, тому що метал "прокату" до основного діаметра, не знімається. Це зберігає зерно сталі, а в деяких випадках навіть посилює його. Повні тілесні шпильки (різальна нитка)

слабкіше, тому що металевий матеріал знімається для створення нитки, порушуючи зерна сталі. [4] [5]

Закріплені шпильки потрібні лише в тих випадках, коли шпилька зазнає втоми. Вирізані нитки цілком підходять для багатьох застосувань, навіть якщо прокручені нитки можуть бути трохи сильнішими. Матеріальні кріплення (стандартні болти та шпильки), як правило, прокатуються, але, швидше за все, будуть зрізані деталі із спеціальними функціями та невеликими розмірами.

2.3 Лінійний підшипник LM8UU

До направляючих лінійного руху можна віднести лінійний підшипник в парі з циліндричним стрижнем. Опори, які забезпечують прямолінійність переміщення деталей у вказаному напрямку і сприймають діючі на них сили є напрямними прямолінійного руху. Крім цього, така пара є направляючою кочення.

Мала сила опору руху (в 20 разів менше, в порівнянні з напрямними ковзання); мала залежність від швидкості переміщення і незначна різниця між силами тертя спокою і руху – все це можна назвати основними перевагами напрямних кочення. Таким чином, можна досягнути як досить повільних рівномірних переміщень високої точності, так і швидких переміщень, на напрямних кочення. Через стрибки (коливання, які залежать від швидкості та сил тертя) неможливо досягти таких точних і повільних переміщень на напрямних ковзання. Значна складність виготовлення, у порівнянні з напрямними ковзання, необхідність термічної обробки; підвищені вимоги до захисту від забруднення – все це є недоліками напрямних кочення.

Коли потрібно переміщувати важкі деталі, потрібно зменшити сили опору руху для переміщення деталей вручну, точно встановлювати деталі, або переміщувати їх повільно та рівномірно, переміщувати деталі з високою швидкістю – саме тоді в машинах використовують напрямні кочення.

Лінійний підшипник (рис.20) складається з: зовнішньої гільзи; тіл кочення; сепаратора; ущільнення і запірних кілець.

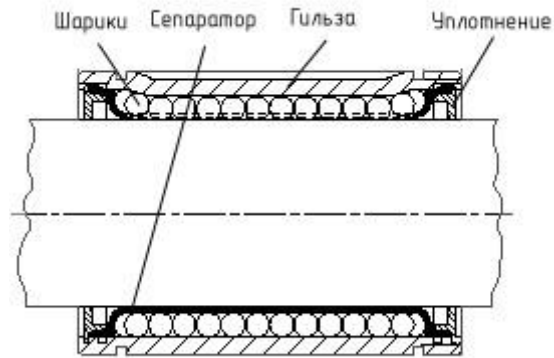


Рис.20. Структура лінійного підшипника

Корпусом лінійного підшипника слугує зовнішня гільза, яка має високу твердість і шліфовану поверхню.

Кульки, які виготовлені з підшипникових сталей, а також володіють антифрикційними властивостями – представляють собою тіла кочення. Кульки циркулюють по замкненій траєкторії в сепараторі.

Для запобігання потрапляння бруду в підшипник і збереження в ньому мастила служить ущільнення скребкового типу. Ущільнення можуть бути вбудованого і роздільного типу. При роботі в забрудненому середовищі рекомендуються ущільнення роздільного типу.

Для фіксації лінійного підшипника в корпусі служать запірні кільця. Від пружних кільцевих стопорів, які застосовуються в машинобудуванні, вони нічим не відрізняються. Підшипники можуть бути як з кільцями, так і без них.

Лінійні підшипники стандартизовані. Основні розміри, відхилення та визначення для лінійних кулькових підшипників містяться в стандарті ISO 10285. Вони класифікуються за серіями геометричних розмірів і класів точності [17].

2.5 Гвинтовий ремінь GT2

Гвинтові ремені - це фантастичний спосіб передачі обертального руху (від крокового двигуна) в лінійний рух (уздовж рейки), і ці ремені GT2 відмінно підходять для завдання. Вони мають спеціальний профіль із закругленими

зубами, що забезпечує зменшення люфту. Часто використовується для точних 3D-принтерів та машин з ЧПУ [18]. Гвинтовий ремінь представлено на рис. 21



Рис. 21. Гвинтовий ремінь

Технічні деталі гвинтового ремня представлені на рис. 22.

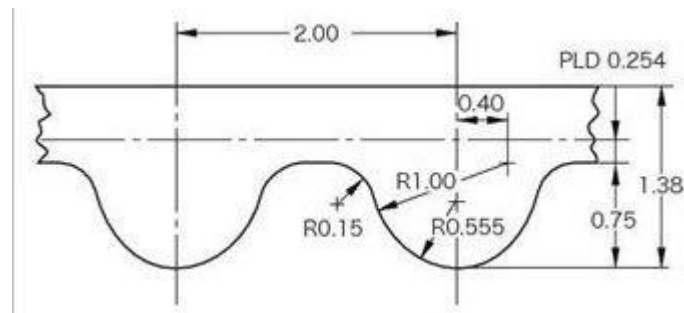


Рис. 22. Технічні деталі

Висновки до розділу 2

В даному розділі було розглянуто елементну базу, яка є необхідною для створення системи позиціонування датчиків на плоских поверхнях. Було розглянуто та описано певні особливості та характеристики лінійних направляючих, різьбових стрижнів, лінійних підшипників та гвинтового ремня.

3. СХЕМОТЕХНІКА ТА ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ СКАНУЮЧОГО ПРИСТРОЮ

Двигуни - сполучна ланка між електронною частиною системи і механічною частиною, вони (точніше, їх керуючі модулі - драйвери) отримують сигнали з контролера (часто в цій ролі виступає персональний комп'ютер) і перетворюють їх в обертальний рух власного вала. Можуть використовуватися 2 види двигунів:

Серводвигуни і крокові двигуни (а також лінійні двигуни - різновид серводвигунів. Лінійні двигуни одночасно є і трансмісією для осі). Сказане далі буде ставитися до класичних кроковим і сервоприводи. Крокові двигуни поширені в саморобних верстатах з ЧПУ і бюджетних моделях промислових гравіювання-фрезерних верстатів, а також верстатів лазерної, плазмової різки і т.п. Причина - в їх низької вартості і простоті управління. Драйвери крокових двигунів - досить бюджетні пристрої, широко представлені на ринку від найпростіших моделей до вельми просунутих цифрових драйверів. Платою за простоту і бюджет стає низький ККД крокових двигунів, їх низька питома потужність, слабка здатність до прискорення, високі вібрації, гул і резонанс, що в сумі сильно впливає на експлуатаційні характеристики верстата. Серводвигуни - двигуни з встановленим датчиком кута повороту. Це сімейство представлено досить широко, існують щіткові і безщіточні двигуни, постійного і змінного струму. В цілому про серводвигуни можна сказати, що їх відрізняє висока плавність ходу, високий ККД, здатність переносити короткочасні перевантаження. Однак управління серводвигуном набагато складніше, серводрайвери - пристрої істотно дорожчі і складні в налаштуванні.

3.1 Кроковий двигун Nema 17

Крокові двигуни типорозміру NEMA 17 мають уніфіковані посадкові отвори, і мають габаритні відмінності тільки по довжині. Крокові двигуни обертаються дискретно. Звичайний двигун робить 200 кроків за оберт. Для більш плавного обертання драйвер крокового двигуна ділить повний крок на

мікрокроки. Зазвичай використовується драйвер A4988 з діленням кроку на 16 мікрокроків, а це вже 3200 мікрокроків за один оберт. Кроковий двигун Nema 17 представлений на рис. 23.



Рис. 23 Кроковий двигун Nema 17

Розміри крокового двигуна наведені на рис. 24.

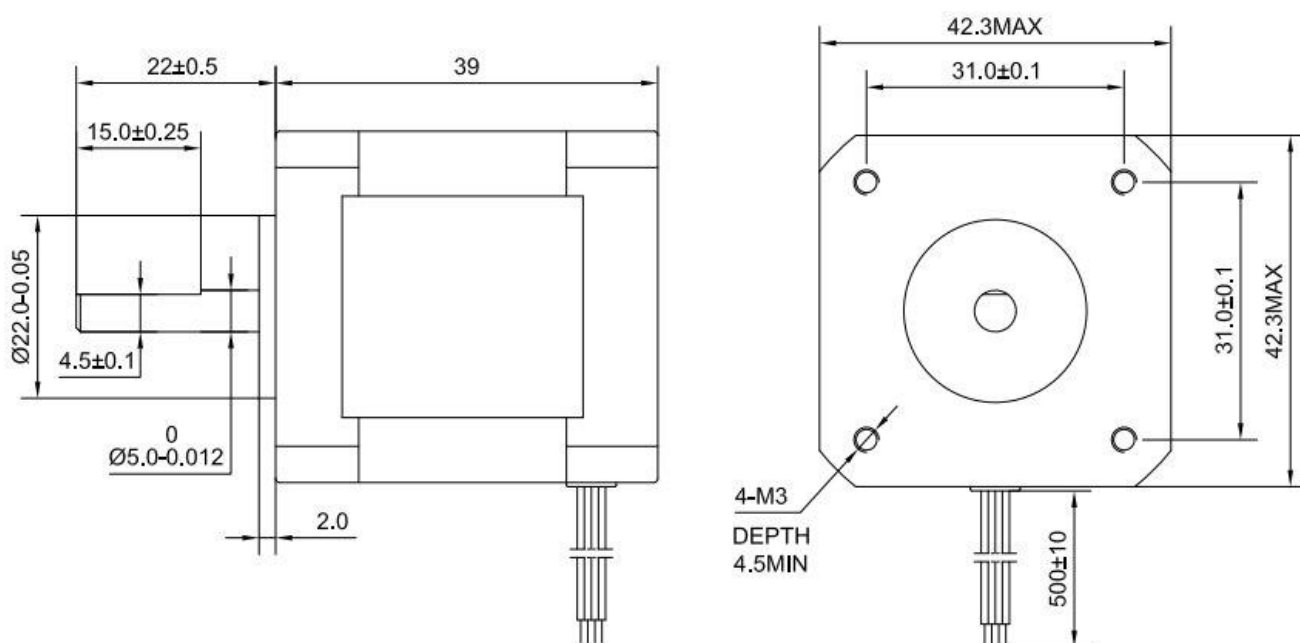


Рис. 24. Розміри крокового двигуна

3.2 Драйвер крокового двигуна A4988

A4988 - це драйвер крокового двигуна з режимом мікрокроку, має вбудований транслятор для легкої роботи. Він призначений для роботи біполярних крокових двигунів у повно-, напів-, чверть-, восьми- та

шістнадцяти-ступеневому режимам, з вихідною потужністю приводу до $35 \text{ В} \pm 2 \text{ А}$. А4988 включає в себе регулятор фіксованого струму, який має можливість працювати в режимі "Slow" або "Mixed".

Мікрокрок - режим розподілу кроку крокового двигуна, коли обмотки мотора заживлені не повним струмом, а його рівнями, що змінюються за законом \sin в одній фазі і \cos в другій (рис. 25).

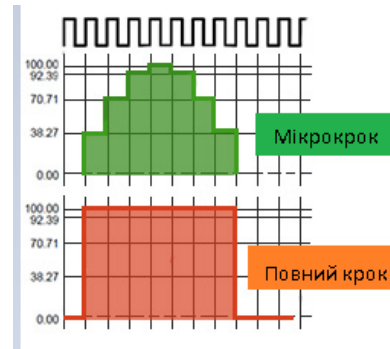


Рис. 25. Приклад повного кроку та мікрокроку.

Значення мікрокроку встановлюється комбінацією сигналів на входах MS1, MS2, і MS3. Є п'ять варіантів ділення кроку, які представлені в таблиці 1 [19].

Табл. 1. Варіанти ділення кроку

MS1	MS2	MS3	Ділення кроку
0	0	0	1
1	0	0	1/2
0	1	0	1/4
1	1	0	1/8
1	1	1	1/16

У загальному випадку під мікрокроком розуміють мікрокроковий режим управління кроковим двигуном, інакше кажучи - режим розподілу кроку. Мікрокроковий режим відрізняється від штатного режиму управління двигуном тим, що в кожен момент часу обмотки крокового двигуна заживлені неповним струмом, а якимись його рівнями, що змінюються за законом \sin в одній фазі і \cos в другій. Такий метод дає можливість фіксувати вал в проміжних положеннях між кроками. Кількість таких положень задається

налаштуваннями драйвера. Скажімо, режим мікрокроку $1/8$ означає, що з кожним поданим імпульсом драйвер буде переміщати вал приблизно на $1/8$ повного кроку, і для повного обороту валу потрібно подати в 8 разів більше імпульсів, ніж для режиму повного кроку.

У мікрокрокового режиму може бути кілька застосувань.

Є думка, що мікрокрок дозволяє збільшити точність приводу. Насправді це не так. По-перше, цьому заважає геометрична неідеальність ротора і статора двигуна, неідеальні обмотки, зазори в підшипниках вала і т.д. В результаті двигун виконує кроки завжди з деякою похибкою (як правило, 5% від величини повного кроку), причому абсолютне значення похибки постійне для будь-якого обраного мікрокрокового режиму. Крім того, багато драйверів управління двигуном також не ідеальні, що призводить до додаткової нерівномірності переміщення в режимі мікрокроку. Подальший поділ кроку більш ніж на 5-10 мікрокроків призводить тільки до збільшення роздільної здатності приводу, але не точності. Тобто можна більш дискретно задавати позицію перетворювача в системі, але не можна її отримати із заданою точністю.

Мікрокрок значно знижує момент двигуна (щодо повнокрокового режиму). Однак, використання мікрокроку одночасно збільшує плавність ходу двигуна, і знижує резонансні явища, що сприяє збільшенню моменту. Два протилежних впливи на момент в середньому більш-менш врівноважують один одного. У багатьох випадках застосування мікрокроку насправді збільшує момент, тому доцільність відмови від мікрокрокового режиму повинна визначатися в кожному конкретному випадку.

Основним застосуванням мікрокрокового режиму є боротьба з резонансом, зниження вібрації крокового двигуна і підвищення плавності ходу передачі. Досягається це завдяки тому, що при використанні мікрокрокового режиму на вал мотора діють більш короточасні зусилля розгону-гальмування, сам вал робить кроки меншої амплітуди, в результаті інерційні явища виявлені слабкіше.

Оптимальний режим поділу кроку необхідно вибирати в залежності від конкретної системи і поставлених завдань. Основними факторами є

необхідність знизити резонанс двигунів, зменшити шум, роздільну здатність системи. У більшості випадків має сенс використовувати найбільший розподіл кроку, при якому верстат зможе розвивати розрахункову максимальну швидкість. Обмеженням в даному випадку буде максимальна частота входних імпульсів у драйвера або максимальна частота генерації імпульсів системою.

Для роботи в режимі мікрокроку необхідний слабкий струм. На модулі A4988 струм можна обмежити потенціометром, який знаходиться на платі. Драйвер дуже чутливий до перепадів напруги по живленню двигуна, тому виробник рекомендує встановлювати електролітичний конденсатор великої ємності з живлення VMOT для згладжування стрибків. Підключення або відключення крокового двигуна при включеному драйвері може призвести до виходу двигуна з ладу.

Схема підключення драйвера A4988 і крокового двигуна до Arduino представлена рис. 25

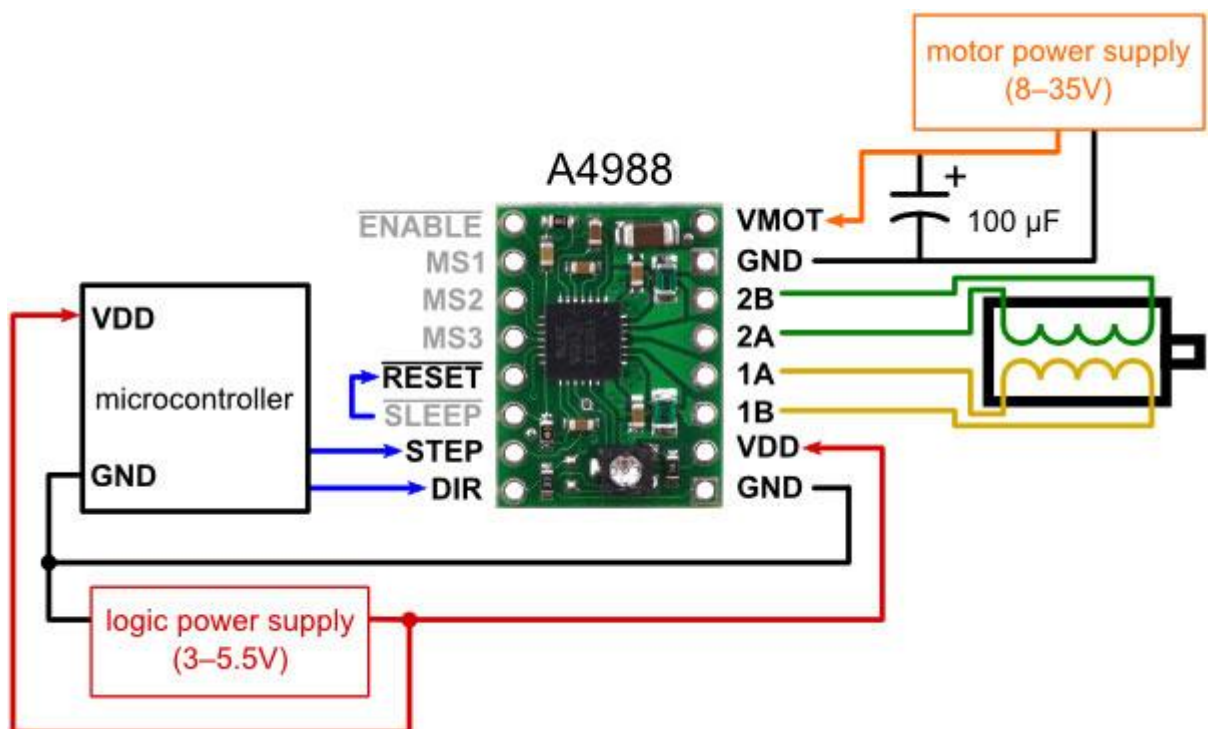


Рис. 25. Схема підключення

3.3 Сервопривід Sg90

Сервопривід - це мотор-редуктор, який повертає вихідний вал в певне положення (на певний кут) і утримує його в цьому положенні, всупереч опорам. Перш за все, це потрібно для керування положеннями різних закрилків, рулів і вертолітних лопатей.

Сервопривід SG90 представлено на рис. 26. Він не має потужних характеристик (всього 1,2-1,6 кг * см), але має недорогу ціну. Дуже добре підходить для нескладних завдань під управлінням контролерів Arduino[20].



Рис. 26. Сервопривід SG90

Геометричні розміри сервоприводу наведені на рис. 27 та в табл. 2

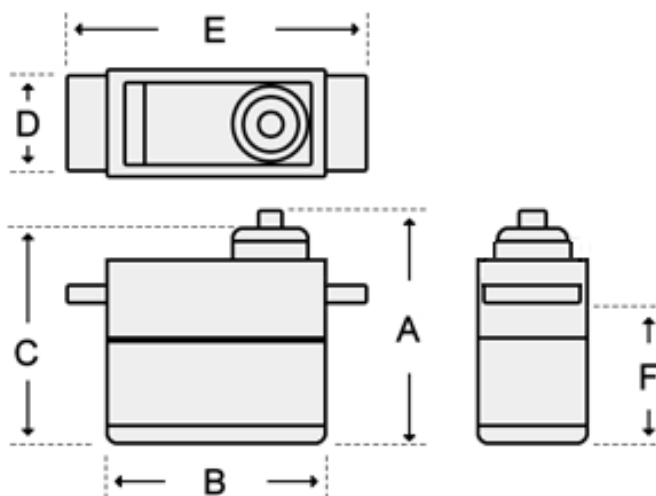


Рис. 27. Геометричні розміри SG90

Табл. 2. Геометричні розміри сервоприводу

A	30 мм
B	24 мм
C	27 мм
D	12 мм
E	32 мм
F	16 мм

3.4 Апаратна платформа Arduino Uno

На рис.28 показано вигляд Arduino UNO R3

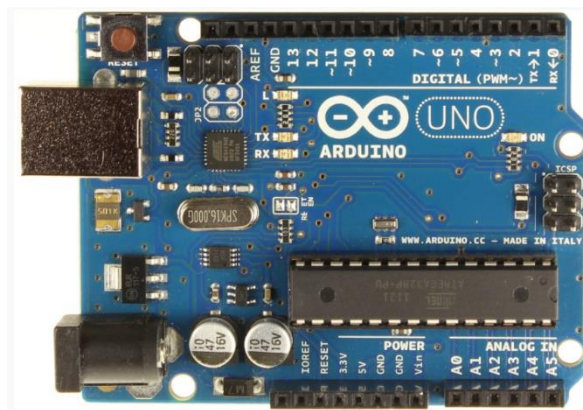


Рис.28. Arduino Uno R3

Плата Arduino може працювати за допомогою USB-кабелю з комп'ютера. Все, що вам потрібно зробити, це підключити USB-кабель до USB-роз'єму.

Плати Arduino можуть працювати безпосередньо від джерела живлення змінного струму.

Функція регулятора напруги полягає в керуванні напругою, поданою на плату Arduino, та стабілізації напруги постійного струму, що використовуються процесором та іншими елементами.

Криштальний генератор допомагає Arduino у вирішенні проблем, пов'язаних із часом. Як Arduino обчислює час? Відповідь полягає у використанні кристального генератора. Номер, надрукований на вершині кристалу Arduino, становить 16.000Н9Н. Це говорить нам, що частота 16 000 000 Гц або 16 МГц.

Можете скинути плату Arduino, тобто почати свою програму з самого початку. Ви можете скинути плату двома способами. По-перше, використовуючи кнопку скидання на дошці. По-друге, можна підключити кнопку зовнішнього скидання до виводу Arduino, який позначено як RESET.

Штифт 3.3 В - Постачання 3.3 вихідного вольт

Штифт 5В - Постачання 5 вихідних вольт

Більшість компонентів, що використовуються на платі Arduino, чудово працюють з напругою 3,3 вольт і 5 вольт.

GND (Ground) - На Arduino є декілька штифтів GND, які можуть бути використані для заземлення контуру.

Vin - Цей штифт також може бути використаний для живлення плати Arduino від зовнішнього джерела живлення, як джерело живлення змінного струму.

Arduino UNO має п'ять аналогових вхідних штифтів A0-A5. Ці штифти можуть зчитувати сигнал з аналогового датчика, датчика вологості чи датчика температури, і перетворити його в цифрове значення, яке може бути прочитане мікропроцесором.

Кожна плата Arduino має власний мікроконтролер. В даному випадку це мікроконтролер ATmega328. Його можна вважати мозком Arduino.

Індикатор живлення світлодіодів повинен світитись, коли Arduino підключається до джерела живлення, щоб вказати, що плата працює правильно. Якщо індикатор не світиться, то значить що зі з'єднанням щось не так.

На Arduino можна знайти дві мітки: TX (передача) та RX (прийом). Вони з'являються у двох місцях на Arduino. По-перше, на цифрових штифтах 0 і 1, щоб вказати піни, відповідальні за послідовний зв'язок. По-друге, керовані TX і RX. Під час відправлення серійних даних світлодіодний індикатор TX блимає з різною швидкістю. Швидкість мигання залежить від швидкості, що використовується платою. RX мигає у процесі прийому.

Плата Arduino UNO має 14 цифрових виводів для входу/виходу (з них 6 мають імпульсну широту модуляції). Ці штифти можуть бути налаштовані на роботу як вхідні цифрові шпильки для читання логічних значень (0 або 1) або

як цифрові вихідні шпильки для керування різними модулями, наприклад світлодіодами, реле та ін. Штифти, позначені "~", можуть бути використані для генерації широтно-імпульсної модуляції.

AREF - це аналоговий довідник. Іноді використовується для встановлення зовнішньої опорної напруги (від 0 до 5 В) як верхньої межі для аналогових вхідних штифтів.

3.4.1 Мікроконтролер ATmega328.

На рис.29 зображено мікроконтролер ATmega328 та всі його виводи.

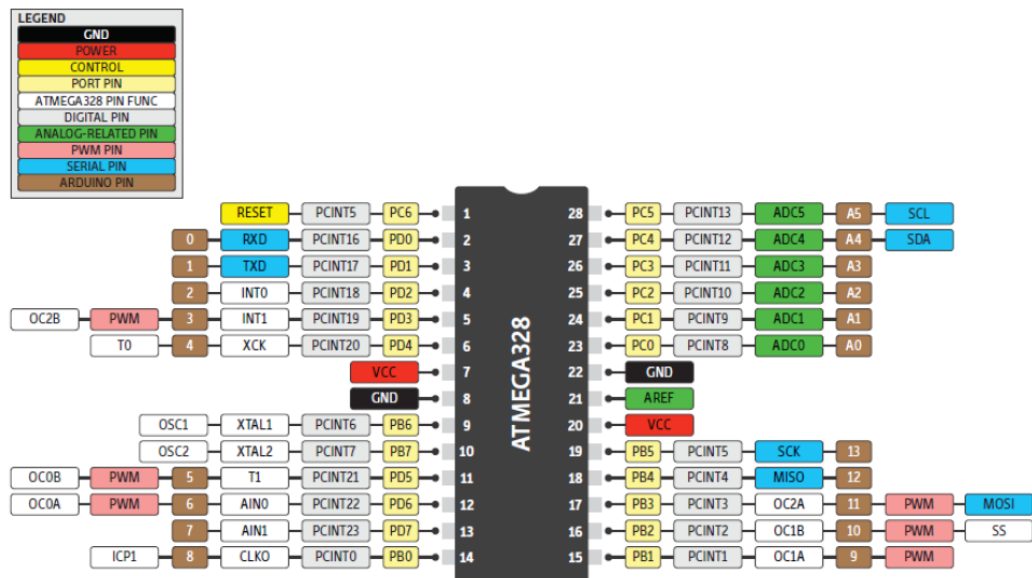


Рис. 29. Мікроконтролер ATmega328.

ATmega328 – восьми-бітовий мікроконтролер. Він може обробляти дані розміром до восьми біт. Це мікроконтролер на базі AVR. Його вбудована внутрішня пам'ять складає близько 32 Кб. Він працює від 3,3 до 5 В. Він має можливість зберігати дані навіть тоді, коли джерело живлення виймається з його змінних контактів. Відмінними функціями є економічність, низька потужність, блокування програмного забезпечення для цілей безпеки, реальний лічильник таймерів з окремим осцилятором. Він зазвичай використовується у програмах вбудованих систем.

ATmega-328 - це мікроконтроллер AVR, у якому всього двадцять вісім штифтів. Штифти ATmega-328 поділені на різні порти, які докладно наведені нижче.

VCC є цифровим джерелом живлення, AVCC - напруга живлення для аналого-цифрового перетворювача, GND позначає Ground, і він має 0В. Порт А складається з штифтів від PA0 до PA7. Ці штифти служать аналоговим входом для аналогових цифрових перетворювачів. Якщо аналого-цифровий перетворювач не використовується, порт А діє як восьми бітовий двонаправлений порт вводу / виводу. Порт В складається з контактів від PB0 до PB7. Цей порт являє собою 8-бітний двонаправлений порт, що має внутрішній підтягнутий резистор. Порт С складається з штифтів з PC0 до PC7. Вихідні буфери порт С мають симетричні характеристики приводу з вихідними можливостями, а також високою раковиною. Порт D складається з штифтів з PD0 до PD7. Це також 8-бітний порт вводу / виводу з внутрішнім підтяжним резистором. AREF - це аналоговий контрольний контакт для аналого-цифрового перетворювача.

ATmega 328 має три типи пам'яті. Флеш-пам'ять має 32 Кб. Вона має адресу 15 біт. Це програмувальна пам'ять для читання (ПЗУ). Це нестабільна пам'ять. SRAM - це статична пам'ять для випадкового доступу. Це нестабільна пам'ять, тобто дані видаляються після видалення джерела живлення. EEPROM являє собою постійний запам'ятовуючий пристрій, який може електрично стиратися і перепрограмовуватися. Він має довгострокові дані і може стиратися і перезаписуватися до мільйону разів.

ATmega-328 має тридцять два регістри загального призначення (GP).
Всі ці регістри є частиною статичної пам'яті для випадкового доступу (SRAM).

Різні версії одного і того ж пристрою позначаються різними пакетами цього пристрою. Кожен пакет має різні розміри, щоб легко розрізнити.

3.4 CNC шилд

Плата розширення Arduino UNO CNC Shield v3.0, що представлена на рис. 30 використовується для створення на основі контролера Arduino UNO (інших контролерів сумісних по типорозміру) верстатів з числовим програмним управлінням, 3D принтерів, гравіювання або фрезерної машини тощо Плата

розширення CNC Shield ver. 3.0 може працювати з Arduino UNO і драйверами двигунів за допомогою програмного забезпечення Arduino GRBL. [21]

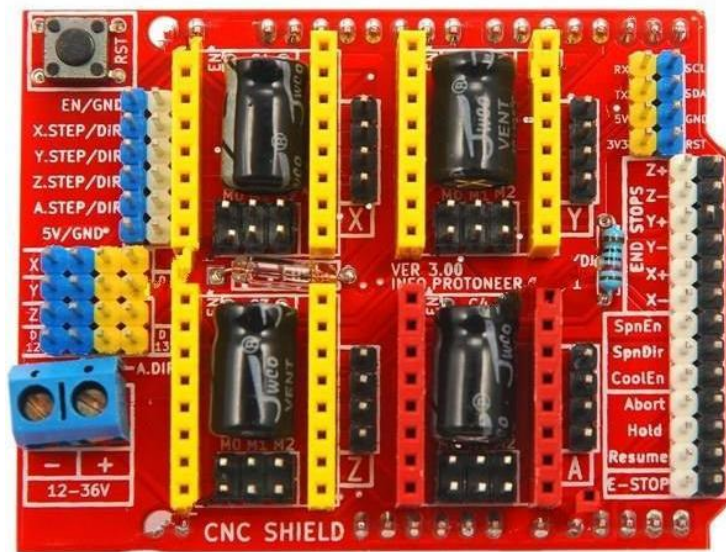


Рис. 30 Плата розширення Arduino UNO CNC Shield v3.0

3.5 Програмне забезпечення

Arduino IDE – одне з можливих середовищ для програмування плати Arduino.

Середовище програмування Arduino (рис. 31) складається з панелі меню, панелі інструментів, редактора скетчу, консолі та вікна повідомлень. Для завантаження програм і зв'язку середовище програмування підключається до апаратної частини Arduino.

Програми для Arduino пишуться на мові C++, доповненій простими і зрозумілими функціями для управління введенням/виведенням на контактах.

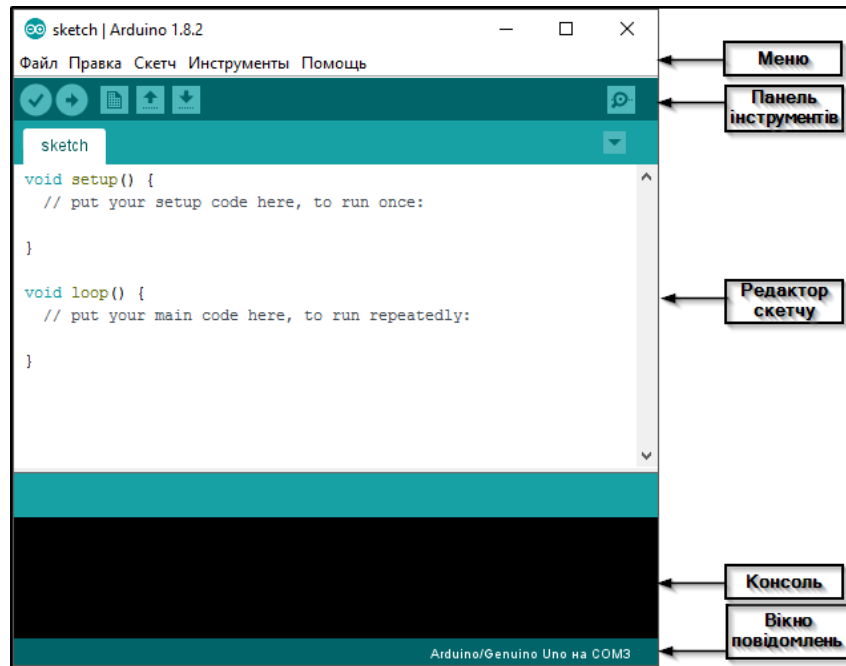


Рис.31 Середовище програмування Arduino

Програма Inkscape-Graphics, яка може створювати, а також імпортувати графіку з інших джерел, а потім підготувати вихідний файл, необхідний системі для намалювання. Інтерфейс програми представлено на рис. 32

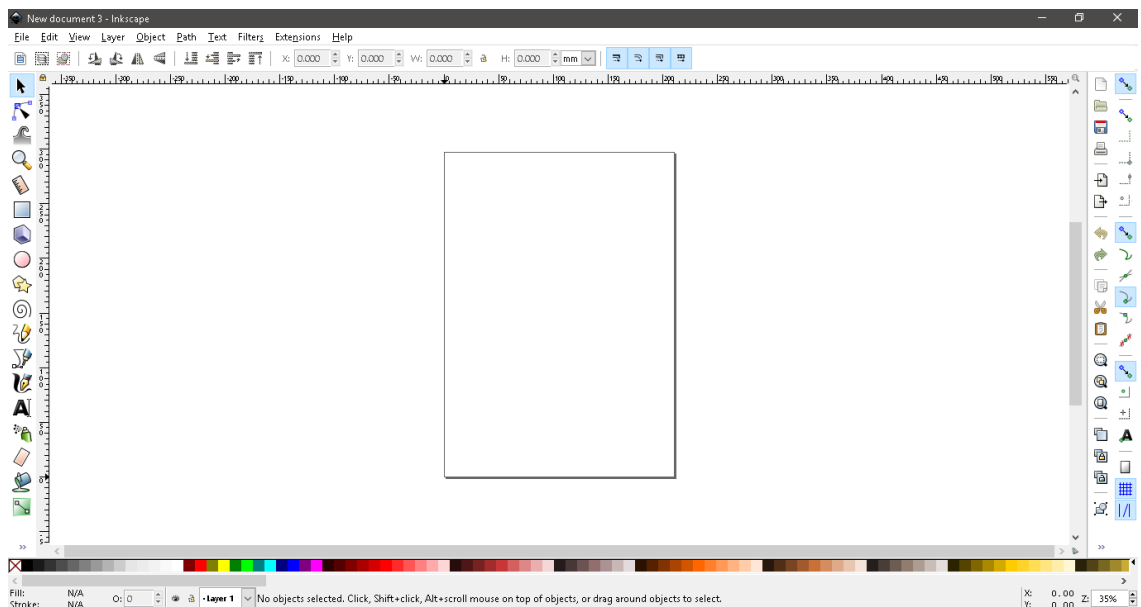


Рис. 32. Інтерфейс програми Inkscape

Розширення Inkscape MI GRBL - це програмне забезпечення, яке перетворює векторний графічний файл на G-Code, який система використовує для нанесення.

Після того, як Inkscape та Inkscape MI GRBL Extension створили файл G-Code, необхідний для нанесення графіки, потрібна програма для надсилання G-коду системі через порт USB. Ця програма називається Universal G-Code Sender.

Universal G-Code Sender - Ця програма також діє як передня панель системи позиціонування. Вона дає контроль над рухами системи, дозволяє скинути сисему, і дозволяє надсилати файли G-Code у систему. Інтерфейс програми представлено на рис. 33.

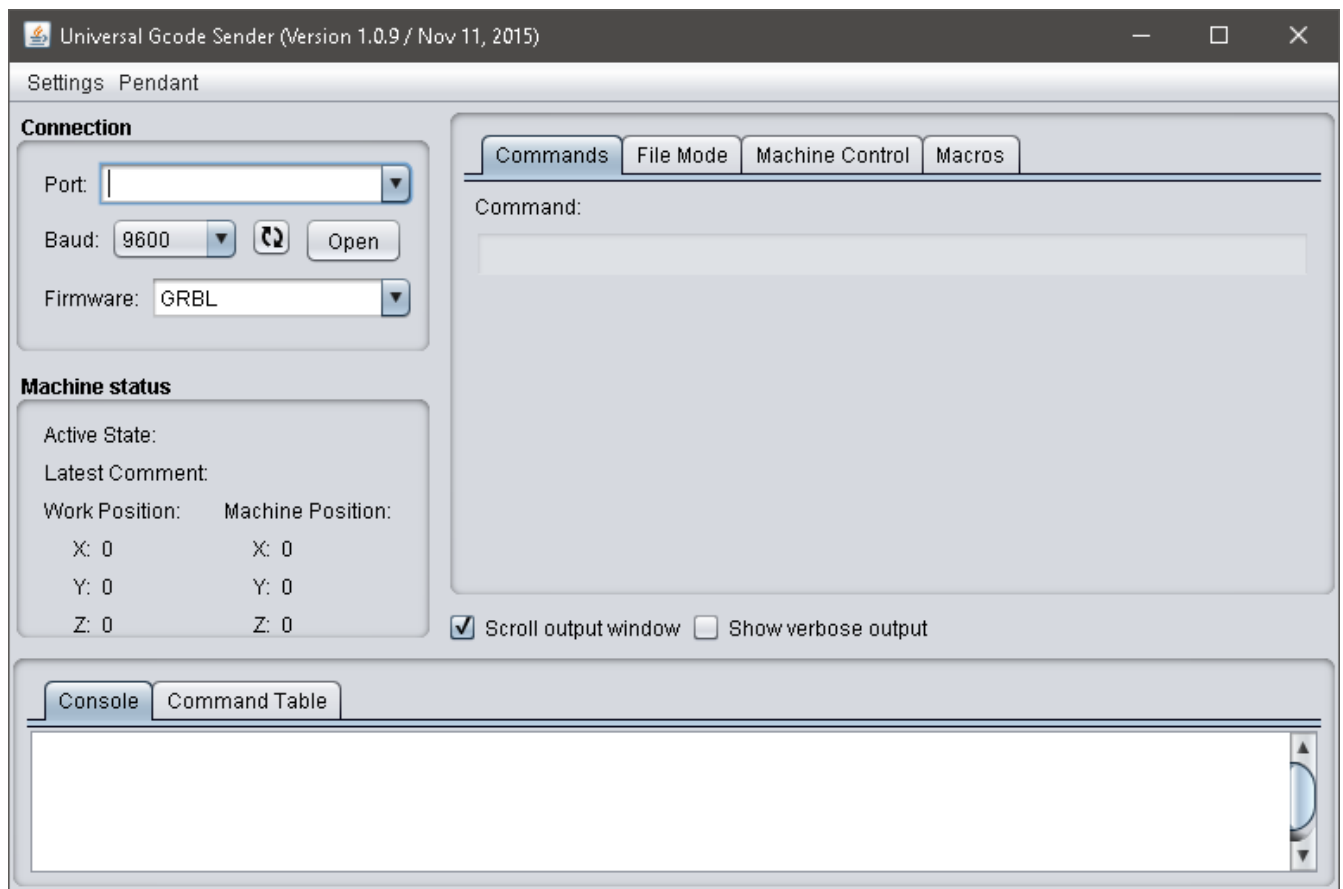


Рис. 33. Інтерфейс програми Universal G-Code Sender

Чому так багато програмних частин?

Inkscape - це програма малювання, подібна до Photoshop або GIMP. Вона може створювати графічні об'єкти. Вона має можливість програмістам додавати додаткові функції, такі як перетворення малюнків у спеціальні формати, такі як G-Code. Ці функції називаються розширеннями. • Розширення MI - це особлива частина коду, яку Inkscape використовує для перетворення малюнка в G-Code.

G-Code - це спеціальний формат файлу малювання, який включає фактичні рухи, які необхідно спрямувати системі на малюнок необхідного зображення. Більшість форматів містить інструкції щодо переміщення команд осі X і Y та осі Z для підняття та опускання ручки. Universal G-Code Sender відбувається безпосереднє налаштування системи.

Grbl - це безкоштовне, відкрите джерело, високопродуктивне програмне забезпечення для управління рухом машин, які рухаються, машин що роблять речі або які рухають речі, і керуються Arduino.

Більшість 3D-принтерів з відкритим вихідним кодом мають програмне забезпечення Grbl. Він був адаптований для використання в сотнях проєктів, включаючи лазерні фрези, автоматичні ручні письменники, свердловини для свердловин, графіті-малярки та машини з накресленням. Завдяки своїй продуктивності, простоті та акуратному апаратному забезпеченню Grbl перетворився на невеликий феномен з відкритим вихідним кодом.

Хто повинен використовувати Grbl

Виробники, які роблять фрезерування і потребують гарного, простого контролера для своєї системи, яка буде працювати з Arduino Uno. Люди, які не люблять захищати свій простір з застарілими комп'ютерними баштами саме для паралельного порту.

Grbl готовий до легкого виробництва. Ми використовуємо його для всіх наших фрезерних верстатів, використовуємо їх з наших ноутбуків за допомогою чудових графічних інтерфейсів, написаних користувачем, або простого консольного сценарію (включеного) для потокового G-коду. Він написаний в оптимізованому C, використовуючи всі розумні функції мікросхем Atmega328p Arduino для досягнення точного часу та асинхронної роботи. Він здатний підтримувати швидкість кроку понад 30 кГц і забезпечує чистий джитеровий потік керуючих імпульсів.

Grbl призначений для трикоординатних машин. Немає осей обертання (поки що) - просто X, Y та Z.

Вигляд готової системи представлений на рис. 34.

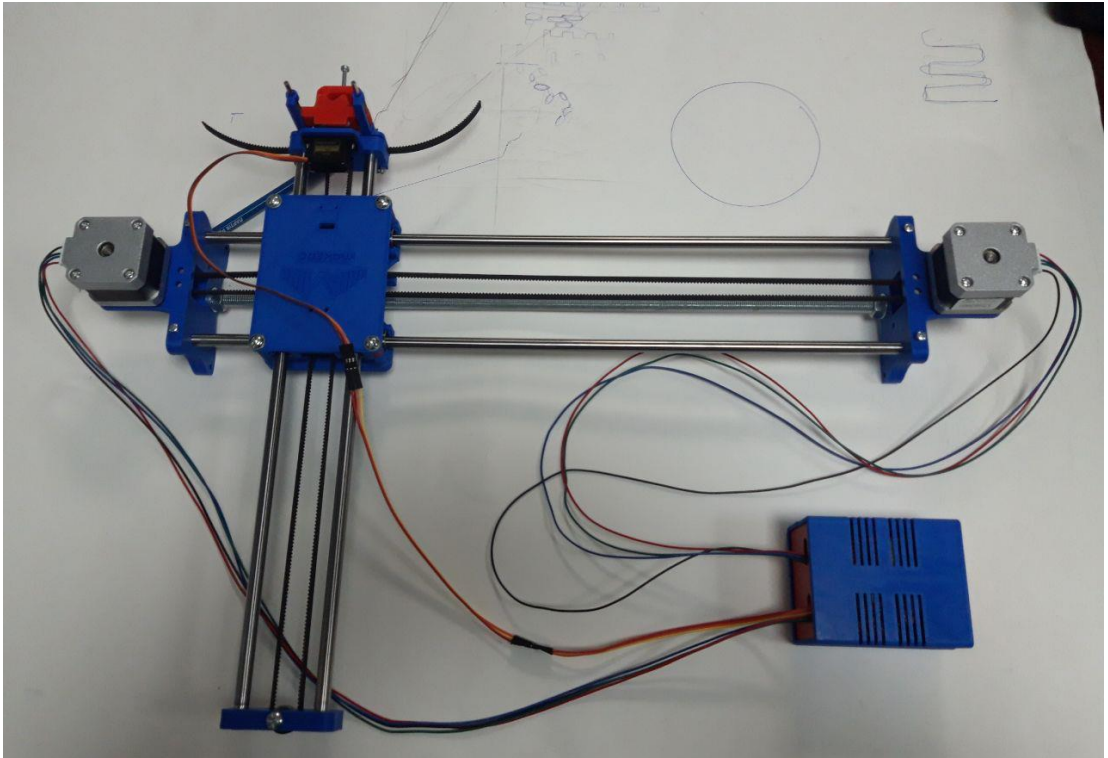


Рис. 34. Система позиціонування

4. ПОХИБКИ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Похибка позиціонування - різниця між фактичною величиною положення робочого органу і точкою, заданою програмою. Похибки обумовлені пружними властивостями кінематичних ланок маніпуляторів. В процесі нестабільного навантаження в ланках системи можуть відбуватися вигини, стиск, деформація, що призводить до відхилення позиціонування.

Люфти і зазори вносять додаткову «малу» рухливість в систему, повідомляючи їй рухову надмірність. Основною проблемою є при русі декількох кінематичних пар, відбувається «розриви» і зіткнення.

Похибка може залежати від типу мастила, температури навколишнього середовища, ступеня забруднення поверхонь, зміна в'язкості в часі.

Позиціонування здійснюється приводом, який переміщує робочий орган системи з початкового положення в задане (запрограмоване) кінцеве. Під похибкою позиціонування розуміють відхилення дійсного стану робочого органу від запрограмованого при його багаторазовому двосторонньому позиціонуванні. Для визначення похибки позиціонування проводять ряд експериментальних перевірок. Рекомендується похибку позиціонування вимірювати по осях координат, що проходять через середину реально використовуваної робочої зони верстата [22]

Похибка позиціонування не слід ототожнювати з роздільною здатністю системи. Остання визначає ту мінімальну відстань, яка може бути задана і відповідно відпрацьована робочими органами верстата.. Як правило, похибка позиціонування поз в кілька разів (2-4) перевищує роздільну здатність системи.

Систематичні похибки позиціонування, обумовлені неточністю виготовлення ходових гвинтів, що приводять у рух робочі органи системи, і похибками датчиків позиціонування, які здійснюють завдання положення і контролю переміщення робочих органів.

Випадкову похибку у вигляді позиційного розкиду, обумовлену неоднаковим позиціонуванням робочого органу при його кількох повторюваних виходах в одну і ту ж задану програмою координату.

В цілому похибка позиціонування представляє собою сумарну накопичену похибку приводів системи.

Наявність похибки позиціонування призводить до того, що при декількох послідовно здійснюваних в одному і тому ж координатному напрямку (наприклад позитивному) позиціонування робочого органу в довільній точці А він може зайняти будь-яке положення в межах $6S$

Середня похибка позиціонування визначається як середнє арифметичне похибок X_i по n позиціонуваннях:

$$\bar{X} \uparrow = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n}$$

Розкид похибки (розсіювання) визначається середньоквадратичним відхиленням:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X} \uparrow)^2}{n - 1}}$$

Якщо робочий орган буде наближатися (рухатися) до точки позиціонування з іншого боку (в негативному напрямку - «»), то відповідна цьому напрямку руху крива розподілу похибки позиціонування буде зміщена щодо першої кривої, як показано на рис. 11.3 [23]

Величина зміщення кривих розподілу характеризується так званим реверсивним валом:

$$U = |\bar{X} \downarrow - \bar{X} \uparrow|$$

Систематична похибка позиціонування при русі в протилежних напрямках дорівнює:

$$\bar{\bar{X}} = \frac{|\bar{X} \uparrow + \bar{X} \downarrow|}{2}$$

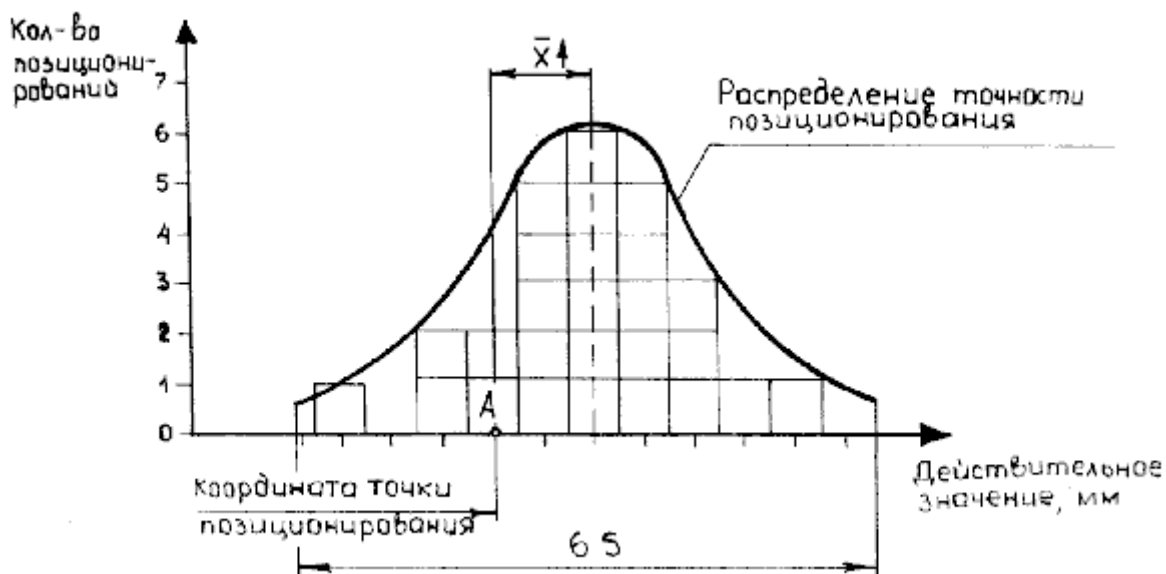


Рис. 35. Точність позиціонування при русі робочого органу в одному напрямку

У звичайному режимі кроковий двигун робить 200 кроків за оберт. Один оберт, відповідно, 360° . В такому випадку на 1 крок двигуна припадає $1,8^\circ$. Діаметр шківів, по якому рухається ремінь, становить 10мм. Схематичні деталі до розрахунку максимального відхилення показані на рис. 36

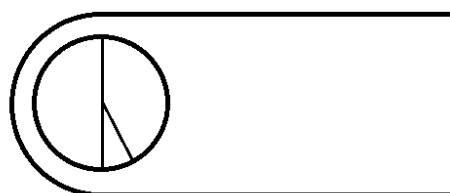


Рис. 36. Деталі розрахунку

Довжина кола:

$$C = \pi d = 31.4 \text{ мм}$$

Максимальне можливе відхилення при похибці в один крок:

$$l = \frac{\pi R n^\circ}{180^\circ} = 0.157 \text{ мм}$$

Тобто, максимальна можлива похибка становить 0.157 мм

На точність впливають:

- співвісність валів, і двигунів, відповідно – не повинна перевищувати 2° ;
- кутовий крок двигуна.

- вібрації
- жорсткість конструкції
- пропуск кроків

Висновки до розділу 4

В даному розділі було наведено опис можливих для даної системи похибок позиціонування. Було описано фактори, які можуть впливати на точність позиціонування та розраховано максимально можливе відхилення.

5. РОЗРОБКА СТАРТАП-ПРОЕКТУ

5.1 Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах вплив ручного методу проведення неруйнівного контролю об'єктів з плоскими поверхнями на результати контролю, було вирішено розробити систему позиціонування датчиків на плоских поверхнях. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту задля визначення принципової можливості його ринкового впровадження та можливих напрямів реалізації цього впровадження.

Ідея проекту полягає в автоматизації процесу неруйнівного контролю об'єктів з плоскими поверхнями та мінімізації суб'єктивного фактору, який впливає на результати.

У таблиці 5.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 5.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Система позиціонування датчиків на плоских поверхнях	Контроль об'єктів з плоскими поверхнями	Мінімізація суб'єктивного фактору
Система позиціонування датчиків на плоских поверхнях	Лабораторні дослідження з виявлення дефектів	Виявлення дефектів та отримання звіту

Отже, пропонується автоматизована система позиціонування датчиків для проведення контролю на об'єктах з плоскими поверхнями, яка дозволяє мінімізувати вплив людського фактору при проведенні дефектоскопії та забезпечує запис звіту контролю.

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

- визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо

збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

– проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл. 5.2).

Таблиця 5.2. 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	Конкурент1 EDDY SCANNER	Конкурент2 DriveSets			
1.	Вартість системи, грн	30000	100000	80000			+
2.	Габаритні розміри, мм	600x500x400	1200x1000x700	800x700x600		+	
3.	Точність, мм	0,2	0,2	0,4-0,025		+	
4.	Швидкість, мм/с	40-80	80-100	40-100		+	
5.	Застосування до широкого діапазону ОК	+	+	+		+	
6.	Торгова марка	-	+	+	+		
7.	Сервісне обслуговування	+	+	+		+	
8.	Мале енергоспоживання	+	-	-			+

Після порівняння характеристик проекту з конкурентами був визначений перелік слабких, сильних та нейтральних характеристик і властивостей ідеї

потенційного товару, що є підґрунтям для формування його конкурентоспроможності.

5.2 Технологічний аудит ідеї проекту

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

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 5.3.

Таблиця 5.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.	Система позиціонування датчиків	Виготовлення на замовлення у підприємствах	Наявна	Недоступна
2.	Система позиціонування датчиків	Виготовлення самостійно за допомогою спеціалізованих станків	Наявна	Доступна

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Оптимальною технологією реалізації проекту вибрано виготовлення елементів приладу самостійно, шляхом використання спеціалізованих станків, таких як ЧПУ та 3D принтери.

Результат технологічної здійсненності ідеї проекту вказує на те, що дану ідею можна реалізувати шляхом використання наявних на ринку технологій, які є доступними.

5.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

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

Це дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 5.4).

Таблиця 5.1. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	2
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	500 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Цінові, фінансові, особистісні
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Перевірка приладу на стандартних зразках, для підтвердження точності
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	50%

Так як ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт робимо висновок що ринок є привабливим для входження за попереднім оцінюванням.

Далі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 5.5).

Таблиця 5.2. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару
1	Даний прилад надає ринку широкий спектр застосування та малу вартість,	Невеликі підприємства, які не мають можливості придбати дорогі існуючі прилади	Відносно не дорогі прилади неруйнівного контролю	Простота експлуатації, ефективність, економічність, висока якість сервісного обслуговування

В даній таблиці ми визначили сегменти ринку на якому будемо пропонувати наш продукт, визначили фактори продукту які формують поведінку клієнтів відносно нашого продукту та їхні основні вимоги до продукту.

При застосуванні даної технології існують певні загрози. (таблиця 5.6). Для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також працювати з такими програмами повинні висококваліфіковані фахівці. Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даного продукту Подібні прилади неруйнівного контролю не є поширеним за рахунок високої вартості, це може створити проблеми при вводиті в нього нового товару. Але даний проект матиме меншу вартість у порівнянні з аналогами, тому це буде сприяти швидкому введенні на ринок.

Таблиця 5.3. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Конкуренція	Можливий вихід конкурента на ринок	Бонуси покупцям у вигляді безкоштовного року обслуговування
2.	Економічний	Можливе зростання рівня інфляції	Пошук нових постачальників комплектуючих
3.	Клієнтська база	На подібному ринку існує складність набору клієнтської бази	Проведення рекламної компанії
4.	Необхідність сертифікації обладнання	Прилади неруйнівного контролю зобов'язані мати сертифікацію	Своєчасне проходження системи перевірки
5.	Вхідний інструктаж	Оскільки системи неруйнівного контролю є доволі складними за своєю структурою, простих інструкцій для користувача не завжди є достатньо для початку роботи з системою	Компанія має змогу найму людей з закінченими курсами дефектоскопістів, які будуть виконувати роль консультантів

В таблиці 5.6 ми визначили фактори загроз які перешкоджають ринковому впровадженню нашого проекту, а також можливу реакцію на фактор щоб звести до мінімуму його вплив..

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 5.7).

Таблиця 5.4. Фактори можливостей

№	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
---	--------	------------------	--------------------------

п/п			
1.	Конкуренція	Ліцензоване виробництво	Підвищення кваліфікації персоналу для отримання ліцензії
2.	Економічний	Зменшення податків на даний вид діяльності	Збільшення обсягів виробництва та зменшення ціни на продукт
3.	Відсутність даного типу приладу	На даний час на ринку відсутні прилади контролю з невисокою вартістю але з такою ж точністю	Акцентування уваги клієнтів на меншій вартості приладу
4.	Виставки, конференції	Можливість представляти прилад на тематичних виставках та написання оглядових праць.	Представлення приладу на виставках зв'язаних з неруйнівним контролем, та написання оглядових статей у тематичні журнали
5.	Розміри дефектів	Прилади неруйнівного контролю не завжди можуть виявляти дефекти малого розміру	Звертати увагу на можливості приладу виявляти дефекти малих розмірів

В таблиці 5.7 ми визначили фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого проекту, а вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Проведемо аналіз пропозиції ринку, з метою визначення загальної риси конкуренції на ринку (табл. 5.8).

Таблиця 5.5. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості	В чому проявляється	Вплив на діяльність
-------------	---------------------	---------------------

конкурентного середовища	дана характеристика	підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
Вказати тип конкуренції - олігополія	Існування невеликої кількості компанії, що працюють в даній сфері	Якісна продукція, правильна ціна, якісне обслуговування
За рівнем конкурентної боротьби - міжрегіональні	Представники в різних країнах	Вихід на міжнародний ринок
За галузевою ознакою - внутрішньогалузева	В межах однієї галузі	Зниження цін
Конкуренція за видами товарів: - товарно-видова	Пропонуються товари одного виду	Реклама, зручний дизайн приладу
За характером конкурентних переваг - нецінова	Вартість залежить від ціни на комплектуючі	Вибір оптимального варіанта ціна-якість комплектуючих елементів
За інтенсивністю - марочна	Відомі виробники володіють більшими ресурсам і аудиторією клієнтів	Отримання держзамовлень і розширення ринку

В даній таблиці ми проаналізували ринок збуту нашого продукту і визначили загальні риси конкуренції на ньому..

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

Таблиця 5.6. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	Навести перелік прямих конкурентів	Визначити бар'єри входження в ринок	Визначити фактори сили постачальників	Визначити фактори сили споживачів	Фактори загроз з боку замінників
Висновки:	ДП «Тест», «Ультракон - сервіс» Діагностичні прилади	Можливість виходу на ринок за рахунок держзамовлень, та перспективності проекту	Постачальник не має великого впливу на роботу ринку	Клієнт висуває вимоги щодо точності приладу	Відсутні

Проаналізувавши таблицю 5.9 робимо висновок що з огляду на конкурентну ситуацію на ринку можливість роботи на ринку присутня. Також ми визначили які характеристики повинен мати проект і які дії має проводити компанія, щоб бути конкурентоспроможною на ринку.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Поки проект не впроваджено в життя, це важко зробити точно, можна дати лише попередню оцінку конкурентоспроможності.

На основі аналізу конкуренції (табл. 5.9), 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 перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз факторів приведений в табл. 5.10.

Таблиця 5.7. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння)
-------	-------------------------------	--

		конкурентних проектів значущим)
1	Універсальність приладу	Запропонований прилад придатний для контролю великого спектру виробів
2	Вартість	Зменшення вартості за рахунок використання вбудованого в мікроконтролер АЦП
3	Сервісне обслуговування	Якісне сервісне обслуговування
4	Вимоги до приладу	Перевірка обладнання на етапі виходу на ринок
5.	Енергоспоживання	Зменшення енергоспоживання за рахунок використання мікроконтролера

В таблиці 5.10 на основі аналізу проведеного в таблиці 5.9 визначили та обґрунтували фактори конкурентоспроможності нашого проекту.

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 5.10) проведемо аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 5.11).

Таблиця 5.8. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «система позиціонування»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з EDDY SCANNER						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1	Наявність патентів	18		+					
2	Велика кількість постачальників	14	+						
3	Висока якість	10			+				
4	Технічна підтримка	17		+				+	
5.	Ціна	17				+			

З таблиць 5.10 та 5.11 бачимо, що фактори конкурентоспроможності суттєві та мають великий позитивний внесок при впровадженні нового програмного забезпечення для розрахунку концентрації пилу. Основною перевагою та головним досягненням є висока якість продукту та технічна підтримка на протязі всього терміну його використання споживачем.

Таблиця 5.9. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Вартість системи 2. Мале енергоспоживання 3. Універсальність приладу 4. Сервісне обслуговування 	<p>Слабкі сторони:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Торгова марка 2. Слабкі канали збуту продукції через складність набору клієнтської бази 3. Залежність ціни продукту від ціни на комплектуючі елементи
<p>Можливості:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Ліцензійне виробництво 2. Зменшення ціни на продукт та збільшення обсягів виробництва 3. Представлення приладу на тематичних виставках 4. Виявлення дефектів малого розміру 	<p>Загрози:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Можливий вихід конкурента на ринок 2. Можливе зростання рівня інфляції складність набору клієнтської бази 3. Необхідність проходження сертифікації

На основі SWOT-аналізу розробляємо альтернативи ринкової поведінки для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок. Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 5.10. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Розробка електричної плати	90%	1-3 місяці
2	Розробка програмного забезпечення	90%	1-3 місяці

З зазначених альтернатив обираємо стратегію компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями.

5.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

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

Таблиця 5.11. 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
1	Середні підприємства			80%	Середня
2	Лабораторії			75%	Середня
Під час аналізу потенційних груп споживачів було прийнято рішення що компанія буде працювати з усіма цільовими групами					

За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свій прилад та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію зростання маркетингу..

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку.

Таблиця 5.12. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива	Стратегія охоплення	Ключові конкурентоспромож	Базова стратегія розвитку*
-------	---------------------	---------------------	---------------------------	----------------------------

п	розвитку проекту	ринку	ні відповідно до обраної альтернативи	позиції до
	Стратегія зростання, Створення спільного підприємства	Один цільовий сегмент	Ціна, Нові ринки	Спеціалізації

В таблиці 5.15 в залежності від обраного нами сегменту ринку обираємо стратегію розвитку нашого проекту на ринку..

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 5.16).

Таблиця 5.13. 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	Компанія шукатиме нових споживачів	Ні	Зайняття конкурентної ніші

В таблиці 5.16 проведено аналіз того як будемо поводити себе в конкурентній боротьбі і в залежності від прийнятих нами рішень обираємо стратегію конкурентної поведінки.

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

Таблиця 5.14. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувавши комплексну позицію власного проекту (три ключових)
	Універсальність, ціна, точність, якість	На основі специфічних відчутних характеристик	Ціна	Ціна-якість, Низька ціна

В даній таблиці формуємо комплекс асоціацій за якими споживачі будуть ідентифікувати наш торгівельний проект.

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

5.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 5.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 5.15. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Універсальність	Можливість застосування приладу для конкретних задач	Індивідуальна конструкція
2	Низька ціна	Невисока вартість деталей	Узгоджена якість-ціна

Результатом аналізу даної таблиці є перелік ключових переваг нашого товару перед конкурентами, а також переваги які потрібно ще створити.

Таблиця 5.16. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові
I. Товар за задумом	Низька ціна, універсальність, невисоке енергоспоживання
II. Товар у реальному виконанні	Якість: стандарти, нормативи, параметри тестування тощо Розробка за стандартами, тестування Пакування: коробка Марка: назва організації-розробника + назва товару дефектоскопія
III. Товар із підкріпленням	До продажу: Гарантія, доставка Після продажу: Після продажне обслуговування
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: свідоцтво на авторське право	

В таблиці 5.19 ми створюємо тривірневу модель нашого товару що включає задум товару та його вигоди, основі 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. 5.20).

Таблиця 5.17. 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
1	10000	150000	800000	40000/70000

В таблиці 7.20 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 5.18. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Поодинокі замовлення Продаж в роздріб	Прямий продаж клієнтам продукції	Висока	Проведення збуту власними

				силами
--	--	--	--	--------

Було розроблено концепцію маркетингових комунікацій між споживачами та виробниками. В нашому випадку це робота напряму з виробником та реалізації продукту через прямий продаж.

Таблиця 5.19. 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
1	Гарантія якості Найсучасніші технології	Тематичні журнали, Інтернет	Ціна - якість Проведення виставок	Акцентувати увагу на якісний товар за помірними цінами, 78 Показати, що товар затребуваний для сучасного ринку.	Ціна-якість

Результатом даного підпункту є ринкова програма яка включає концепцію збуту, просування, аналіз ціноутворення, вона залежить від цінностей та потреб потенційних клієнтів, переваги ідеї, стан ринку на якому буде впроваджено проект на даний момент та його динаміку, та відповідну обрану альтернативу поведінки на ринку..

Висновки до розділу 5

Узагальнюючи проведений аналіз стартап проекту можна зробити висновок що даний проект має можливість ринкової комерціалізації за рахунок наявності попиту на прилади неруйнівного контролю.

У зв'язку з хорошою динамікою ринку на розроблений продукт буде хороший попит у споживачів, і з точки зору рентабельності проект обіцяє бути дуже прибутковим. З огляду на потенційні групи клієнтів перспективи впровадження проекту є дуже високими. Але за рахунок того, що на ринку вже є присутні аналоги продукту який розробляється бар'єр входження на ринок є досить високим. 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:

- Збільшити точність
- Здійснити рекламну компанію
- Працювати над покращенням продукту

Як альтернативний варіант впровадження нашого стартап-проекту для ринкової реалізації проекту доцільно обрати початок продаж нашого продукту в мережі інтернет і для якогось одного сегменту ринку, а тільки після закріплення на ринку вже починати шукати клієнтів в інших сегментах і пропонувати їм наш продукт. Також можна зробити висновок що для розширення ринку подальша імплементація проекту є дуже доцільною

Надалі є можливості вивести проект на міжнародний ринок. Це обумовлено тим, що прилад даного типу має меншу вартість та невисоке енергоспоживання за рахунок використання ортогонального методу виміру, який дозволяє реалізувати прилад з невисокою вартістю, в порівнянні з існуючими приладами, але точність якого не поступається серійним рішенням

ВИСНОВКИ

В результаті проведення аналітичного огляду літературних джерел за заданою тематикою було виявлено та сформульовано актуальність даної тематики, об'єкт та предмет досліджень, а також перелік завдань, необхідних для виконання.

В зв'язку з тим, що ручний контроль має свої певні недоліки, такі як вплив суб'єктивного фактору, неможливість автоматично задокументувати результати досліджень, наявність похибок вимірювань, гостро постає питання автоматизації неруйнівного контролю. Проводивши аналітичний огляд було виявлено, що загальновідомих систем, які б дозволяли проводити діагностику на об'єктах контролю з плоскими поверхнями не так і багато, а їх вартість робить їх недоступними для використання, наприклад, в лабораторних умовах в університеті.

Саме тому було вирішено розробити систему для позиціонування датчиків на плоских поверхнях, спираючись на вже існуючі рішення, знайдені в ході проведення аналітичного огляду. Деякі складові деталі було роздруковано на 3D-принтері. Для виконання переміщення було обрано ремінну передачу. Лінійні направляючі, різьбовий стержень, підшипники, гвинтовий ремінь – являють собою механічну складову виготовленої системи. В якості сполучної ланки між механічною та електронною складовими системи виступив кроковий двигун Nema 17 в парі з драйвером крокового двигуна A4988. До електронної складової системи також входять керуюча плата Arduino UNO, CNC шилд, сервопривід Sg90. Програмування, налаштування та керування системою відбуваються з комп'ютера, з використанням програм Arduino IDE, Inkscape, Rabbit G-code sender.

Отже, в ході виконання магістерської дисертації, було розроблено систему позиціонування датчиків на плоских поверхнях. Вона здатна переміщувати датчик по трьом координатам і по заданій траєкторії. В майбутньому система може бути модифікована для використання з

ультразвуковими чи вихрострумовими датчиками. Також дана система може бути використана для проведення лабораторних робіт.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Coordinate-measuring machine [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://en.wikipedia.org/wiki/Coordinate-measuring_machine.
2. Бушуев В.В., Хольшев И.Г. Механизмы параллельной структуры в машиностроении // СТИН. — 2001. — № 1. — С. 3-8. — ISSN 08597566.
3. Precision Study of a Coordinate Measuring Machine Using Several Contact Probes / I.Puertas, C.J. LuisPérez, D.Salcedo, J.P.Fuertes. // Procedia Engineering. – 2013. – №63. – С. 547–555. Харитонов В.И. "Управление техническими системами", М.: Изд-во "ФОРУМ", 2010 - 384с.
4. Классификация КИМ и область применения Источник: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=20156> [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=20156>.
5. Классификация КИМ и область применения Источник: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=20156> [Електронний ресурс]. – 2013. – Режим доступу до ресурсу: <http://5fan.ru/wievjob.php?id=20156>
6. Гузенков П.Г. Детали машин: Учебн.для вузов. — 4-е издание, испр. М.: высш. шк., 1986. — 395 с.
7. Ключев В. В., Контроль и диагностика: справочник / В. В. Ключев, Ф. Р. Соснин, А. В. Ковалев и др.; под ред. В. В. Ключева, 2-е изд., испр. И доп. – М.: Машиностроение, 2003. – 656с.
8. Материалы с 12-ой международной специализированной выставки "Металлообработка-2011", "Экспоцентр", Москва, 2011 1+
9. СКАНЕР-ДЕФЕКТОСКОП А2051 SCAUT [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.mega-nk.ru/i/cat/ultrazvukovoj-kontrol/ultrazvukovye-skanirujuschie-sistemy/skaner-defektoskop-a2051-scaut>.
10. Silverwing RMS2 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://www.pergam.ru/catalog/nondestructive_testing/ultrasonic_testing/Scanner_RMS2.htm.

11. Приборы для неразрушающего контроля материалов и изделий. Справочник. В 2-х кн. Под ред. В. В. Клюева. Кн. 2. М., «Машиностроение», 1976
12. Термінологічний словник з неруйнуючого контролю. Довідковий посібник./ Упорядк. І.П.Білокур, О.С.Боровіков та ін.. –К.; ІСДО, 1995. - 228с
13. Дунаев, П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин [Текст]: учеб. пособие для втузов / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. – 7-е изд., исп. – М.: Высш. шк., 2001. – 447 с.
14. Приводні ланцюги [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://studfiles.net/preview/2495760/page:2/>.
15. Дефектоскоп АВГУР-АРТ [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.echoplus.ru/prodykciya/28-avgur-art.html>.
16. EDDY CURRENT INSPECTION SYSTEMS [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.sdindt.com/sdi-eddy-current-inspection-systems.html>.
17. Линейные подшипники [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://engineercatalogues.narod.ru/articles/bushes.html>.
18. Timing Belt GT2 Profile [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.adafruit.com/product/1184>.
19. Драйвер шагового двигателя А4988 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://3d-diy.ru/wiki/arduino-moduli/drajver-shagovogo-dvigatelya-a4988/>.
20. Сервопривод SG90 [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: https://autohome.org.ua/market/moto_servo/servo-sg90-9g-detail.
21. CNC Shield v3.0 для Arduino UNO [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: http://diystore.com.ua/boards/cnc_shield_v3.
22. Понятие о погрешности позиционирования [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <http://www.ce-studbaza.ru/schriebe.php?id=1386>.

23. Погрешность позиционирования [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://helpiks.org/7-46933.html>.
24. Методические указания к выполнению курсового проектирования по курсам «Прикладная механика», «Механизмы устройств вычислительной техники» и «Конструирование механизмов и приборов». Сост.: Зозуля В.И. и др. – Киев: КПИ, 1984. – 56 с.
25. «Методические указания к выполнению курсового проектирования по курсам «Механизмы приборных и вычислительных систем», «Элементы приборных устройств». Сост.: Рыбин И.И. и др. – Киев: КПИ, 1984. – 48 с.
26. Маєвський С.М. Метод визначення просторових координат перетворювача дефектоскопу при неруйнівному контролі з використанням цифрових приладів на базі ПЗЗ-матриць / Р.М. Галаган, К.М. Серий, С.М. Маєвський // Вісник НТУУ «КПІ»: серія приладобудування, 2004. – Вип. 28. – С. 29-32.