

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

Приладобудівний факультет

(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»
УДК _____

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

_____ Ю.В. Киричук
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: «Маніпулятор вимірювальної системи»

Виконав (-ла): студент (-ка) 2 курсу, групи ПМ-11мп

Краплина Денис Олегович _____

Науковий керівник: к.т.н., доцент

Литвиненко Павло Леонідович _____

Консультант з розробки стартапу:

завідувач кафедри економічної кібернетики, д.е.н., проф.

Бояринова Катерина Олександрівна _____

Рецензент: к.т.н., доцент

Синиця Валентин Іванович _____

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

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

Приладобудівний факультет

Кафедра автоматизації та систем неруйнівного контролю

Рівень вищої освіти – другий (магістерський)

Спеціальність –151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма -«Комп’ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Ю.В. Киричук
(підпис) (ініціали, прізвище)

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту

1. Тема дисертації «Маніпулятор вимірювальної системи» науковий керівник дисертації Литвиненко Павло Леонідович, к.т.н., доцент, затверджені наказом по університету від «9» 11.2022 р. № 4110-с
2. Термін подання студентом дисертації «19» грудня 2022 р.
3. Об’єкт дослідження : Маніпулятор;
4. Вихідні дані : КВМ з сферичною зоною роботи;
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: розробка моделі, визначення оптимальних розмірів плечей, розрахунок навантаження.
6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: складальні креслення, алгоритм розрахунків, загальний вигляд, шарнір, хвостовичок.
7. Орієнтовний перелік публікацій
8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розроблення стартап-проекту “Анемометр з покращеними якостями”	завідувач кафедри економічної кібернетики, д.е.н., проф. Бояринова К.О.		

9. Дата видачі завдання _____

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Одержати у керівника магістерської дисертації (МГ) затвердженого завідувачем кафедри завдання на МГ	05 вересня 2022 р.	
2.	Виконання пояснювальної записки МГ	05 жовтня 2022 р.	
3.	Виконання технологічного розділу МГ, передача на перевірку та одержання підпису консультанта	05 жовтня 2022 р.	
4.	Виконання графічних матеріалів МГ	15 жовтня 2022 р.	
5.	Подання керівнику для перевірки: МГ та тексту його остаточного варіанту в електронному вигляді, одержання відгука на МГ	18 листопада 2022 р.	
6.	Одержання рецензії на МГ	18 грудня 2022 р.	
7.	Подання МГ на кафедру, одержання грифу «До захисту допущено» у завідувача кафедри	18 грудня 2022 р.	
8.	Подання МГ, відгука та рецензії в екзаменаційну комісію університету	18 грудня 2022 р.	
9.	Захист дипломного проекту в екзаменаційній комісії університету	20 грудня 2022 р.	
10.	Подання повної електронної версії МГ на кафедру для розміщенню в ELAKPI	20 грудня 2022 р.	

Студент _____
Науковий керівник _____

Краплина Денис Олегович
Павло Леонідович Литвиненко

РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація містить в собі вступ, три розділи, висновки та перелік посилань. Дисертація включає в себе 97 сторінок, в тому числі 40 рисунків, список посилань.

Мета магістерської дисертації – розробка маніпулятора вимірювальної системи.

Для досягнення поставленої мети були виконані наступні завдання: розглянуто та порівняно основні види КВМ (консольні, порталні, мостові, а також портативні); було детально проаналізовано методику роботи різних видів сканування та вимірювання лінійних індуктосинів; розглянуто принципи функціонування та було визначено особливості структури маніпуляторів вимірювальної системи.

Зпроектованні плечі конструкції, створено розрахункову схему для визначення навантаження на них.

Проведено розрахунки корпусу на міцність, розрахунок на точність складальних робіт та визначення технологічності приладу.

Ключові слова: маніпулятор, координатно-вимірювальна машина, сканування, індуктосин, енкодер.

ABSTRACT

This thesis for a master's degree contains an introduction, three main parts and conclusions. It also has 97 pages, including 40 pictures and list of references.

The purpose of the qualification work is to develop a measuring system manipulator.

To achieve this goal, the following tasks were performed: the main types of CMM (cantilever, portal, bridge and portable) are considered and compared; the method of operation of different scanning types and measurement of linear inductosines were analyzed; the principles of portable CMM of the "hand" type functioning was considered and the peculiarities of their structure were determined.

The shoulders of the structure were designed. A calculation scheme was created to determine the load on them. Calculations of the housing strength, calculation of the assembly work accuracy and determination of the technological efficiency of the device were carried out.

Direct and inverse kinematics problems were solved.

Key words: coordinate measuring machine, manipulator, scanning, inductosyn, encoder.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	8
ВСТУП.....	9
1 ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ	11
1.1 Типи координатно вимірювальних машин	11
Зменшення розмірів і допусків призводить до більш жорстких технічних вимог до вимірювальних машин і їхніх датчиків. Усі технічні характеристики нано-КВМ становлять 1/100 або 1/1000 від стандартних КВМ.....	15
1.2 Координатно-вимірювальні машини різних типів	15
1.3 Консольні КВМ.....	22
1.4 Портальні КВМ	27
1.5 Мостові КВМ.....	28
1.6 Портативні та мобільні КВМ.....	31
1.7 КВМ типу «рука»	32
1.8 Види сканування	38
1.9 Принцип роботи індуктосинів	42
1.10 Абсолютний енкодер.....	46
2 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ.....	52
2.1 Опис установки маніпулятора вимірювальної системи	52
2.2 Кінематичне рівняння маніпулятора	57
2.3 Визначення оптимальних розмірів плечей.....	65
2.4 Дослідження корпусу на міцність	76
3 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЄКТУ.....	81
3.1 Опис ідеї проєкту.....	81

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	83
3.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту.....	84
3.4 Розробка ринкової стратегії проекту.	91
3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.	94
3.6 Висновки.	98
ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ.....	99
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	99

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

EOM – Електронно-обчислювальна машина

KBM - Координатно-вимірювальна машина

AU – астрономічна одиниця

CAD - Система автоматизованого проектування (від англ. Computer-aided design)

g – прискорення вільного падіння

AU – астрономічна одиниця

Q – поперечна сила

M – згинальний момент

P – навантаження

m – маса

σ_T – границя текучості

K_T – показник трудомісткості виготовлення виробу

$T_{\Sigma \text{вир.}}$ – очікувана загальна трудомісткість виготовлення даного виробу

$T_{\Sigma \text{баз.вир.}}$ – трудомісткість виготовлення базового виробу

F – навантажена зосереджена сила

kH – кілоньютон

K_C – показник собівартості

$C_{\Sigma \text{вир.}}$ – витрати всього виготовлення виробу;

$C_{\Sigma \text{баз.вир.}}$ – собівартість базового виробу;

K_y – критерій уніфікації виробу;

N_y – число уніфікованих складальних одиниць;

n_y – число уніфікованих деталей;

ВСТУП

Будь-які технології не можуть розвиватись без якісного контролю. Широке використання у виробництві верстатів з ЧПУ збільшило вимоги до застосованих засобів контролю. Що було наслідком для забезпечення чіткого контролю поширеним стало використання координатних вимірювальних машин (КВМ).

Актуальність магістерської дисертації полягає у наступному: КВМ – це високотехнологічний інструмент для вимірювання геометричних особливостей об'єкта, без якого неможливе функціонування 70% всіх сучасних галузей виробництва, а саме: авіакосмічного, автомобілебудування, а також ядерно-енергетичного машинобудування і багатьох інших сфер.

Сучасні координатно-вимірювальні машини представлені широким модельним рядом, що дозволяє обирати машину відповідно до поставлених вимірюванням завдань, умовами (температура, тиск, вологість, запиленість) і фінансовим спромогам підприємства. Координатно-вимірювальні машини є дуже універсальними пристроями: вимірювальні операції можна здійснювати як на етапі освоєння, так і при конвеєрному випуску деталей. Вона дозволяє за одне установлення проконтролювати практично всі вимірювальні параметри, і в лабораторії, і в умовах цеху.

Основною перевагою сучасних Координатно-вимірювальних машин є можливість стовідсоткової автоматизації як на етапі реалізації координатних методів вимірювань, так і на етапі опрацювання результатів цих вимірювань. Крім цього, ми отримуємо змогу здійснювати контроль якості великих корпусних деталей будь-яких складних поверхонь з підвищеною точністю і з стовідсотковою достовірністю результатів вимірювань.

Принципово велика інформативність координатних вимірювань дозволяє безмежно розширювати набір контрольованих параметрів, наприклад, ми можемо визначити взаємне розташування рознесених складних поверхонь та геометричних

елементів, розрахувати прилеглі поверхні та виконувати взаємне вписування фактичного та теоретичного профілів по заданому критерію.

КВМ характеризуються дуже швидкою дією, різноманітністю виконуваних робіт, високою точністю одержуваних результатів. Вони дозволяють не тільки проводити заміри, але й розмічати, на початковому етапі, заготовки деталей з метою їх подальшої обробки. Саме завдяки КВМ ми можемо вирішувати завдання зворотного проектування, тобто за існуючою деталлю будувати її модель.

Таким чином, використання координатно вимірювальних машин є оптимальним для контролю за відхиленнями у розташуванні деталей. Також всі вимірювання на КВМ здійснюються тільки спец-фахівцями, що пройшли навчання, за відповідними методиками виконання вимірювань. Далі ми детально розглянемо класифікацію і визначення сучасних КВМ за їх компонуванням, конструктивним виконанням, фізичним принципом дії обладнання, ступенем універсальності, калібруванням, областями застосування в різних галузях.

Метою магістерської дисертації є розробка портативного маніпулятора вимірювальних систем типу «рука». Для досягнення поставленої мети необхідно виконати наступні завдання: розглянути та порівняти основні види координатно вимірювальних машин (мостові, консольні, порталні, портативні); проаналізувати методику роботи різних видів сканування та вимірювання лінійних індуктосинів; розглянути принципи функціонування та визначити особливості структури портативних маніпуляторів.

1 ТЕОРЕТИЧНИЙ ОГЛЯД ТА АНАЛІЗ АНАЛОГІВ ОБ'ЄКТА ПРОЕКТУВАННЯ

1.1 Типи координатно вимірювальних машин

Аналіз останніх тенденцій розвитку машинобудування показує, що підтримувати високу якість продукції, яка випускається завдяки приладам нового, сучасного та складнокомпонентного виробництва, можливо й за допомогою гнучкої системи автоматизованого керування. Останнім часом не тільки спостерігається досить інтенсивний і випереджальний розвиток систем контролю, але й значно скоротилася кількість кваліфікованих кадрів у сфері метрології і контролерів, тому в цьому контексті необхідно створювати різноманітні багатofункціональні системи та пристрої, що характеризуються високим ступенем автоматизації в області обробки метрологічної та технологічної інформації.

Наприклад, машинобудівні підприємства, авіаційна, космічна та медична галузі, важка промисловість все частіше інтегрують у виробничі процеси високоточне вимірювальне обладнання, яке за допомогою контролю заготівельно-штамповочної лінії дозволяє отримати складні прецизійні компоненти деталей з оптимальними геометричними параметрами з точністю до 01-02 мкм. На таких виробництвах все частіше застосовуєть координатні вимірювальні машини, які дозволяє контролювати процеси виготовлення і обробки болванок, пуансонів, поршневих елементів, витратних частин [6].

Виміри на вимірювальному маніпуляторі здійснюються при відносних переміщеннях деталі та датчика контакту. У різноманітних конструкціях машин ці відносні переміщення здійснюються абсолютно по-різному - переміщенням датчика торкання по усіх існуючих координатних осях або переміщенням вимірюваної деталі по деяким координатам. Частіше вимірювана деталь при вимірі нерухома, а датчик торкання робе переміщення. Таке компонування використовують коли вимірюють великогабаритні деталі

з великою масою. При вимірі не дуже великих деталей стіл з деталлю часто переміщається по одній координаті та рідкісний по двох. Напрям осей X, Y, Z дуже умовно, чаші всього вісь з найбільшим діапазоном виміру цієї машини називають віссю X, а вісь, перпендикулярну основі, - віссю Z [14].

Існує різна класифікація координатно-вимірних машин, яка ґрунтується на їх призначенні, функціонуванні, а також багатьох інших факторах, які будуть наведені далі.

Наприклад, за конструктивним виконанням, яке залежить від розташування і конструкції вузла, на якому знаходиться датчик торкання, можна виділити такі типи КВМ:

- консольні;
- порталні;
- мостові

За типом виконання, координатно-вимірювальні машини можна згрупувати наступним чином:

- 3D-портальні;
- стійкові;
- шарнірно-зчленовані типу «рука»;
- шестиосьові на основі платформи Стюарта;
- фото- та рентгенографічні;
- лазерні дальноміри з об'ємним скануванням (Laser Tracker) [2].

В залежності від умов експлуатації і задач обробки КВМ можна поділити на горизонтальні, вертикальні і «зчленовані» (рис.1.1). У першому варіанті забезпечується висока точність, обумовлена жорсткістю конструкції. Оператор в цьому випадку отримує можливість прямого доступу до внутрішньої структури цільового об'єкта. На практиці горизонтальні установки частіше застосовуються в обслуговуванні дрібних деталей. Вертикальні координатно-вимірювальні машини вважаються найбільш точними, тому їх

використовують у відповідальних метрологічних дослідженнях. Але, для використання такого устаткування буде потрібно термостатування цеху, а також високі витрати на обслуговування системи. Що стосується мостових машин, то вони завдяки зносостійкій оснащенні дозволяють працювати з великоформатними виробами.

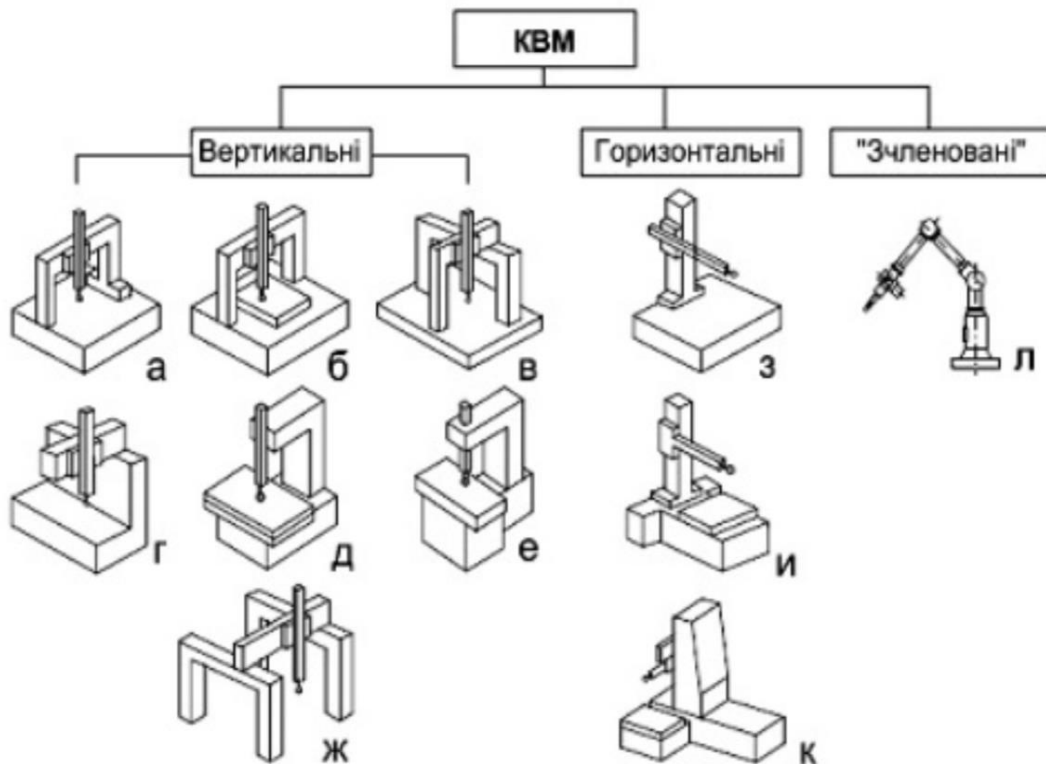


Рисунок 1.1 – Поширені типи координатно вимірвальних машин

До того ж, можна провести класифікацію за способами управління КВМ. У цьому поділі виокремлюють моделі з дистанційним керуванням, які працюють за принципом програмного контролю на основі роботи вимірвальних пристроїв числового програмування. Друга частина моделі, що працюють за схемою комбінування. Це передбачає в собі поєднання електронного та механічного управління з елементами автоматизації. Третя частина поділу - конфігурація управління в ручному режимі. В такому випадку

оператор КВМ знаходиться безпосередньо на лінії контролю і взаємодіє з технікою допомогою спеціального джойстика [6].

Також можна класифікувати КВМ за призначенням:

- Цехові – ті що використовуються для контролю якості кінцевої продукції в умовах виробництва, інструментальних цехах, відділах вхідного контролю;
- Прицезійні – які використовуються для високоточних вимірювань в лабораторних умовах;
- Спеціалізовані – їх доцільно використовувати при дуже швидкому вимірюванні ріжучих інструментів, при профілю різі ходових гвинтів, профілю робочої частини лопаток турбін і та інших [22].

Рентгенографічні вимірювальні комплекси дозволяють в автоматизованому режимі виконувати технологію метротомографії. При її використанні вимірювана деталь поміщається в поле слабого рентгенівського випромінювання, потім її рентгенівське зображення фокусується на спеціальному екрані-приймачі і запам'ятовується в пам'яті комп'ютера. Потім деталь повертають на невеликий кут, і процес повторюється, поки не завершиться один оберт. Отримані тривимірні масиви даних, що містять детальну інформацію, обробляються комп'ютером і візуалізуються на екрані монітора, що містить повну інформацію про зовнішню геометрію поверхні та внутрішні структури (тріщини, оболонки, пори). Результати обстеження роздруковуються у вигляді протоколу вимірювання.

Останнім часом почалися інтенсивні розробки мікро-КВМ (нано-КВМ). Приклад зображено на рис.1.2. Тенденція до мініатюризації багатьох продуктів у таких галузях, як медична робототехніка та імплантологія, призвела до розширення виробництва мікрокомпонентів. З цієї причини зростає потреба в розробці методів перевірки форми дрібних деталей і підвищення точності виробів масового виробництва.

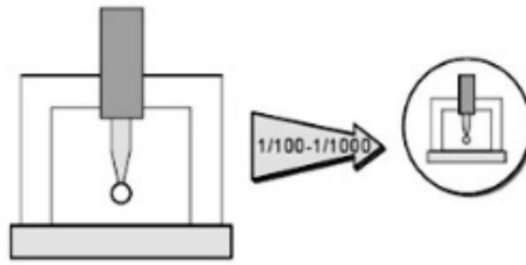


Рисунок 1.2 – Умовні співвідношення між звичайними та нано-КВМ

Зменшення розмірів і допусків призводить до більш жорстких технічних вимог до вимірювальних машин і їхніх датчиків. Усі технічні характеристики нано-КВМ становлять 1/100 або 1/1000 від стандартних КВМ.

1.2 Координатно-вимірювальні машини різних типів

Координатний спосіб вимірювання, який складає основу для роботи координатно-вимірювальної машини на сьогодні вважається найбільш універсальним, а тому може бути ефективно використаний для автоматизованого контролю обшвної номенклатури деталей, в тому числі з поверхнями, які мають складні профілі: зубчасті колеса, черв'ячні фрези, різьбові калібри. Сучасні КВМ дозволяють вимірювати різноманітні поверхні або деталі будь-якої складності, що не завжди було можливим до їх винайдення.

Завдяки спеціальним координатно-вимірювальним машинам координатно-вимірювальні операції можна проводити навіть без залучення роботи з верстатом. Наразі існує не одне визначення цих пристроїв, тому давайте розглянемо та порівняємо декілька з них.

1) Контрольно-вимірювальні машини – це унікальний прилад, що передбачає вимірювання геометричних характеристик об'єкту. Даний прилад

може управлятися вручну оператором або автоматизованим пристроєм (за допомогою персонального комп'ютера зі спеціальною програмою для вимірювання виробів різної форми та обробки зібраних даних).

2) Координатно-вимірювальна машина – це система для вимірювання, що застосовує засоби переміщення системи зондування та визначає просторові координати на поверхнях деталей.

3) Координатно-вимірювальна машина – це вимірювач тривимірних координат, що має необхідну шкалу, а також датчик для отримання величини переміщення однієї прямої і двох перпендикулярних напрямних; до того ж цей прилад може отримувати значення тривимірної координати датчика з кожної величини переміщення [9].

4) КВМ – це автоматизований засіб високоточних вимірів, що функціонує за різнобічною технологією. Він здатний ефективно працювати навіть у несприятливих умовах, як наприклад у цеху. Контроль із застосування КВМ необхідно організовувати під час обробки, особливо під час етапу різання, складно профільних заготовок. КВМ можуть не лише вимірювати базові поверхні, а й визначати систему координат положення спеціальних поверхонь відносно базових [4].

З огляду конструкції, сучасний маніпулятор (рис. 1.3) – це агрегат, що включає механічна частина, система обмацування, вимірювальну систему, система електромеханічних приводів переміщення механічних частин, система обробки результатів вимірів. Система електромеханічних приводів задовольняє здійснення підготовчих операцій контролю і виміру. Система обмацування забезпечує контакт вимірювального органу із заданими точками предмету, що проходить перевірку. Процес вимірювання зводиться до визначення величини переміщення по усіх координатах елементів вимірювальної системи [3].

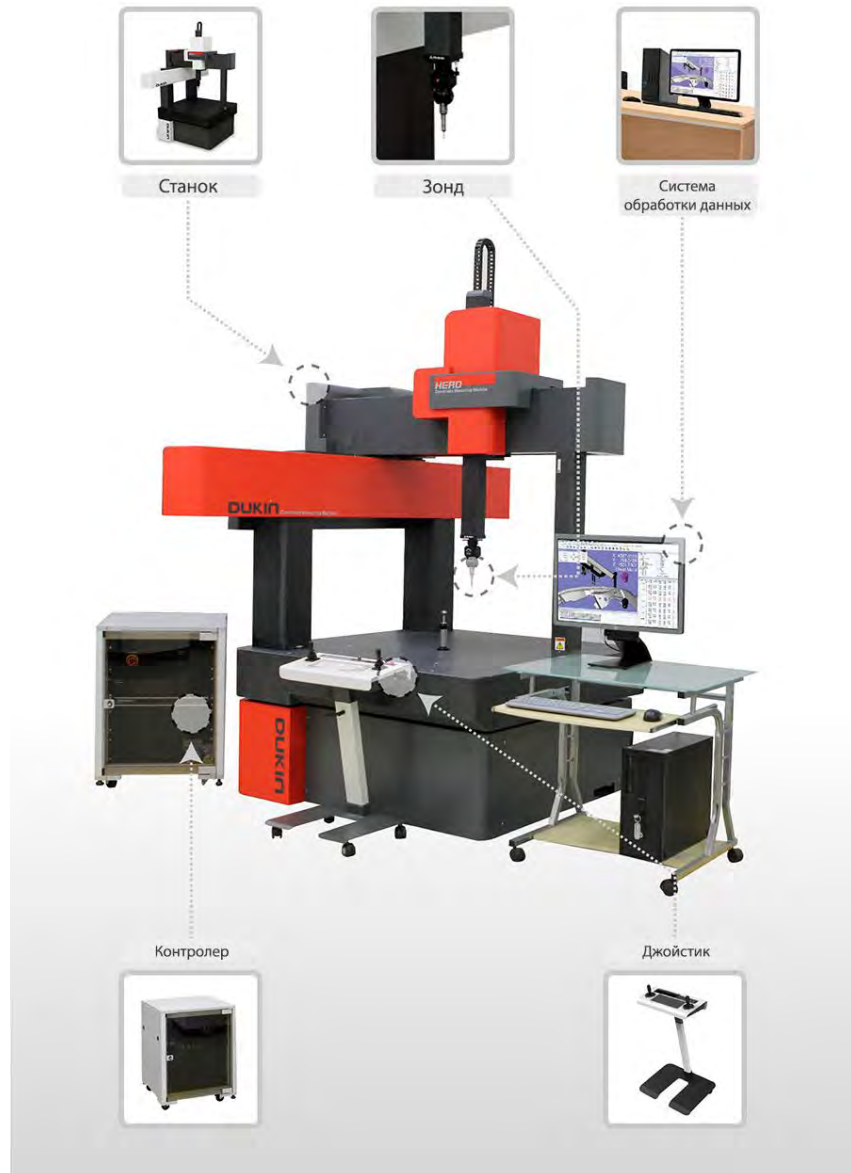


Рис. 1.3. Координатно-вимірювальна машина

Використовуються три базові системи координат:

- абсолютна система координат машини;
- відносна система координат машини;
- система координат деталі.

Точно невизначено, коли саме була розроблена перша тривимірна машина для вимірювання. У певних першоджерелах вважається, що вона з'явилася між 1950-ми та 1960-ми роками. Спочатку були винайдені

двовимірні вимірювальні машини, як наприклад інструментальні мікроскопи, що використовувалися для кріплення пристроїв осі z або модифікації компонувальних машин.

Після цього галузь розробки тривимірних вимірювальних машин досягла певного прогресу в точності та швидкості вимірювання. Це перш за все пов'язано з розробкою цифрових датчиків положення, таких як лінійні шкали, комп'ютери та технологія точної обробки даних.

Чітко виділити етапи розвитку тривимірних вимірювальних машин важко, але їх можна розділити умовно наступним чином (таблиця 1.1).

Таблиця 1.1. Покоління координатно-вимірювальних машин

<i>Покоління</i>	<i>Шкала</i>	<i>Спосіб приво-ду</i>	<i>Точність</i>	<i>Комп'ютер</i>	<i>Зонд</i>	<i>Особливості</i>
I	Стрілочний індикатор	Ручний	0.1мм	Ні	Механічний	Модифікації компонування машини
II	Індуктосин	Джойстик	0.01мм	Ні	Контактний сигнал	Підвищення точності масштабування
III	Муарова бахрама	ЧПУ	0.01мм	Є	Скануючий	Розробка програмного забезпечення
IV	Лазерний інтерферометр	ЧПУ	0.0001 мм	Є	Безконтактний	Дані САПР для виправлення помилок при заміні зонда

Завдяки роботі КВМ можна перевіряти правильність параметрів корпусних деталей, втулок, різноманітних валів та важелів, а також інших виробів, що мають циліндричні чи конусоподібні поверхні, форми сфер, або ж лінії перетину різних поверхонь. Результати вимірів представляються як віддруковані протоколи або оперативні повідомлення, які відображають інформацію. На рис.1.4 наведено вимоги, яким мають відповідати КВМ:



Рисунок 1.4 – Вимоги до координатно-вимірювальних машин

Основним для роботи вимірювальних машин є розрахунок параметрів поверхні за результатами вимірювання положення окремих точок на цих поверхнях. Для обчислення положення окремих точок використовується система координат, у якій фіксується положення вимірюваного об'єкта. [15].

Поставлені перед КВМ вимоги постійно посилюються та є суперечливими. З одного боку вимірювання КВМ повинні мати малу похибку (0,5 – 2 мкм), з іншого – переміщення чутливого органу має бути швидким (до 0,5 м/с). Забезпечення цих вимог здійснюється за рахунок високоякісних інформаційно-вимірювальних систем та елементів управління, що входять до складу машин. Винахід контактного датчика на початку 70-х років минулого століття призвів до стрибку вперед у сфері дослідження та розробки координатно-вимірювальних машин як промислового стандарту для 3D вимірювання (від англ.: 3 Dimensions – 3 виміри).

Серед ключових особливостей контрольно-вимірювальних агрегатів є:

- Підвищена компенсація вібрацій забезпечує умови для проведення швидкого сканування, що у свою чергу дозволяє збільшити

продуктивність агрегату без втрати точності вимірювань незалежно від складності креслення;

- Оптимізація траєкторії руху датчика – ґрунтується на автоматичному розрахунку мінімальних відстаней між точками вимірювання та скорочує простої агрегату. Ця функція дозволяє здійснювати плавні рухи пристрою за максимально короткий час виконання операції;
- Функція енергозбереження – активізується в період простою та заключається у відключенні живлення установки у разі відсутності робочих операцій. Опція дозволяє підтримувати агрегат у режимі готовності;
- Економічна витрата повітряного потоку – активізується за відсутності робочих завдань та передбачає режим заощадження електроенергії за рахунок зниження параметрів споживання;
- Контроль стану навколишньої атмосфери – фіксується за рахунок системи датчиків, що дозволяє виявити відхилення в навколишньому середовищі, які можуть вплинути на точність вимірювань, що проводяться.

Необхідно зазначити, що, незважаючи на важливість і ефективність застосування вимірювальних машин, існує небагато робіт, присвячених їхньому проектуванню й експлуатації. На КВМ проводять вимірювання координат окремих точок поверхонь об'єкту в прийнятій системі координат (прямокутній, циліндричній або сферичній), та такі визначення необхідних параметрів: розміру, форми, взаємного розташування поверхонь. Вищезазначені вимоги задовольняються шляхом математичної обробки виміряних координат.

Спираючись на наведені фактори, можна зазначити, що сучасні КВМ вимагають прогресованого програмно-математичного забезпечення. Така вимога обумовлена різноманітністю функцій, можливостей представлення результатів вимірювань, рівнем їх автоматизації, різною кількістю

вимірювальних головок, наявністю додаткових функцій (автоматична заміна вимірювальних наконечників, вбудованість КВМ в системи гнучкого автоматизованого виробництва, різноманітністю конструкцій КВМ. Складність будови КВМ і вирішуваних нею завдань визначає і широту їх відмінностей у класифікації. На сьогоднішній день налічується не один десяток модифікацій КВМ, що відрізняються точністю вимірювань, принципом управління, способом вимірювання, ступенем автоматизування, конструкції, розмірами робочого простору і т. п.

Отож, координатно вимірювальна машина є пристроєм, який забезпечує установку вимірюваної деталі, взаємне переміщення всієї системи КВМ, вимірювальної головки і деталі, вимірювання цих переміщень за координатами, обробку даних вимірювань і представлення остаточного розрахунку вимірюваних геометричних параметрів. КВМ застосовуються для контролю практично всіх видів деталей, що можна зустріти в машинобудуванні. Однак кожен тип деталей вимагає певного програмного забезпечення, оснащення для вимірювання, змін в конструкції КВМ, а також спеціальної технології вимірів. Всі ці питання необхідно враховувати при виборі КВМ.

1.3 Консольні КВМ

Перш ніж розглядати консольні контрольно-вимірювальні машини, необхідно визначити, що таке вимірювальні машини з нерухомими координатами і за яким принципом вони працюють.

Стационарна КВМ – це універсальний або спеціалізований вимірювальний прилад, який індивідуально контролює розташування точок або окремих ділянок оброблюваної поверхні. Дані складні механічні агрегати мають щупи, які переміщуються по поверхні виробу, при цьому фіксується абсолютне відхилення головки щупа від базового положення. Іноді крім щупів використовується певний набір стрижнів.

Базова конструкція стаціонарної координатно-вимірювальної машини за своїм виглядом та принципом роботи нагадує свердлильний підлоговий верстат. Складниками такої машини є:

- жорстко встановлена вертикальна стійка;
- консоль, що обертається на 360° в горизонтальній площині і переміщається вертикально;
- каретка, яка рухається вздовж консолі;
- піноль, до якої прикріплена вимірювальна головка.

Такі КВМ використовуються під час вимірювання великогабаритних деталей. Вони працюють досить швидко, але при цьому не є високоточними [7].

На рис.1.5 показано схему принципу роботи найбільш універсального контактного вимірювального пристрою. У ньому щуп пересувається за допомогою електромеханічної системи вздовж контрольованої поверхні. У щупі влаштований сенсор, що реєструє відносні відхилення контрольованої поверхні під час руху від точки до точки. Система переміщення щупа представлена у вигляді слідкуючої системи, вихідні координати якої визначають геометричні параметри вимірюваної поверхні.

У основну апаратну частину машини типового компонування (див. рис.1.6) входить гранітна база, на якій взаємно перпендикулярно монтуються вузли координатних переміщень. Кожен з цих вузлів забезпечує рух уздовж однієї з 3 осей прямокутної системи координат машини.

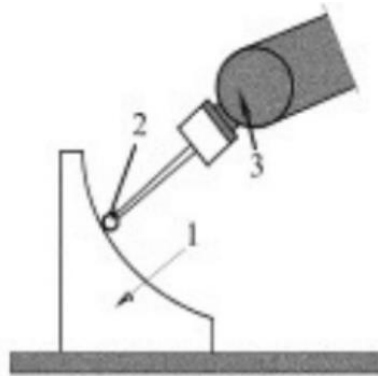


Рисунок 1.5 – Схема контактного вимірювального пристрою:

1 - контрольований виріб; 2 - контактний щуп; 3 - вимірювальна головка

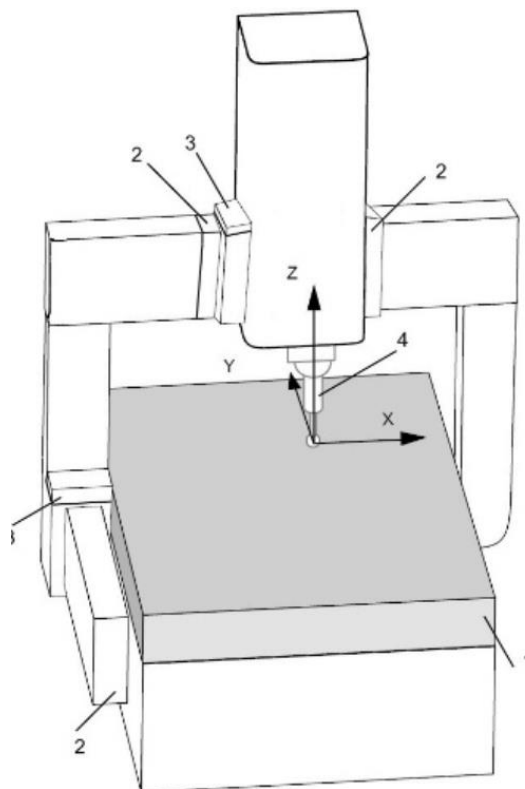


Рисунок 1.6 – Загальний вигляд конструкції КВМ

Формулювання поточних координат референтних точок вузлів у робочому просторі вимірювальних машин виконують із застосуванням лінійних енкодерів, які зазвичай розташовані паралельно до осей системи координат машини.

У практичній конструкції КВМ реалізована ідея механотронної системи у будівництві верстата, що забезпечує міцність корпусу та безперебійне функціонування механічних частин. Він використовує опору, що коливається, тому завдяки ньому можна отримати точні вимірювання без залучення у процес спеціального фундаменту.

У КВМ використовуються різноманітні типи вимірювальних головок в залежності від метрологічних завдань, що виникають на практиці. У будь-якому випадку вимірювальна головка задає стартову інформацію щодо вимірювань. На її основі визначаються подальші розміри деталі. Дану інформацію можна отримати або у вигляді фактичних координат точок поверхні, яка знаходиться під перевіркою, або у вигляді відхилень цих координат від заданих. Їх слід компенсувати за допомогою додаткового датчика. Вони також слідкують за температурою машинного вузла та зміною його габаритів. Дані, отримані від датчиків, повинні бути додатково оброблені, а у вимірювання повинні бути внесені більш тривалі поправки. Все це призводить до ускладнення конструкції та системи управління. Як наслідок, зростають витрати на виготовлення вимірювальних машин і посилюються і без того високі вимоги до приміщень, в яких такі прилади знаходяться.

Отже, перейдімо безпосередньо до огляду консольних вимірювальних машин. В першу чергу, слід зазначити, що це прилади, в яких датчик торкання розташований на консолі (приклад на рис.1.7). Такі КВМ називають машинами стійкового типу, адже при консольному положенні датчика торкання встановлюється одна стійка. Вона може і переміщатися, і бути нерухомою. За

своїм призначенням і за конструкцією прилади такого типу можуть бути розділені на дві групи [1].

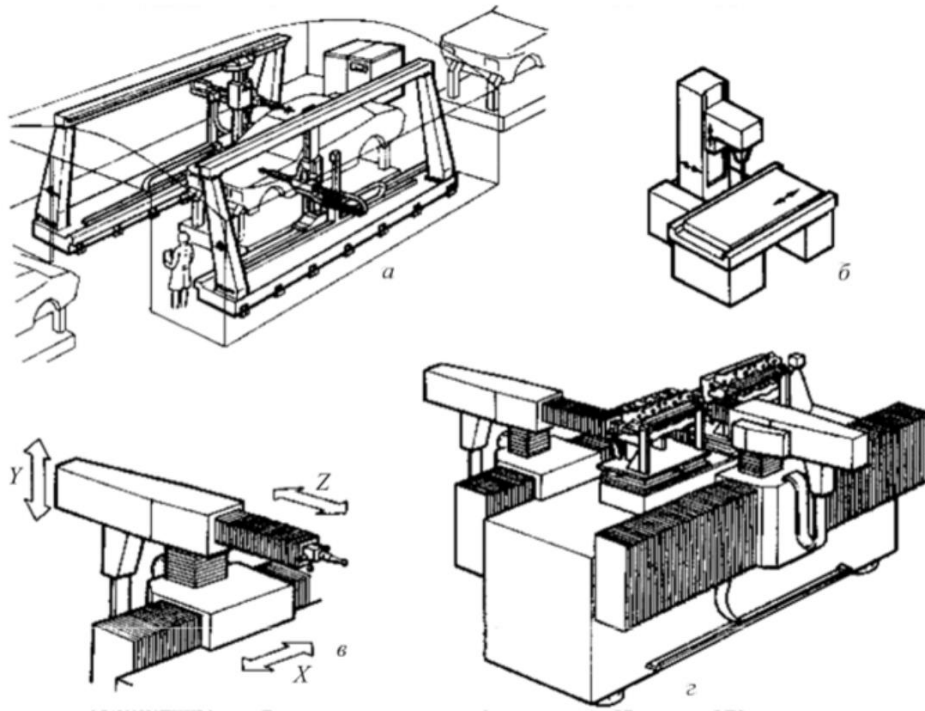


Рисунок 1.7 – КВМ консольного типу

У машинах, що належать до першої групи, стійка для установки датчика на консолі є відносно легкою та переміщається під час виміру на велику довжину. У консольних машинах другої групи для встановлення датчика торкання розроблена стійка важкої конструкції (рис.1.6,б), яка переміщається на відносно невелику довжину вздовж однієї координати [5].

Машини першої групи призначені для вимірювання невисокої точності, адже мають невисоку жорсткість. Діапазон виміру таких машин різниться: від малих (300...700 мм) до 24 м по одній з осей(X). Зазвичай консольні КВМ з великим діапазоном виміру застосовують для виміру корпусних деталей літаків, кораблів, автомашин і т. д. Такі машини іноді встановлюються по Також до машин такого ж типу можна віднести КВМ, що дістали назву

вимірювальні роботи (рис.1.7,в). Вони є консольною машиною, що призначена для установки безпосередньо у конвеєра автоматичної лінії (рис.1.6 - г), у тому числі і в гнучких виробничих системах [1].

Консольні машини другої групи, що мають стойку важкого типу, є більш жорсткими, ніж перші, і використовуються для вимірювання високої точністю.

Схематичний принцип роботи консольної КВМ показано на рис. 1.8.

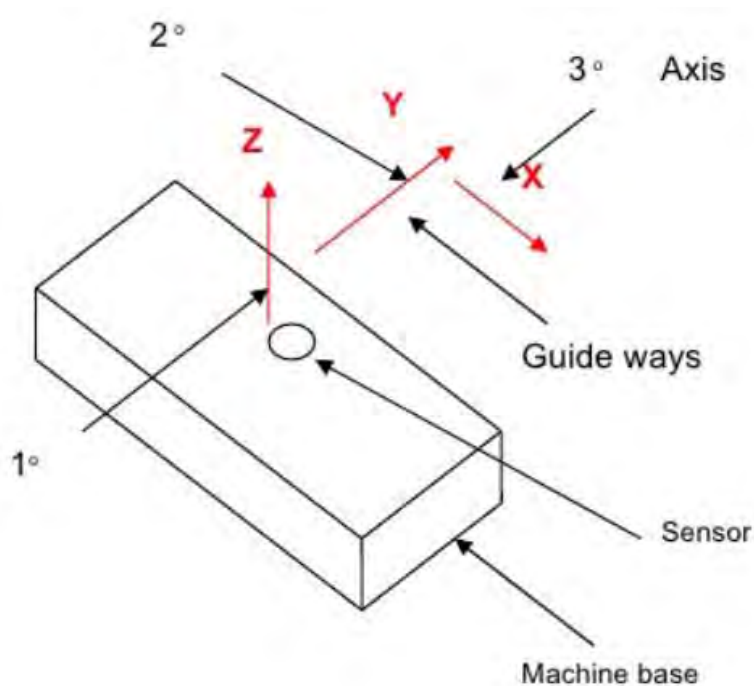


Рисунок 1.8. Схема консольної КВМ

Основною перевагою усіх цього ж типу КВМ консольного типу в порівнянні з подібними приладами є якісний доступ до позиції вимірювання. При установці деталі на вимір до неї є можливість підійти з трьох сторін, що в свою чергу надає можливість повного огляду за процесом виміру.

1.4 Портальні КВМ

Портальне компонування КВМ є досить поширеним та представляється у різних варіантах. Характерною ознакою компонування є П-подібний портал, який переміщається вздовж гранітного столу (вісь Y). За горизонтальною віссю (X) переміщається каретка, що несе рухому піноль вертикальної осі (Z), на якій закріплена вимірювальна головка.

Портальне компонування КВМ характеризується високою жорсткістю базового вузла, високою динамікою, відкритим простором для монтажу деталей, точністю та відмінним оглядом процесу вимірювання. Розміри портальних КВМ варіюються від невеликих портативних пристроїв до великих машин з переміщенням по осі на кілька метрів. [13].

Приклад КВМ такого типу наведено на рис.1.9. За конструктивними рішеннями портальні машини поділяють на машини з рухливим та стаціонарним порталом.

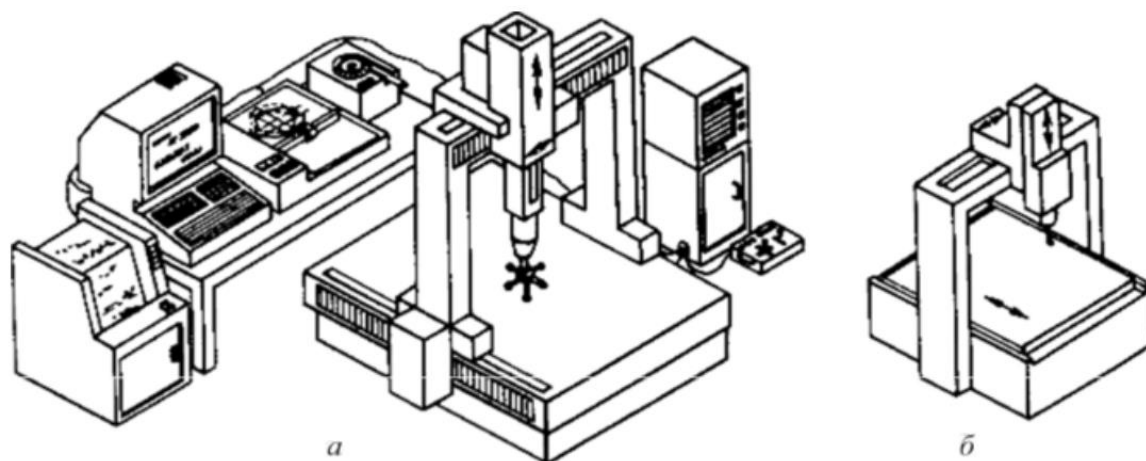


Рисунок 1.9 – Приклад КВМ портального типу

До складу машини входять:

- горизонтальний портал на стійках П-подібного типу;
- каретка, що переміщається по його балці;
- піноль з вертикальним рухом;
- робочий стіл.

Машини з рухливим порталом призначаються для виміру як відносно невеликих (500 – 600 мм), так і великих деталей (до 2500 мм). Зазвичай стіл в таких агрегатах є набагато довшим, ніж діапазон виміру за горизонтальною віссю. Така особливість забезпечує вільний доступ до деталі, що вимірюється, і дозволяє робити установку деталі на одному кінці столу. У цей час на іншому кінці здійснюється вимір іншої деталі. Машини з нерухомим порталом та рухомим столом мають більш високу точність вимірювання порівняно зі верстатами з рухомим порталом. Це пов'язано з тим, що рухомі вузли, або столи в таких пристроях можна зробити жорсткішими. В порівнянні з консольними машинами порталні мають вищу жорсткість, а тому, в таких конструкціях забезпечується більша точність. Окрім цього, необхідно зазначити, що саме координатно-вимірювальні машини порталного типу вважаються найбільш поширеними у використанні.

1.5 Мостові КВМ

Містові КВМ – це пристрої, в якому рухомий елемент розміщений на підставці, а датчики дотику під час вимірювання зміщуються по всіх координатах (див. рис. 1.10). Порівнюючи компоненти мостових уоординатно вимірювальних машин та порталній, очевидною відмінністю є значно зменшена маса рухомих частин. Це також підвищує точність вимірювань машини. Що стосується спільних рис, то слід звернути увагу на їх конструкцію, а саме наявність стаціонарних порталів..

Мостове компонування використовується у великогабаритних координатно-вимірювальних машинах різних класів точності і є для них основним. У мостових КВМ каретка з пінолями переміщається рухомою траверсою. Рухлива траверса спирається на кінці горизонтальних нерухомих балок, які піднімаються до стояків стільниці для кріплення деталей. На одній із балок встановлені датчики приводу та переміщення. КВМ з таким компонуванням має обмежений доступ до компонентів навантаження та доступ до контрольних вимірів. Компонування мосту забезпечує рухомий блок з малою масою, високу жорсткість та стійкість у порівнянні з іншими компонуваннями. Дана компоновка є ідеальним рішенням для вимірювання великогабаритних деталей у важкому та транспортному машинобудуванні, кораблебудуванні, аерокосмічній промисловості та інших [13].

В порівнянні з консольними машинами КВМ мостового типу мають більш високу точність завдяки жорсткішій конструкції. Деякою незручністю КВМ мостового типу є ускладнений доступ до вимірюваної деталі.

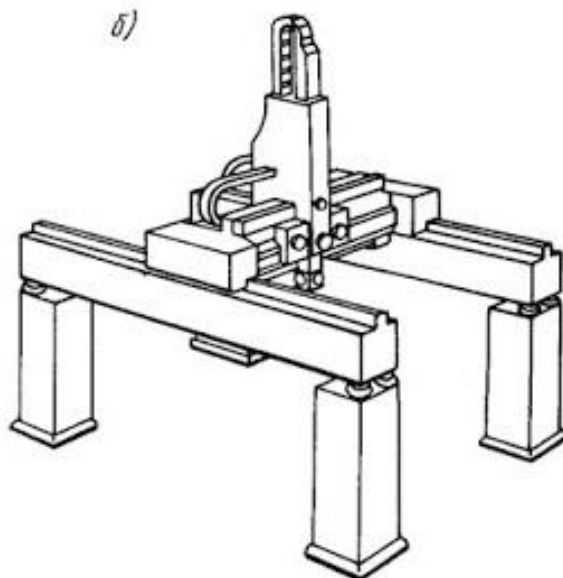


Рисунок 1.10 – Приклад мостових КВМ

Традиційні мостові координатно вимірювальні машини має три осі: X, Y і Z. Ці осі розташовані перпендикулярно одна одній, утворюючи звичайну тривимірну систему координат. Кожна вісь має свій масштаб, який визначає її положення. Машина використовує спеціальні датчики для зчитування даних про положення багатьох точок (X, Y, Z) сфотографованого об'єкта та аналізує отриманий масив даних, щоб визначити розмір і положення об'єкта. Управління датчиками здійснюється оператором або комп'ютером. Цю систему можна запрограмувати для аналізу потоку конвеєра. Це дозволяє вважати його особливою формою промислового робота..

Схематично принцип роботи мостової координатно-вимірювальної машини представлено на рис. 1.11.

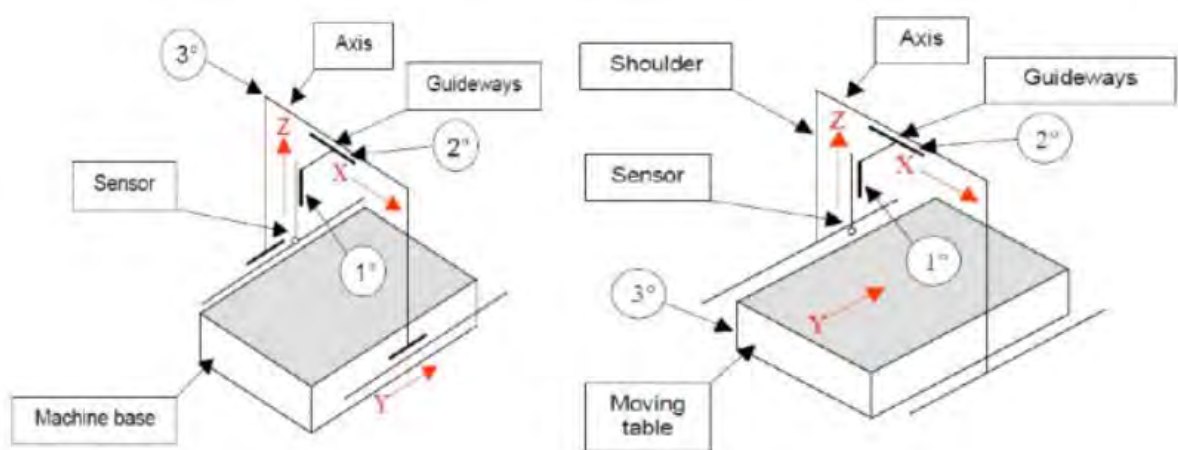


Рис. 1.11. Схема мобільної (ліворуч) та стаціонарної (праворуч) мостової КВМ

1.6 Портативні та мобільні КВМ

Початковий етап в історії розвитку мобільних вимірювальних систем відбувся в кінці 20 століття, коли рівень технологій дозволив розпочати виробництво досить точних координатних машин з достатньо низькою собівартістю.

Сьогодні найкращі мобільні вимірювальні системи за точністю вимірювань наближаються до стаціонарних. Перевагою є те, що при цьому вони мають майже в десять разів меншу собівартість. Розрізняють декілька типів мобільних вимірювальних систем:

- машина типу «рука» («шарнірні», або ж «ручні»);
- лазерний трекер;
- лазерний сканер.

Портативні вимірювальні машини є мобільними і можуть використовуватись у будь-якому місці виробничого цеху. Більшість пристроїв є бездротовими, тому їх можна використовувати у важкодоступних місцях. Дані прилади призначені для високоточного вимірювання деталей зі складною геометрією (складні грані, отвори, заглиблення тощо). До того ж таке обладнання використовується для аналізу форми, розмірів, допусків та контрольних порівнянь між готовими зразками та базовими цифровими моделями.

Для роботи з портативними КВМ не потрібна спеціальна підготовка, оскільки обладнання не потребує складного налаштування та калібрування. Використання таких приладів разом з іншими пристроями для змін та оцифрування розширює функціонал та сферу застосування обладнання.

У випадках, коли потрібний вільний доступ до деталі з різних сторін, використовують КВМ з горизонтальним важелем. Пристрій працює на важкій платформі, яка гарантує нерухомість об'єкта під час вимірювань. Конструкція передбачає захист користувачів від травм, а предметів від деформацій.

Серед контактних вимірювальних приладів координатно-вимірювальні машини з горизонтальним важелем найшвидше вирішують завдання в галузі автоматизованого метрологічного контролю [8].

1.7 КВМ типу «рука»

Практично неможливо використовувати фіксований СВМ, якщо вам потрібно виміряти великі деталі з великими розмірами, порожнини, до яких важко дістатися, тощо. Але деякий час тому інженери знайшли вихід із цієї складної ситуації. Вони запропонували виробнику використовувати портативну вимірювальну машину, зовні схожу на маніпулятор. Ці пристрої дуже компактні, дуже легкі та розташовуються безпосередньо біля об'єкта, що вимірюється.

Принцип роботи таких машин не складний. Для цього оператор просто торкається щупом до точки вимірювання і фіксує маніпулятор у зручному робочому місці. Наприклад, його можна закріпити на металевій поверхні за допомогою магнітної підставки. Дані про просторові координати вістря зонда (при використанні гострого вістря) або про центр сфери (при використанні сферичного вістря) отримують за допомогою датчиків, зазвичай розміщених на шарнірах маніпулятора, за допомогою спеціального комп'ютера.

Ці КВМ мають плечовий, ліктювий та кистьовий суглоби. Тому цей вид КВМ ще має назву «вимірювальні руки». На плечовому суглобі розташована кріпильна плита, за допомогою якої машина встановлюється на плоску поверхню. На кистьовому суглобі монтується вимірювальний щуп. У кожному суглобі розташовуються датчики кутових переміщень(енкодера). Вони відраховують відносні кути повороту кожного з суглобів. При відомих довжинах відповідних частин руки можливо розрахувати положення у

просторі вимірювального щупа у заданій системі координат. Якщо система координат не задана, вона, як правило, розташована у центрі установчої плити ВМ.

Основні області застосування КВМ типу «рука»:

- 3D-моделювання,
- вирівнювання,
- інспекція збірних агрегатів,
- калібрування,
- контроль штампувальних і ливарних форм,
- перевірка геометрії,
- контроль деталей в процесі обробки,
- порівняння з CAD - моделями,
- швидке прототипування,
- зворотній інжиніринг,
- інспекція поверхонь,
- налагодження та позиціонування інструменту.

Загальний вигляд мобільних КВМ типу «рука» показано на рис.1.12.



Рисунок 1.12 - Загальний вигляд мобільних КВМ типу «рука»:

1 - основа КВМ; 2 - корпус; 3 - рука; 4 - вимірювальна головка; 5 - вимірювальний наконечник (щуп); 6 - комп'ютер

Конструктивні особливості вимірювальних маніпуляторів типу «рука»:

1) зовні це досить проста і переносна конструкція, що складається з триноги (штативу), магнітної або вакуумної основи, кількох шарнірних трубок або колін і рукоятки, в якій міститься вимірювальна головка.

2) трубки вимірювальної руки виготовлені з вуглеволокна авіакосмічного класу. Використання такого матеріалу обумовлено високою міцністю, малою вагою, термостійкістю. Ця частина може змінюватись по довжині, залежно від об'єкта.

3) противага – її наявність на приладі зменшує стомлюваність оператора, забезпечуючи легкість керування в будь-якому положенні.

4) пристрій блокування - надійно закріплює "руку", коли вона не використовується. Дозволяє фіксувати прилад у будь-якому заданому положенні.

5) ручка для перенесення - безпечна точка підйому для зручності перенесення апарату.

6) універсальна система кріплення (магнітна, вакуумна, стенд чи штатив).

7) рукоятка, що обертається; має низький коефіцієнт тертя для покращення ергономічності, зниження навантаження та втоми оператора.

8) обертальна частина - дозволяє обертати на 360 градусів всі основні осі без обмежень [10].

Залежно від кількості ланок є машини з 6-ма або 7-ма ступенями свободи. Звичайно під час роботи цілком достатньо 6-ти ступенів свободи, але

для певних завдань (таких, як наприклад, сканування поверхонь) рекомендується застосовувати більш зручні КВМ з 7-ма ступенями. Робочою зоною КВМ є сфера з різними діаметрами (у КВМ Faro, наприклад, 1.2 м, 1.8 м, 2.4 м, 3.0 м, 3.7 м). Система має активну температурну компенсацію. На кожній ланці плеча розміщені два датчики температури з інформацією про те, що у виміряні координати вносяться поправки для врахування зміни довжини ланки в залежності від температури. Мобільні КВМ не мають приводу і є машинами типу маніпулятора, тому всі переміщення ланок і фіксація точки заміру проводяться оператором вручну. Вимірювання здійснюється в комплексі з персональним комп'ютером, а для підвищення мобільності краще використовувати ноутбук.

Процес вимірювання за допомогою таких вимірювальних машин виглядає наступним чином: Розмістіть прилад біля об'єкта вимірювання, підключіть комп'ютер і за допомогою програмного забезпечення відкалібруйте зонд, який використовується для вимірювання. Після цього пристрій готовий до роботи. Цей крок займає не більше 5-10 хвилин.

Контроль здійснюється контактним способом, тобто для зняття будь-якої точки необхідно зафіксувати щуп на виробі і натиснути кнопку на "руці" КВМ. У процесі роботи на екран монітора виводиться місце розташування щупа в реальний момент часу, розташування вимірюваних точок і величини їх відхилень.

Усі побудови робляться за правилами геометрії, тобто, для того щоб проконтролювати коло, потрібно заміряти мінімум 3 точки, лінію - 2 точки, площину - 3 і т.д. Вимірювання об'єкта дозволяє легко побачити всі дані про нього: відхилення від номіналу, координати відносно основи, положення виробу відносно інших об'єктів, відхилення від площинності, циліндричності, концентричності. Це означає, що всі розміри, які є на кресленні і, для контролю яких найчастіше використовуються різні вимірювальні прилади, можна легко перевіряти одним приладом і, що важливо, отримувати в результаті звіт у графічному вигляді.

Варто також відзначити можливість контролю складних поверхонь, наприклад, формують поверхонь штампа, правильність виготовлення яких практично неможливо перевірити жодним приладом, крім КВМ.

Щоб контролювати подібні вироби необхідно використовувати САД-модель, причому вона може бути трансльована з будь-якої САД системи. Дуже часто КВМ використовують також для сканування до- слідних зразків виробу. Дані про них можна отримати у вигляді точок, лінії, сплайнів, полілінії, кіл, площин і т.д., за якими в подальшому спеціальним програмним забезпеченням будується САД- модель.

Маніпулятор оснащений швидкозмінним щупом, тобто попередньо відкалібрований. Коли ви змінюєте щуп, система автоматично розпізнає його та внесе необхідну поправку. Єдиним винятком є пусковий датчик, який необхідно калібрувати щоразу після кожної заміни. Кріплення КВМ поблизу вимірюваного об'єкта можна робити під будь-яким кутом від 0 до 180 кількома способами:

- за допомогою струбцини, наприклад на столі,
- на магнітних і швидкознімних кріпленнях;
- на складних триногах; на стойках з коліщатами, які мають регулювання по висоті в залежності від моделі (див. рис.1.13).

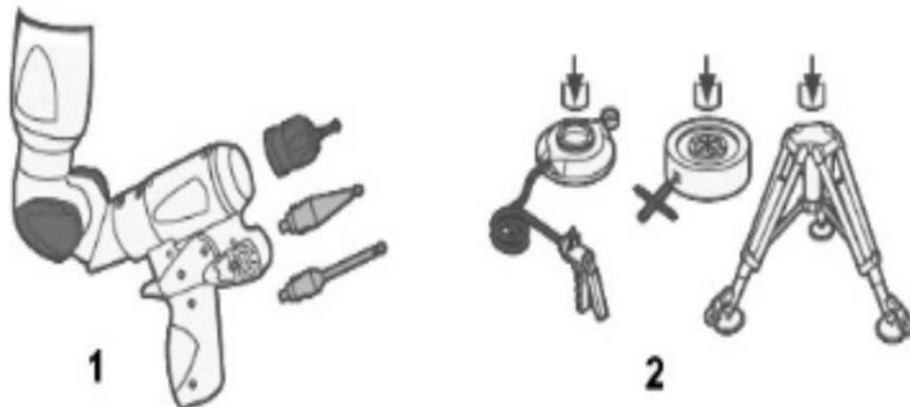


Рисунок 1.13 - Способи підвищення універсальності мобільних КВМ:

1 - набір швидкозмінних вимірювальних головок і щупів; 2 - набір змінних опор для мобільних КВМ;

Така конструкція та програмне забезпечення дозволяють використовувати КВМ одним оператором. Маса маніпуляторів, залежно від виконання, коливається від 5 до 10 кілограмів, упаковка - зручний для перевезення кейс, що дозволяє вручну транспортувати КВМ без необхідності використання будь-якого додаткового обладнання. Зручна конструкція, компенсація впливу перепадів температури на результати вимірювань, стійкість до вібрації, стійкість до ударів, наявність акумуляторного джерела безперебійного живлення сприяють успішному використанню таких КВМ в суворих виробничих цехах. умови.

«Рука» не має приводу, і оператор вручну переміщує вимірювальний щуп і фіксує точку вимірювання. Зазвичай на початку роботи з програмним забезпеченням і самим КВМ задається система координат шляхом вимірювання основних елементів виробу, потім сам вимірювання. Вимірюйте як лінійні, так і кутові розміри основних геометричних елементів і порівнюйте їх із 3D-моделями, створеними в будь-якій системі САПР. Відхилення фактичних розмірів вимірюваного об'єкта від номінальних значень відображаються не тільки в числовій формі, але і кольором поверхні моделі для наочності. КВМ типу «Ручний» може вирішувати наступні завдання: контроль штампів, прес-форм, великогабаритних виробів і формувальних поверхонь обладнання.

Переваги портативної КВМ типу «рука»:

- висока точність і швидкість збору даних економить час і гроші;
- оптимізовано для сканування складних поверхностей;
- розроблено для використання в цехових і польових умовах;
- підвищена температурна стабільність і нульовий час розігрівання;

- швидка та проста установка “plug-and-play”;
- короткий період навчання.

У багатьох випадках практично неможливо використовувати стаціонарні КВМ, наприклад, при вимірюванні великих деталей або важкодоступних порожнин, або коли вимірювання необхідно проводити безпосередньо на конвеєрі, ливарному цеху або ремонтній станції. У таких ситуаціях для вимірювання можна використовувати вимірювальну машину, виконану у вигляді маніпулятора – компактну, легку та встановлену безпосередньо біля об’єкта вимірювання. Принцип дії таких машин досить простий. Оператор, закріпивши маніпулятор в зручному для роботи місці, наприклад за допомогою магнітної підставки, до будь-якої металевій поверхні, торкається щупом вимірюваної точки. За допомогою давачів, розташованих в шарнірах маніпулятора, на комп’ютерну систему надходить інформація про просторові координати кінчика щупа (при використанні точкового) або центру сфери (при використанні сферичного наконечника). Таким чином, знімаючи координати точок з вимірюваної деталі, комп’ютерна система може або розраховувати за ними відхилення в порівнянні з комп’ютерною моделлю, або обчислювати геометричні параметри елементів виробу.

Іншим компонентом КВМ, який безпосередньо впливає на точність і ефективність останнього, є аеростатичний підшипник, різновид гідростатичного підшипника. [8].

Гідростатичні підшипники – це підшипники, навантаження в яких повністю припадає на тонкий шар рідини або газу. Вони поділяються на гідродинамічні, гідростатичні та газогідростатичні. Гідростатичні підшипники часто використовуються при високих навантаженнях і високих швидкостях, а також у високоточному виробництві, де звичайні підшипники швидко зношуються або створюють підвищений шум і вібрацію.

1.8 Види сканування

Залежно від завдань, що виникають на виробництві, може знадобитися контактне або безконтактне сканування. Ці два типи скануючих вимірювальних датчиків відрізняються за принципом дії (електричні контактні, індуктивні, оптичні, ємнісні, п'єзOMETричні, тензодатчики), вихідним сигналом (аналогові, дискретні), способом вимірювання (контактні, безконтактні). Типи вимірювань (сканування, тригер) і багато іншого.

Датчики КВМ використовуються для збору первинних даних про вимірювану деталь. У їх конструкції використовуються механічні, а іноді оптико-електронні та програмні компоненти різної складності. Вибір датчика залежить від:

- тактильної чутливості об'єкта;
- розмірів вимірюваних елементів;
- вимог до плану вимірювань;
- числа вимірюваних точок [22].

Датчики положення класифікуються за такими ознаками:

а) за видом переміщення, що вимірюється:

- 1) для лінійних переміщень;
- 2) для кутових переміщень;

б) за конструкцією:

- 1) лінійні;
- 2) обертові (кругові);

в) за способом вимірювання:

- 1) абсолютні;
- 2) відносні (циклічні);
- 3) абсолютно-циклічні;

г) за характером відтворення параметру:

- 1) дискретні;
- 2) аналогові;

д) за принципом роботи:

- 1) оптичні;
- 2) індуктивні;

ж) за схемою вимірювання:

- 1) прямої дії;
- 2) непрямої дії [22].

Сенсори для координатно-вимірювальних машин, згруповані за принципами дії. Їх класифікація наведена на рисунку 1.14.

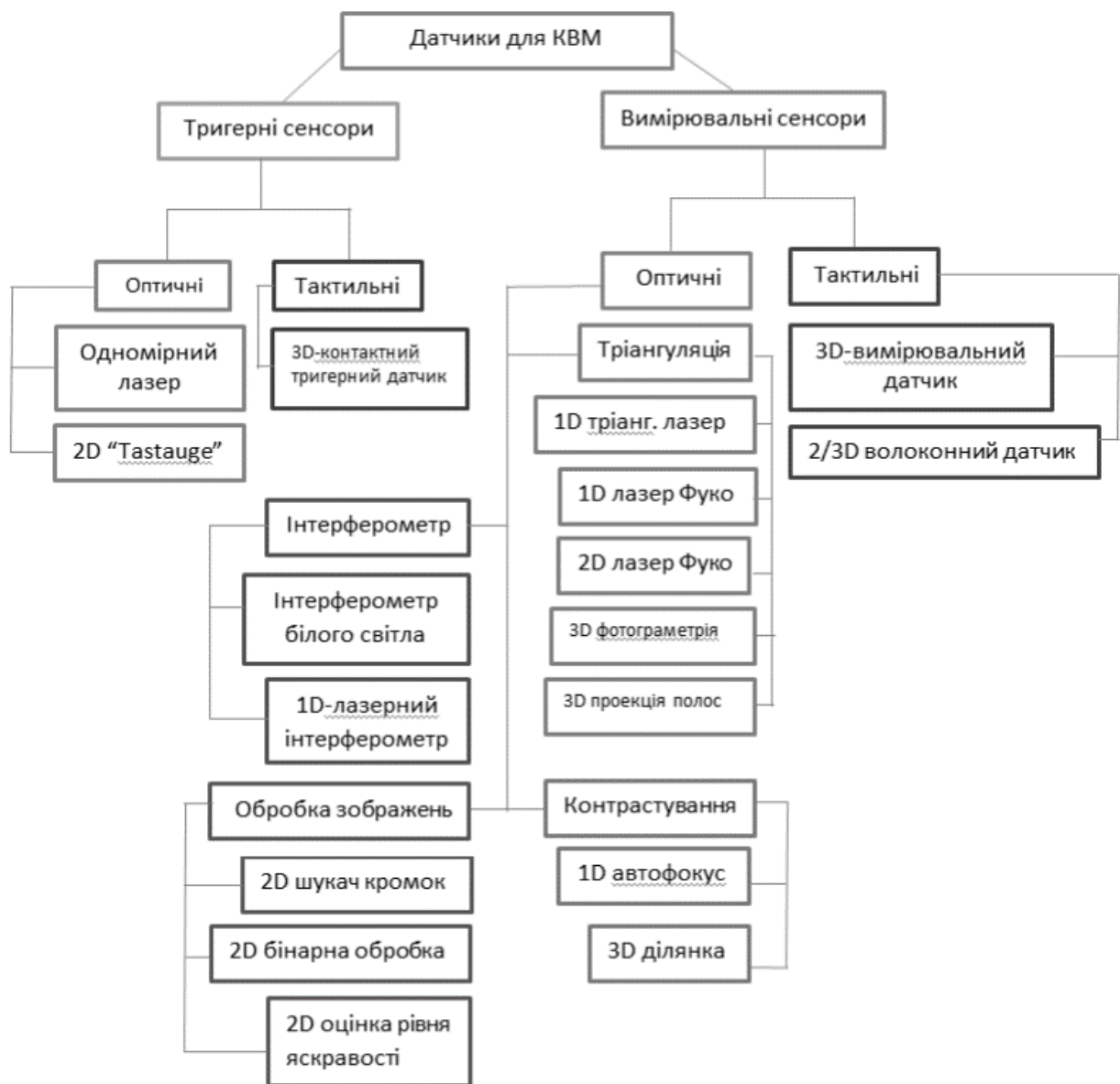


Рисунок 1.14 - Класифікація сенсорів для КВМ за принципом дії

Координатно-вимірвальні машини можуть бути оснащені контактними або оптичними тригерними і вимірвальними датчиками (динамічними або скануючими). Важливим критерієм класифікації датчиків є фізичний принцип передачі первинного сигналу. У зв'язку з цим датчики можна розділити на дві групи: - тактильні (датчик дотику) та -оптичні.

Контактні датчики вимірювання дозволяють виконувати вимірювання в окремих точках, що робить їх ідеальним засобом для вимірювань на 3-мірних деталях відомої геометрії. Датчики, що сканують, здатні зчитувати кожен секунду координати декількох сотень точок, що дає можливість вимірювати параметри форми елемента, а також розмір і положення

Координати точки можна зчитувати безпосередньо як під час руху вузла КВМ, так і в нерухомому стані. Тактильна вимірвальна головка або скануюча головка знімає показання під час руху. При використанні тангенціальної вимірвальної головки відбувається дискретна зміна сигналу АС в момент торкання вимірвального наконечника до поверхні деталі, перетворюється в сигнал для зчитування координат за допомогою нормалізуючого перетворювача і припиняється. Для електроприводу і заднього ходу.

Скануюча головка надає інформацію про відхилення вимірвального кінчика від початкового положення $U = k(q)$. При цьому координати підраховуються при досягненні розмірів, заданих командою з комп'ютера. При вимірюванні вузла КВМ в тихих умовах координати розраховуються шляхом складання показань вимірвальних перетворювачів у головці та базі КВМ. Результати вимірювань після програмної обробки є деталями X_d , Y_d , Z_d , які відображаються в системі координат, а положення початку координат і орієнтація осей можуть не збігатися з системою координат КВМ.

Безконтактна, або як її ще називають, тактильна система сканування представлена лазерним сканером, що, отримуючи дані відбитого випромінювання, формує скани. Даний вид сканування досить поширеним, адже є економічно вигіднішим. Безконтактна система сканування розширює

можливості традиційного контролю, а отже підвищує продуктивність виробництва [11].

В оптичному датчику інформація про положення точки вимірювання передається світлом на оптичний датчик, щоб її можна було використовувати для визначення координат цієї точки. Тактильний датчик отримує цю інформацію, торкаючись до вимірювальної деталі вимірюючим елементом, яким найчастіше є кінчик щупа.

Особливості безконтактного лазерного сканування:

- Безконтактне лазерне сканування дозволяє оцифровувати об'єкти з практично будь-яким типом поверхні в довільній формі.
- Може сканувати об'єкти великих розмірів.
- Можливість застосування на різноманітних матеріалах.
- Сканування деталей з різкими переходами кольорів.

1.9 Принцип роботи індуктосинів

Лінійні котушки індуктивності належать до сімейства трансформаторних датчиків. Це спеціальні датчики для вимірювання великих рухів (до 10 метрів) з високою точністю. Обмотки лінійного індуктосину плоскі, виготовлені з плоских провідників, накладених на дві паралельні плоских поверхні, взаємне переміщення яких L вимірюється [9]. Ці площини знаходяться на відстані 0,1-0,5 мм одна від одної, і ця відстань не змінюється при їх переміщенні. На малюнку 1.15 показано конфігурацію обмоток і їх взаємне розташування.

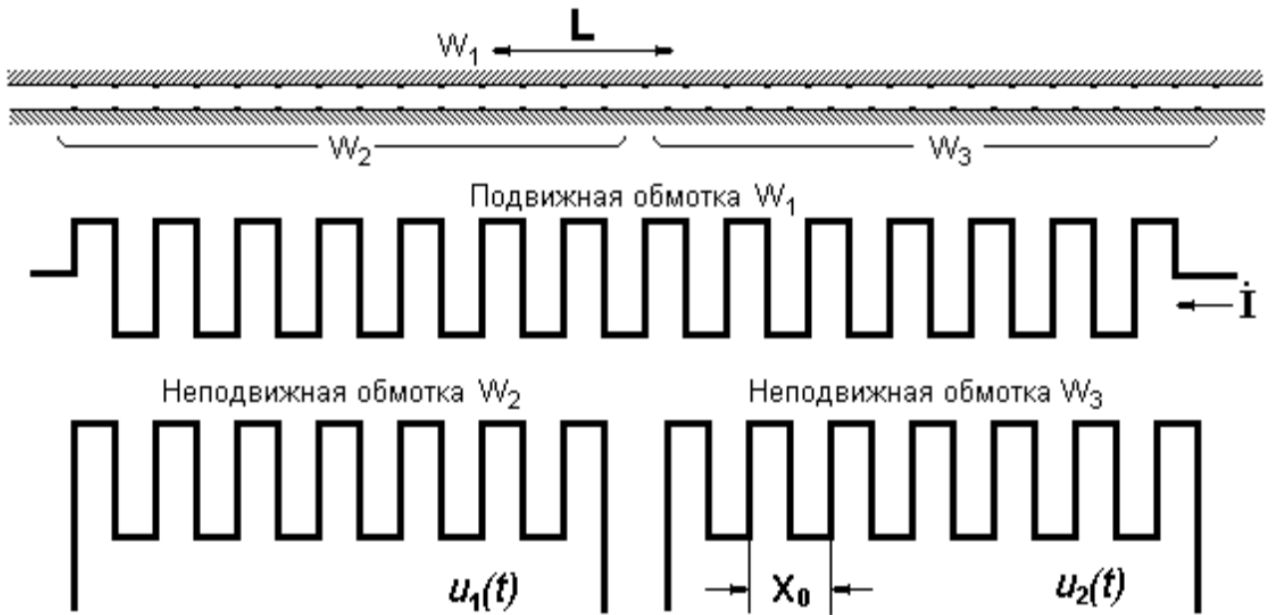


Рисунок 1.15 – Обмотки лінійного індуктосина

Обмотки періодичні, при цьому період у всіх обмоток однаковий. Його значення залежить від максимального переміщення і необхідної точності вимірювання. Зазвичай його вибирають в діапазоні від 1 мм до 10 мм. Опір обмотки становить від 0,5 Ом до 10 Ом. По обмотках протікає змінний струм силою (0,1 - 0,5) А і частотою (10 - 20) кГц. ЕРС, що індукується у вторинній обмотці, дорівнює (5 - 20) мВ. З малюнка видно, що обмотка W_3 зміщена відносно обмотки W_2 на відстань, що відповідає куту $\pi/2$. Сигнал ЕРС, який формується у вторинній обмотці, надходить на вхід електронної схеми, зображеної на рис. позиції і є:

$$M_{12} = M_0 \cos 2\pi \frac{X}{X_0}$$



Рисунок 1.16 – Структурна схема лінійного індуктосина

Коефіцієнт взаємної індуктивності між обмотками W1 і W2:

$$M_{13} = M_0 \cos\left(2\pi \frac{X}{X_0} + \frac{\pi}{2}\right)$$

Маємо такий струм в первинній обмотці:

$$i(t) = I_m \sin \omega t$$

При цьому струмі у вторинних обмотках індуктується така напруга:

$$u_1(t) = M_{12} \frac{d i(t)}{dt} = M_0 \cos 2\pi \frac{X}{X_0} \cdot I_m \omega \cos \omega t$$

$$u_2(t) = M_{13} \frac{d i(t)}{dt} = M_0 \cos\left(2\pi \frac{X}{X_0} + \frac{\pi}{2}\right) \cdot I_m \omega \cos \omega t$$

Фазообертач зсуває напругу $u_2(t)$ на $\pi/2$, а суматор додає її до напруги $u_1(t)$. Якщо підсилювачі 1 і 2 налаштовані на однакову зміну вихідної напруги, підсумовування їх до постійного коефіцієнта дає:

$$u_{\text{вих}}(t) = M_0 I_m \omega \cdot \cos\left(2\pi \frac{X}{X_0}\right) \cdot \cos\omega t - M_0 I_m \omega \sin\left(2\pi \frac{X}{X_0}\right) \cdot \sin\omega t$$

Скориставшись формулою для косинуса суми двох кутів, згорнемо праву частину:

$$u_{\text{вих}}(t) = M_0 I_m \omega \cdot \cos\left(\omega t + 2\pi \frac{X}{X_0}\right)$$

В результаті в залежності від зміщення X ми отримали змінну напругу з частотою ω і зсувом фази відносно первинного струму. Тобто просторовий зсув перетворився на електричний зсув фази. Залежність фазового зсуву від зміщення є періодичною, а її періоди – рівні. Це означає, що вимірювання великих переміщень за допомогою лінійного індуктосину зводиться до підрахунку періоду, протягом якого рухома обмотка переміщується відносно нерухомої. Опісля усередині періоду обмоток проводиться уточнення щодо додаткових зрушень. Дана процедура еквівалентна вимірюванню довжини таким засобом виміру як ноніус. Але у цьому випадку в якості ноніуса функціонує значення фазового зрушення [17].

Під час швидких рухів це може призвести до катастрофічних помилок. Щоб запобігти цьому, використовується фазочутливий випрямляч для аналогового перетворення фазового переміщення в постійну напругу. Щоб він працював, потрібно подати опорну напругу на другий вхід. Найкраще це досягається з ланцюга первинної обмотки в результаті падіння напруги на резисторі R .

В наслідок даного процесу отримуємо пульсуючу напругу, чия постійна складова залежить від фазового зрушення між двома вхідними напругами.

Іншими словами від переміщення рухливої обмотки відносно нерухомої усередині періоду обмоток.

Звичайно, якщо цикли підраховані правильно, то відносна точність таких вимірювань дуже висока. Наприклад, якщо період обмотки дорівнює 10 мм, будь-яка похибка вимірювання переміщення в обмотці з точністю не менше 10% призведе до абсолютної похибки вимірювання переміщення лічильника. Еквівалент 1 мм, або 0,1%. Вимірювання фаз зазвичай набагато точніше, а значення періоду обмотки можна зменшити. Таким чином, такі датчики можуть досягати відносної похибки 0,01% або краще [21]. Різниця в амплітуді напруги та різниця у фазовому зсуві, внесена всіма трьома підсилювачами, значно впливає на лінійну помилку індуктосину.

1.10 Абсолютний енкодер

Енкодер або датчик положення обертового об'єкта постає у вигляді електромеханічного пристрою, що використовується для визначення положення обертання осі або вала.

У цьому пристрої механічний рух перетворюється в електричні сигнали для визначення положення об'єкта та надання інформації про кут повороту вала, його положення та напрямку обертання. Енкодери також можна використовувати для вимірювання довжин і відстаней і налаштування рухів інструменту.

Енкодери широко використовуються у друкованій промисловості, металообробці, автоматах для фасування, пакування і розливу, ліфтовій техніці, а також в роботах та інших машинах, що потребують точної реєстрації показників руху частин. Вони практично повністю витіснили широко популярні раніше сельсини.

За принципом формування сигналу виокремлюють такі типи енкодерів:

- інкрементальні або інкрементні;
- абсолютні.

За принципом дії розрізняють енкодери:

- оптичні;
- магнітні;
- магніторезисторні .

Енкодер складається з наступних основних вузлів (для ілюстрації використано зображення на основі оптичного абсолютного енкодера рис. 1.17):

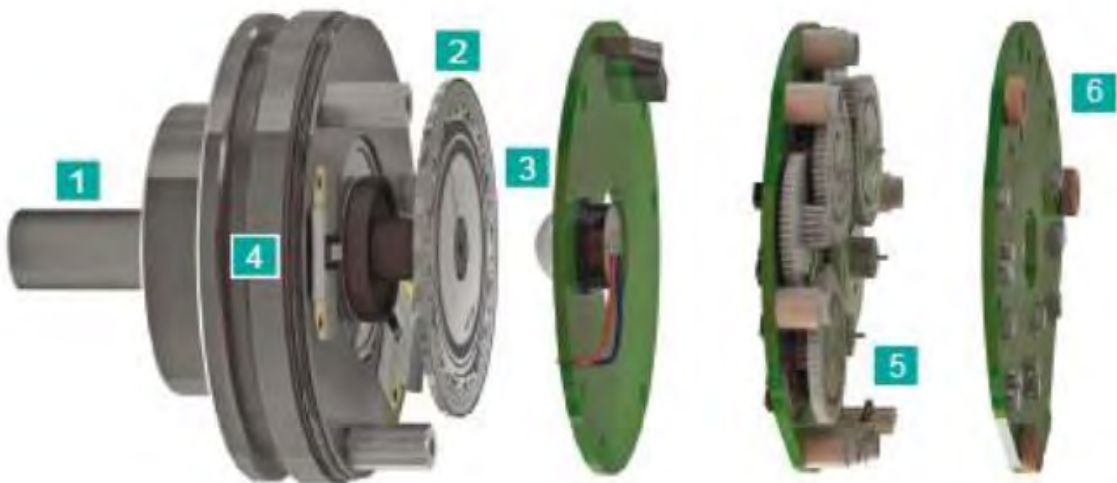


Рисунок 1.17 – Конструкція енкодера

На рисунку цифрами позначені такі складові частини енкодера:

- 1 - вал енкодера;
- 2 - повноповоротний диск (кодовий диск) з мітками;
- 3 джерело світла з електронною платою;
- 4 - приймальний інфрачервоний фотодатчик;
- 5 - оптико-механічний блок з шестернями;

б - електронна плата з процесорами обробки сигналів і перетворювачами цифрового інтерфейсу.

Особливість роботи абсолютного енкодера полягає в тому, що вся поверхня його диска розділена на певну кількість секторів. Кожному сектору на дисках абсолютного енкодера присвоєний свій цифровий код.

Коли вал обертається, абсолютний енкодер зчитує дані сектора, формуючи так званий «абсолютний код». Таким чином, абсолютні енкодери не втрачають положення при знятті напруги. Цей код формується серією окремих позначок або ліній, намальованих на дискі енкодера. Сигнал зчитується за допомогою фотоелемента або приймальної матриці з багатьма фотодатчиками.

Ці функції дозволяють абсолютному енкодеру виводити окремі значення номера сектора під час обертання диска, так що кут, на який повертається диск енкодера відносно нульового сектора, завжди можна визначити у будь-який момент. Досягнувши максимального значення, абсолютний енкодер переходить знову в нуль і процес розрахунку кутового положення повторюється знову [22].

Абсолютний енкодер належить до такого типу енкодерів, що можуть виконувати унікальний код для кожної позиції валу. Їх перевага перед інкрементними енкодерами полягає в тому, що цей тип не вимагає лічильника імпульсів, оскільки кут повороту завжди відомий. Абсолютні енкодери можуть генерувати сигнали як під час обертання, так і в стані спокою. На відміну від дисків покрокового енкодера, абсолютні мають кілька концентричних доріжок. Кожна доріжка утворює унікальний спеціальний двійковий код до точної позиції валу (приклад кодового диску наведено на рис.1.18).

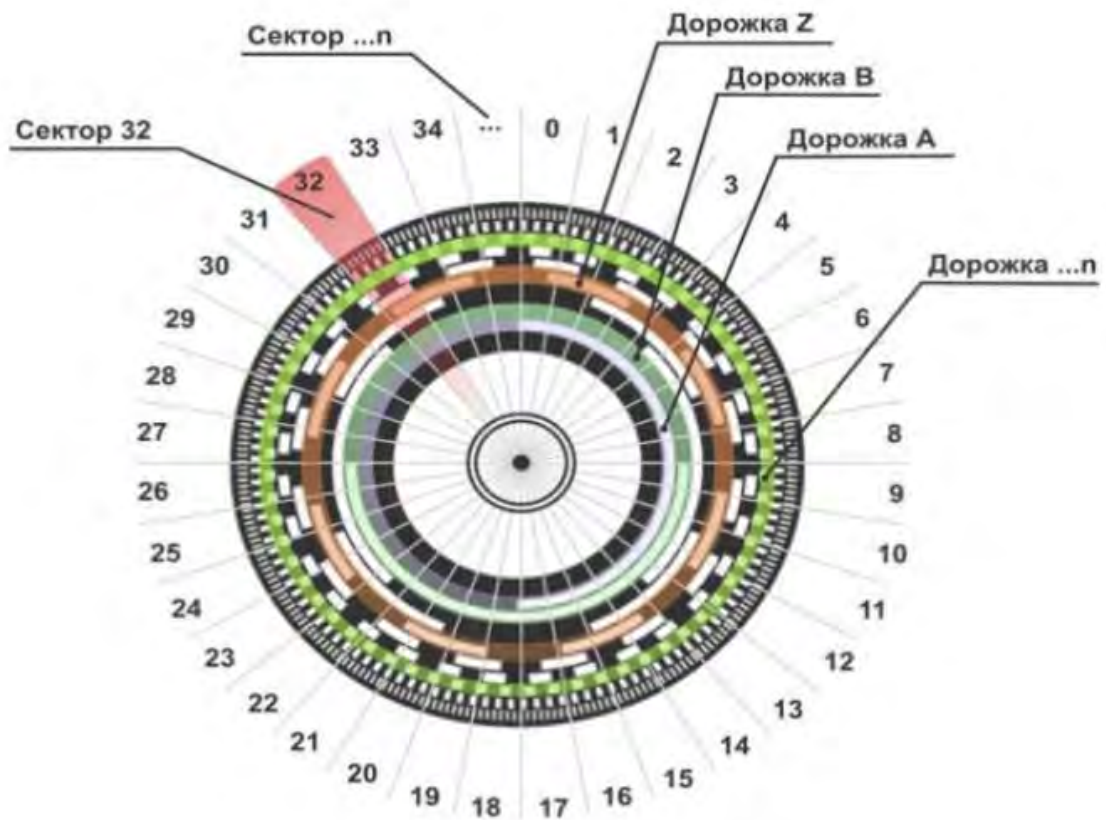


Рисунок 1.18 – Кодовий диск абсолютного енкодера

Абсолютні енкодери не припиняють працювати навіть при відключенні живлення, і їх не потрібно повертати у вихідні положення. Сигнали абсолютного енкодера менш сприйнятливі до перешкод і не вимагають точного кріплення на валу. Крім того, навіть якщо енкодер не може прочитати закодований сигнал (наприклад, якщо вал обертається занадто швидко), він зареєструє правильний кут обертання лише тоді, коли швидкість обертання сповільниться. До того ж, варто зазначити, що абсолютний енкодер є досить стійким до будь-яких вібрацій [18].

Використовуючи звичайний вал або порожнистий вал, датчик можна приєднати до тіла, що обертається, навіть якщо порожниста є наскрізною або глухою (не наскрізною). Вал ротора і вал датчика можуть бути з'єднані гнучкою або жорсткою муфтою. У деяких випадках альтернативним варіантом є підключення датчика орієнтації до валу об'єкта, але це можливо, лише якщо датчик містить порожнистий вал. У першому випадку можуть виникнути такі

проблеми, як розбіжність осей. Якщо вони все ж таки не збігаються, це можна компенсувати деформацією гнучкої втулки. Другий варіант підключення дозволяє закріпити енкодер за допомогою штифтів.

Однооборотними енкодерами (від англ. Single - Turn), приклад яких показано на рис.1.19, називаються такі датчики, що видають абсолютне значення в межах одного обороту, тобто в радіусі 360° . Адже код вже після одного оберту можна вважати прийнятним. Потім він відновлюється від початкового значення. Такі датчики в основному використовуються для вимірювання кутів повороту і використовуються, наприклад, в антенних системах, кривошипних пресах і подібних конструкціях.

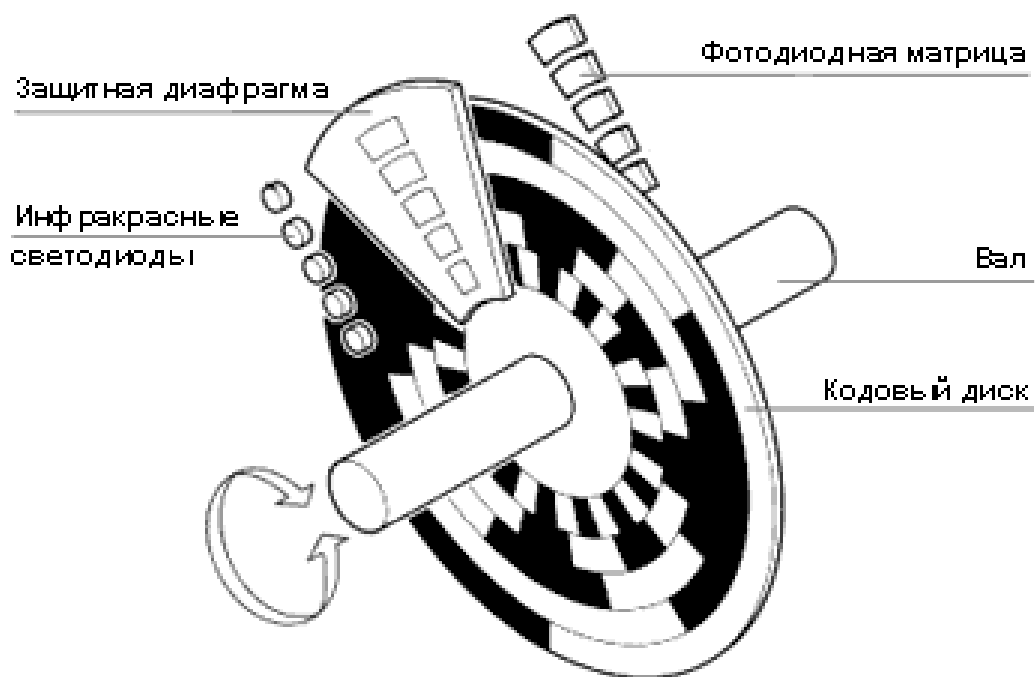


Рисунок 1.19 – Пристрій однооборотного енкодера

Багатооборотний енкодер є датчиком кутового положення, в якому використовується спеціальний механічний вузол і додатковий фотодетектор

для підрахунку кількості унікальних цифрових кодів за один або кілька обертів диска (див. рис.1.20). Для здійснення лінійних переміщень необхідно застосовувати вимірювальні системи з n -кількістю обертів. Наприклад, для певних вимірювальних завдань із лінійними приводами або зубчастими вимірювальними стрижнями зазвичай не використовуються однооборотні датчики. У таких випадках хорошою альтернативою є датчик, який поряд з вимірюванням кута повороту в межах одного обороту також фіксує кількість обертів за допомогою додаткової передачі. Це своєрідний редуктор, що складається з декількох кодових оптичних дисків, утворюючи, таким чином, багатооборотний енкодер (від англ. Multi - Turn).



Рисунок 1.20 – Пристрій багатооборотного енкодера

2 ДОСЛІДНИЦЬКИЙ РОЗДІЛ

2.1 Опис установки маніпулятора вимірювальної системи

Портативна КВМ відрізняється від інших своєю унікальною конструкцією у формі «руки». КВМ портативного типу являє собою багатоосьовий вимірник, який має три рухомі зчеплення (в «плечі», «лікть» і «зап'ясті») зі сферичним робочим простором [22]. Кожне таке зчленування забезпечується датчиком поворотів по осях.

Портативні КВМ зазвичай мають форму маніпуляторів. Він надзвичайно компактний і легкий і може бути встановлений навіть поряд з об'єктом, що вимірюється. Традиційні конструкції портативних КВМ забезпечують осьове переміщення вимірювальної головки із сенсорним керуванням, що працює за оптичним або тактильним принципом [19].

Вимірювальні головки портативних КВМ дозволяють визначати координати точок дотику щодо центру кулі щупа в площині, перпендикулярній до його. На практиці для підвищення продуктивності та вимірювання важкодоступних поверхонь та тонкостінних елементів застосовують вимірювальні головки різних розмірів та призначення. Головка оснащена щупом.

Існують вимірювальні руки з діапазоном виміру від 1.2 м до 4.5 м – і доступні у конфігурації з 6 або 7 осями. Відмінність полягає у виконанні зап'ястя руки: 6 осей, як правило, достатньо більшості режимів тільки контактних вимірювань і вимірювань труб, а використання 7 осей оптимально як для контактних вимірювань так і для сканування.

Конструкція вимірювальної руки копіює частини людської руки (плечо, лікоть та зап'ястя) та повторює її рухи та маніпуляції. Кожен елемент (вісь)

вимірювальної руки має кілька ступенів свободи (2 в плечовому шарнірі, 2 в ліктьовому шарнірі, 2 або 3 в зап'ястному шарнірі).

Дані осі умовно позначені A/B/C/D/E/F та G. Осі A та B відносяться до плеча руки, осі C та D – до ліктя, а E, F та G – до зап'ястя. Розміщені на кожній осі кодові датчики положення (кутові енкодери) зчитують кути повороту осей, на основі цих даних і довжин сегментів руки обчислюється положення центру щупа. Осі A, C, E і G мають необмежене обертання, забезпечуючи ергономічну зручність використання.



Рисунок 2.1 – Осі КВМ типу «рука»

Отже, принцип виміру машини типу «рука»: маніпулятор підключений до комп'ютера, на якому встановлено метрологічне програмне забезпечення для збирання та аналізу даних. Програма визначає положення центру щупа у маніпуляторі чи іншій системі координат. Точки вибираються на виробі за

допомогою контактних вимірів щупами руки. Потім програма будує геометричні елементи, що представляють деталь, що вимірюється, такі як циліндри (отвори), площини (грані, фланці), конуси і т. д. Після цього, елементи оцінюються у програмі щодо розмірів, допусків тощо. (габаритний розмір виробу між площинами, міжосьова відстань, сооність, паралельність тощо). Якщо використовується сканер, то програма формує хмару точок, і всі інші маніпуляції проходять із нею. За наявності 3D-моделі (CAD) програма дозволяє поєднати дані вимірювань з цією моделлю і тоді номінальні розміри виробу беруться з цієї моделі автоматично.

На кінці вимірювальної руки (тобто осі F або G) можна закріпити щуп або сканер, який автоматично визначається в програмному забезпеченні.

У даній дисертації роботі ми розглядали універсальну шарнірну вимірювальну головку зі сферичним щупом на кінці. Його можна повертати вручну на необмежену кількість кутових положень.

Вихідна траєкторія руху щупу на голівці розраховується автоматично і відразу зображаєця на екрані комп'ютерної системи оператора. При подальшому переміщені чи редагуванні визначається траєкторія перетину з поверхнею деталі. Дотримуєця контроль якості окремих перерізів і параметризація розмірів для вимірювання усіх сімейств деталей.

Портативні КВМ призначені для вимірювання тривимірних значень точок і поверхонь у робочому просторі. За допомогою сенсорних зондів або лазерних сканерів можливі контактні або безконтактні методи вимірювання. Пристрій виготовлено з алюмінію та використовує точні оптичні перетворювачі для з'єднання між компонентами.

В якості прототипу нашого обе'кта проектування було обрано координатно вимірювальну машину Vases 3D.

Конструкція нашої координатно-вимірювальної машини має вигляд маніпулятора або ж руки(див. рис.2.2), що складається з наступних деталей:

- В якості опори використовується спеціальна магнітна основа або штатив;

- Внутрішня система балансу з різьбленням, яка регулює навантаження для дуже легкого та зручного керування «рукою»;
- Шарнір з титановим з'єднанням;
- Дві руки (суглоби рук) у 6-осьовій версії. Гнучкість забезпечується, і точки можна збирати навколо вимірюваної деталі;
- Вимірювальна головка зі стандартними рубіновими наконечниками і лазерним сканером;



Рисунок 2.2 – Загальний вигляд КВМ Baces 3D

Загальний вид розроблювальної машини зображено на кресленнях.

Координатно вимірювальна машина складається з основи 3, до якої приєднано два однакових плеча 2 на кінці яких встановлено вимірювальну головку 1. Кут повороту шарнірів визначається за допомогою перетворювача (енкодера) 4, рухомі елементи конструкції кріпляться за допомогою осі 9 та гвинта 8.

Принцип дії: оператор переміщує головку в просторі до дотику з вимірювальною поверхнею. Коли вимірювальна головка дотикається до поверхні, вона забезпечує передачу інформації про відхилення вимірювального наконечника від початкового положення.

2.2 Кінематичне рівняння маніпулятора

Система координат першорядних рухів та кінематична схема ПР вибирається шляхом мінімізації числа ступенів рухливості. Вибір визначається розмірами і формою робочої зони, і числом роботизованих позицій.

Кінематичні ланцюги ПМ повинні:

1. забезпечувати технологічно необхідну можливість підходу кінцевої ланки до заданої точки робочого простору і виконання орієнтовних переміщень.
2. задовольняти взаємне переміщення кінематичних кіл.
3. забезпечувати рухи під дією діючих навантажень.
4. проводити врівноваження ланок зниження для двигуна.

Для постановки та обчислення завдань складається кінематична схема маніпулятора, основою схеми є геометричні розміри всіх ланок, а також типи, кількість і розподіл кінематичних пар.

Промисловий маніпулятор являє собою відкритий кінематичний ланцюг, ланки якого приєднуються один до одного за допомогою кінематичних пар. Як правило, це однорухливі кінематичні пари п'ятого класу - обертальні або поступальні

Розташування кінематичного ланцюга у просторі визначається з допомогою узагальнених координат g ($i=1,2,3\dots n$) характеризуючих відносні переміщення в кінематичних парах.

Рішення визначення відносних положень здійснюється за допомогою прямої задачі про положення маніпуляторів. При вирішенні розраховують положення робочого органу та ланок маніпулятора по заданим відносним переміщенням g_i ($i=1,2,\dots n$) в кінематичних парах, де геометричні

характеристики робочого простору та робочої зони маніпулятора, точнісні характеристики похибки зі, координати схвату z_j .

Робота відносних переміщень в кінеметичних парах, сервісні характеристики. На малюнку 6 представлена кінематична схема створюваного промислового маніпулятора.

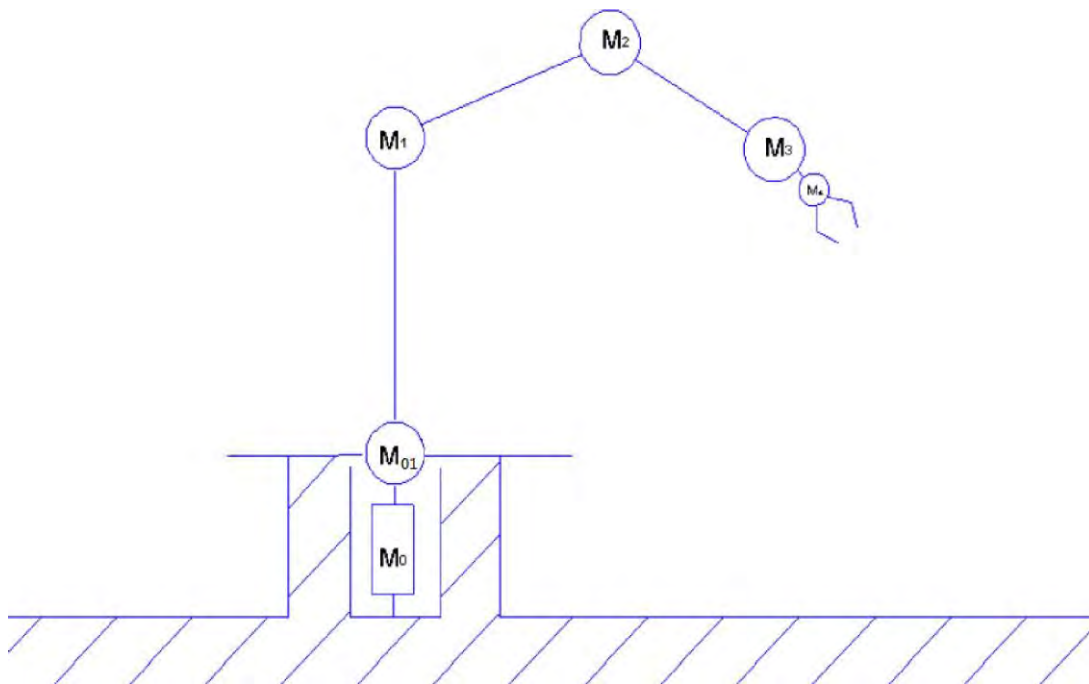


Рисунок 2.20 – Кінематична схема маніпулятора

Вирішуючи обернену задачу про положення маніпулятора визначають узагальнені координати (g_i) маніпулятора. За допомогою вирішення зворотного та прямого завдання вирішуються й інші кінематичні характеристики.

Усунення взаємного впливу кінематичних ланцюгів ПР, двигуни якого розташовані в загальному моторному блоці, полягає у забезпеченні взаємної відповідності між поворотом i -го ланки в n -му ланці на кут i і поворотом валу відповідного двигуна на кут i .

Створюваний маніпулятор працює у сферичній системі координат. Сферична система координат дає можливість переміщення ПР в зоні, що є порожнистою сферою (або частиною її). Роботи, що працюють в даній системі координат, мають найбільшу як універсальність, так і технологічні можливості, в порівнянні з вище описаними. Однак вони конструктивно складніші, ніж розглянуті, при цьому виникають.

ють труднощі при їх програмуванні та перепрограмуванні. Роботи, що працюють у сферичній системі координат, більш компактні, мають значну робочу зону і більшу гнучкість. Крім того, можуть переміщати предмети виробництва по більш складним траєкторіям і використовуються як технологічні роботи для нанесення покриттів, герметизації, складання і т.п.

Узагальнені координати розрахункової кінематичної схеми.

ПЗК - пряме завдання кінематики. ПЗК полягає у відшуванні вектора положення розрахункової точки інструменту та його орієнтації в деякій технологічній системі координат за відомою кінематичною схемою механізму і вектору узагальнених координат.

ОЗК – обернена задача кінематики. ОЗК полягає у відшуванні вектора узагальнених координат механізму за його заданою кінематичною схемою та вектором положення та орієнтації інструменту в заданій технологічній системі координат.

Вектор положення та орієнтації шестимірний:

$$x = [T \ o \ r] T,$$

а вектор узагальнених координат q :

$$q = [q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4 \ q_5 \ q_6] T,$$

де вектором узагальнених координат називають вектор із n змінних, де n – число ступенів свободи.

Слід виконати лінійне перетворення узагальнених координат:

$$q_i = k_i q_i' + a_i, \text{ де } i = (1, 2, 3, 4, 5, 6),$$

де k_i - масштабний коефіцієнт, що визначає зв'язок двигуна та ІМ, a_i - зміщення початку відліку щодо початку відліку існуючої узагальненої координати кінематичної схеми ІМ.

Розв'язання прямого завдання кінематики. Побудуємо таблицю узагальнених параметрів:

Параметри систем координат ланок манипулятора				
Зчленування i	a_i	d_i	α_i	b_i
1	0	0	90	0_1
2	0	0	90	0_1
3	0	0	90	0_2
4	0	0	90	0_3
5	0	0	90	0_3

Таблиця 2.5 – Узагальнені параметри

Для вирішення прямої кінематичної задачі, використовуючи узагальнені перетворення Денавіта – Хартенберга, отримаємо матриці A_i для i -го зчленування за умови.

$$A_i = \begin{bmatrix} Cq_i & -Sq_i C\alpha_i & Sq_i S\alpha_i & a_i Cq_i \\ Sq_i & Cq_i C\alpha_i & -Cq_i S\alpha_i & a_i Sq_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix},$$

$Cq_i = \cos(q_i)$; $Sq_i = \sin(q_i)$, $i = 1, 2, \dots, 6$, $A_i \in (A_1, A_2, A_3, A_4, A_5, A_6)$

$$A_1 = \begin{bmatrix} Cq_1 & 0 & -Sq_1 & 0 \\ Sq_1 & 0 & Cq_1 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Поворот навколо осі Z_0

$$A_2 = \begin{bmatrix} Cq_2 & 0 & -Sq_2 & 0 \\ Sq_2 & 0 & Cq_2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Поворот навколо осі Z_1

$$A_3 = \begin{bmatrix} Cq_2 & 0 & -Sq_2 & 0 \\ Sq_2 & 0 & Cq_2 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Поворот навколо осі Z_2

$$A_4 = \begin{bmatrix} Cq_4 & 0 & -Sq_4 & 0 \\ Sq_4 & 0 & Cq_4 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Поворот навколо осі Z_3

$$A_5 = \begin{bmatrix} Cq_5 & 0 & -Sq_5 & 0 \\ Sq_5 & 0 & Cq_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Поворот навколо осі Z_4

$$A_6 = \begin{bmatrix} Cq_6 & -Sq_6 & 0 & 0 \\ Sq_6 & Cq_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Отримаємо матрицю положення розрахункової точки маніпулятора,
використовую такий вираз

$$T = A_1 \cdot A_2 \cdot A_3 \cdot A_4 \cdot A_5 \cdot A_6.$$

Матриця T має вигляд:

$$T = \begin{bmatrix} \mathbf{n}_x & \mathbf{o}_x & \mathbf{a}_x & \mathbf{p}_x \\ \mathbf{n}_y & \mathbf{o}_y & \mathbf{a}_y & \mathbf{p}_y \\ \mathbf{n}_z & \mathbf{o}_z & \mathbf{a}_z & \mathbf{p}_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Отримали в результаті перемноження:

$$n_x = Cq_6(Cq_5(Cq_4Cq_1Cq_2 + Sq_1Sq_4) + Cq_1Sq_2Sq_5) - Cq_6(Cq_4Sq_1 - Sq_4Cq_1Cq_2);$$

$$n_y = Cq_6(Cq_4Cq_1 - Sq_4Sq_1Cq_2 - Cq_5(Cq_4Cq_2Sq_1 + Sq_4Cq_1) - Sq_1Sq_2Sq_5);$$

$$n_z = -Cq_6(Sq_2Sq_4 - Cq_5Cq_4Sq_2 + Cq_2Sq_5);$$

$$o_x = -Sq_6(Cq_5(Cq_4Cq_1Cq_2 + Sq_4Sq_1) + Cq_1Sq_2Sq_5) - Cq_6(Cq_4Sq_1 - Sq_4Cq_1Cq_2);$$

$$o_y = Sq_6(Cq_5(Cq_4Cq_2Sq_1 + Sq_4Cq_1) - Sq_1Sq_2Sq_5) + Cq_6(Cq_4Cq_1 - Sq_4Cq_2Sq_1);$$

$$o_z = Sq_6(Cq_5Cq_3Cq_4 - Cq_2Sq_5) - Cq_6Sq_2Sq_4;$$

$$a_x = -Sq_5(Cq_4Cq_1Cq_2 + Sq_4Sq_1) + Cq_1Cq_5Sq_2;$$

$$a_y = Sq_1Sq_2Cq_5 + Sq_5(Cq_4Sq_1Cq_2 + Sq_4Cq_1);$$

$$a_z = Sq_5Cq_4Sq_2 + Cq_2Cq_5;$$

$$p_x = -Cq_1Sq_2d_3;$$

$$p_y = -Sq_1Sq_2d_2;$$

$$p_z = -d_1 - Cq_2d_3;$$

В результаті перемноження $A_1 * A_2 * A_3 * A_4 * A_5 * A_6 = T$

$$T = \begin{bmatrix} S\alpha C\gamma - C\alpha S\beta S\gamma & S\alpha S\gamma + C\alpha S\beta S\gamma & C\alpha C\beta & P_x \\ -C\alpha C\gamma - S\alpha S\beta S\gamma & -C\alpha C\gamma + S\alpha S\beta S\gamma & -S\alpha C\beta & P_y \\ -C\beta C\gamma & C\beta C\gamma & S\beta & P_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix};$$

Для вичислення кутів за Ейлером:

$$R_x(\alpha) = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha) & -\sin(\alpha) \\ 0 & \sin(\alpha) & \cos(\alpha) \end{vmatrix},$$

$$R_z(\gamma) = \begin{vmatrix} \cos(\gamma) & -\sin(\gamma) & 0 \\ \sin(\gamma) & \cos(\gamma) & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}.$$

$$R_y(\beta) = \begin{vmatrix} \cos(\beta) & 0 & \sin(\beta) \\ 0 & 1 & 0 \\ \sin(\beta) & 0 & -\cos(\beta) \end{vmatrix}$$

$$R_x(\alpha)R_y(\beta)R_z(\gamma) = \begin{vmatrix} \cos(\beta)\cos(\gamma) & -\sin(\gamma)\cos(\beta) & \sin(\beta) \\ \sin(\gamma)\cos(\alpha) - \cos(\gamma)\sin(\beta)\sin(\alpha) & \cos(\gamma)\cos(\alpha) + \sin(\gamma)\sin(\beta)\sin(\alpha) & \cos(\beta)\sin(\alpha) \\ \sin(\gamma)\sin(\alpha) + \cos(\gamma)\cos(\alpha)\sin(\beta) & \cos(\gamma)\sin(\alpha) - \sin(\gamma)\cos(\alpha)\sin(\beta) & -\cos(\beta)\cos(\alpha) \end{vmatrix}$$

При порівнянні матриці T_6 та отриманої нами матриці отримуємо:

$$\beta = \arcsin(a_x);$$

$$\alpha = \arccos\left(\frac{a_z}{-\cos(\beta)}\right);$$

$$\gamma = \arccos\left(\frac{n_x}{\cos(\beta)}\right).$$

Також частина матриці T:

$$p_x = a_2 C_1 - d_2 S_1 + d_4 C_1 S_3;$$

$$p_y = a_2 S_1 + d_2 C_1 + d_4 S_1 S_3;$$

$$p_z = d_4 C_3.$$

2.3 Визначення оптимальних розмірів плечей

Перед початком проектування, нам необхідно визначити навантаження, що діють на голівки і плечі. Нашу установку можна привести до розрахункової схеми у вигляді рами (див. табл. 2.1). Визначимо силу, що діє на плече, з добутку маси вимірювальної головки на прискорення вільного падіння та коефіцієнт перевантаження за лінійним і кутовим зміщенням, що дорівнює 1,5.

$$P = m \cdot g \cdot n_e$$

Таблиця 2.1 Розрахункова схема для визначення навантаження на плечі:

$m=$	5	кг
$g=$	9,8	м/с ²
$n_e=$	1,5	

Підставляємо розрахункові значення у формулу:

$$P = 5 \cdot 9,8 \cdot 1,5 = 73,5(\text{Н})$$

Отже, значення сили, що приходить на плечі $P = 73,5$ (Н).

Наступним кроком є побудова епюр внутрішніх зусиль, які допоможуть нам визначити напруження що діють в елементах конструкції. Приводимо розрахункової схеми рами із жорстким защемленням (див. рис. 2.3).

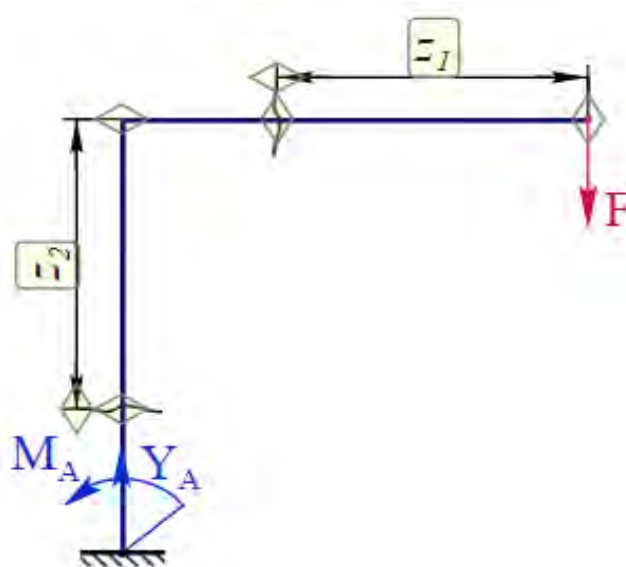


Рисунок 2.3 – Визначення напруження за допомогою епюри внутрішніх зусиль

Розбиваємо раму на частини та вказуємо напрямок їх обходу. Також визначаємо ВСФ у довільних поперечних перерізах ділянки:

$$N^I(x) = 0$$

$$Q_z^I(x) = 0$$

$$M_y^I(x) = -Px|_{x=0} = 0$$

$$M_y^I(x) = -Px|_{x=a} = -Pa$$

$$N^{II}(x) = -P$$

$$Q_z^II(x) = 0$$
$$M_y^II(x) = -Pa$$

Будуємо епюри:

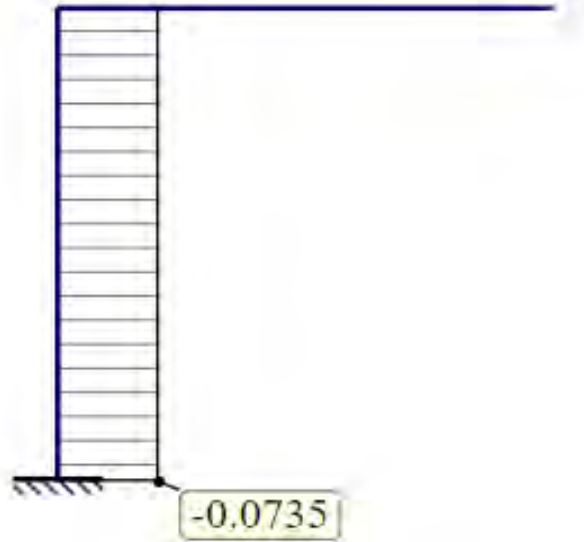


Рисунок 2.4 – Епюра осьових зусиль N, кН

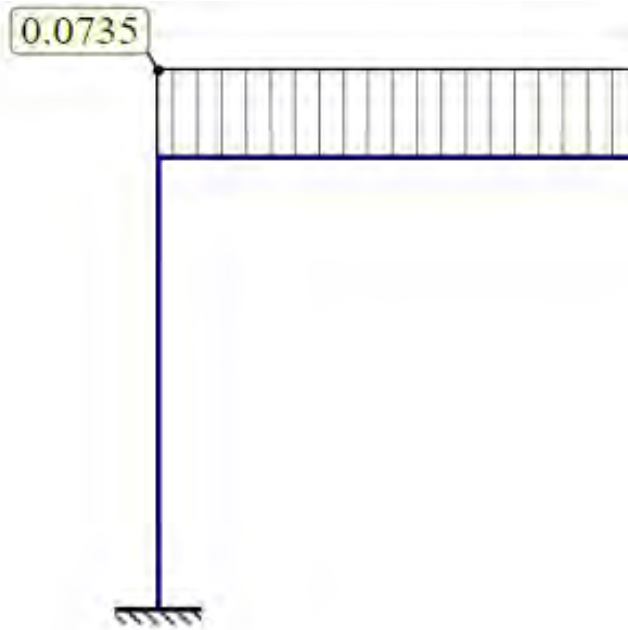


Рисунок 2.5 – Епюра поперечних зусиль Q, кН

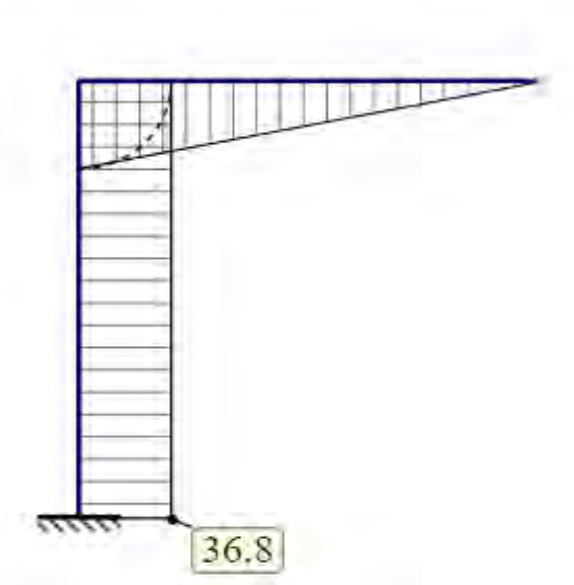


Рисунок 2.6 – Епюра згинального моменту М, кН*м

Отже, можна побачити, що основним силовим фактором, який впливає на розміри поперечного перерізу, є згинальний момент. Тому використовуємо його як основу для розрахунку розмірів перетину.

Таблиця 2.2 Допустимі значення епюр внутрішніх зусиль:

N=Q=	73,5	N
M=	36800	N*mm

На наступному кроці, необхідно визначити матеріал, що буде використовуватися при виготовленні плечей. Для прикладу, оберемо алюміній марки 7075-T6. Цей матеріал володіє низькою густиною, високою границею текучості, корозійно стійкий, добре піддається гнотковці [16]. Розрахуємо допустимі напруження за формулою:

$$\sigma = \frac{\sigma_0}{n},$$

де σ – допустимі напруження, σ_0 – небезпечні напруження, n – коефіцієнт запасу міцності. При чому, умова міцності визначається за наступною формулою:

$$\sigma \leq \sigma_{max}$$

Ккоефіцієнт дотичного напруження розраховується за формулою

$$\tau = 0,6 \cdot \sigma = 2,25E + 08$$

Таблиця 2.3 Допустимі напруження для алюмінію марки 7075-T6:

$E=$	7,40E+10	Па
$\sigma_T=$	3,75E+08	Па

Так як для нас важливий вигин, краще вибрати ділянку у вигляді кільця, тому матеріал, який знаходиться далі від нейтральної лінії, сприймає весь вигин, таким чином матеріал використовується більш ефективно. З

фактичних умов є зовнішній діаметр плеча.

$$D = 25 \text{ мм}$$

Знайти внутрішній діаметр поперечного перерізу за формулою Нав'є. Ця формула стосується нижнього плеча, але цей варіант навантаження важливіший, тому визначаємо товщину за ним.

$$\sigma = \frac{N}{A} \mp \frac{M \cdot r}{I_x}$$

Момент інерції розраховуємо за наступною формулою і він дорівнює:

$$I_x = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{64}$$

$$I_x = \frac{3,14 \cdot (25^4 - 23^4)}{64} = 5435,3$$

$$A = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$$

$$A = \frac{3,14 \cdot (25^2 - 23^2)}{4} = 75,36$$

де $d = 23,0$ мм.

Отже, тепер з розрахунків можна побачити, що нам достатньо товщини всього лише в 1 мм. Тепер ми визначимо міцність нашої конструкції:

Таблиця 2.4 Значення для визначення міцності конструкції:

$A =$	75,36	мм ²
$I_x =$	5435,3	мм ⁴
$\sigma_H =$	85,6	МПа

Визначимо запас міцності n використовуючи наступну формулу:

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_H}$$

$$n = \frac{375000000}{85600000} = 4,38$$

де $n = 4,38$.

Запас міцності становить більше 1,5, тому робимо висновок про те, що всі необхідні дані визначені достовірно. Тепер ми маємо перевірити отримані розрахункові дані за допомогою скінченно елементного розрахунку. Для цього ми скористаємося середовищем Femap (див. рис.2.7), в якому спочатку побудуємо СЕ модель за отриманими даними.

V: 1
C: 1

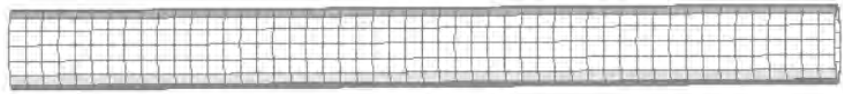


Рисунок 2.7 – Отримана СЕ модель

На наступному кроці, використовуючи знову ж таки середовище Femap, перевіримо як розподіляється згинальний момент у верхньому плечі для визначення моменту, що діє в защемленні.

V: 1
L: 1
C: 1

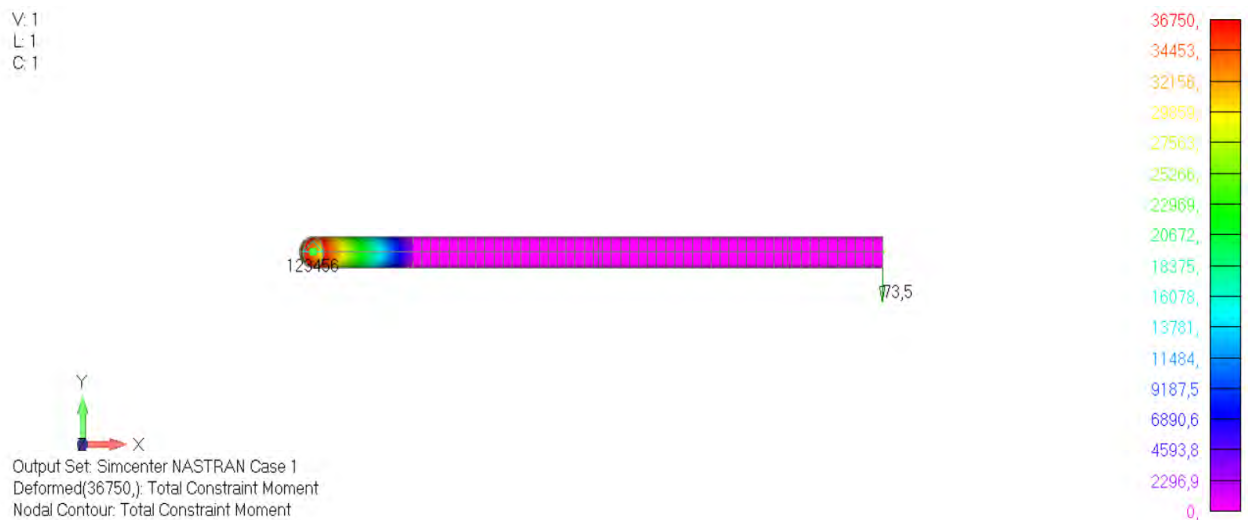


Рисунок 2.8 – Розподіл згинального моменту у верхньому плечі для визначення моменту, що діє в защемленні

Як можна побачити на рисунку 2.8, напруження отримані із скінченно-елементної моделі для верхнього плеча виявились навіть меншими, в порівнянні з попереднім розрахунком. Тому для полегшення технологічності можна зробити однакову товщину верхнього (див. рис.2.9) нижнього (див. рис.2.10) плечей.

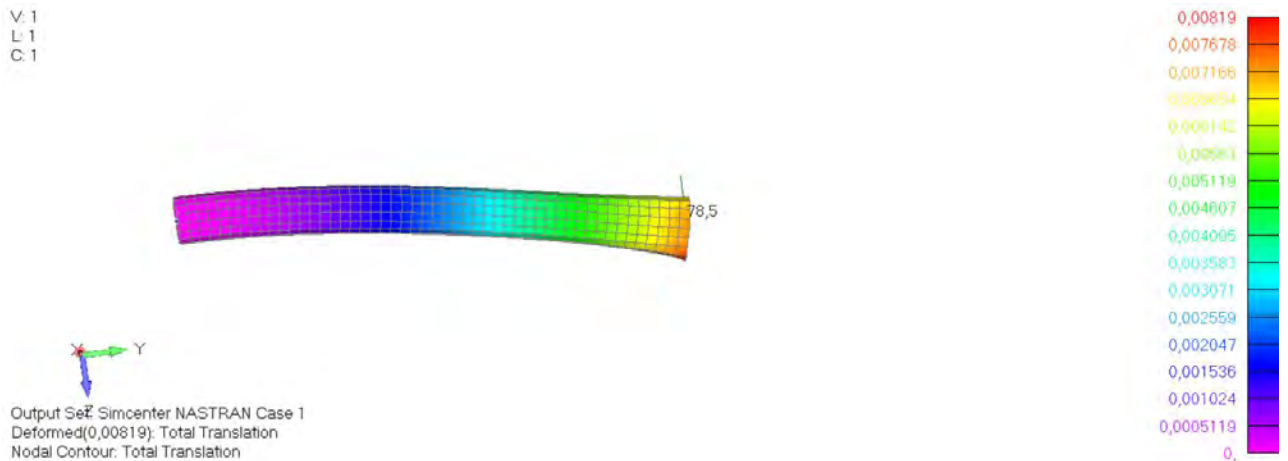


Рисунок 2.9 – Деформації верхнього плеча

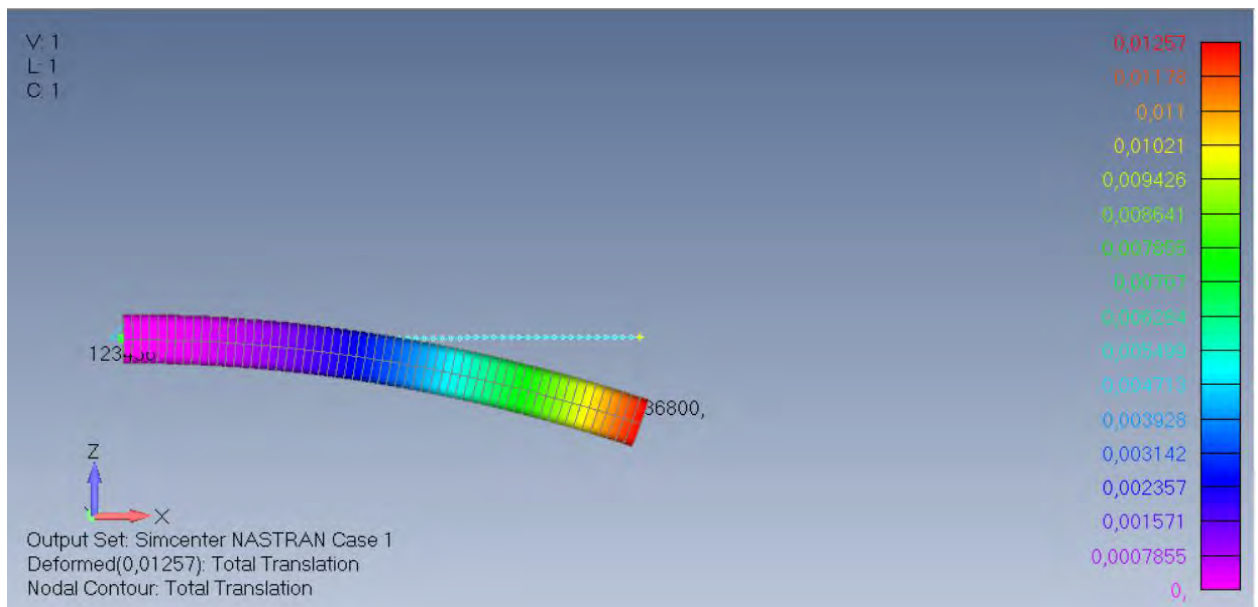


Рисунок 2.10 – Деформації нижнього плеча

Крім вищезазначеного на етапі проєктування плечей необхідно дослідити напруження за Мізесом у верхньому та нижньому плечах. Результати дослідження щодо напруження за Мізесом показано на рис.2.11 та рис.2.12 відповідно:

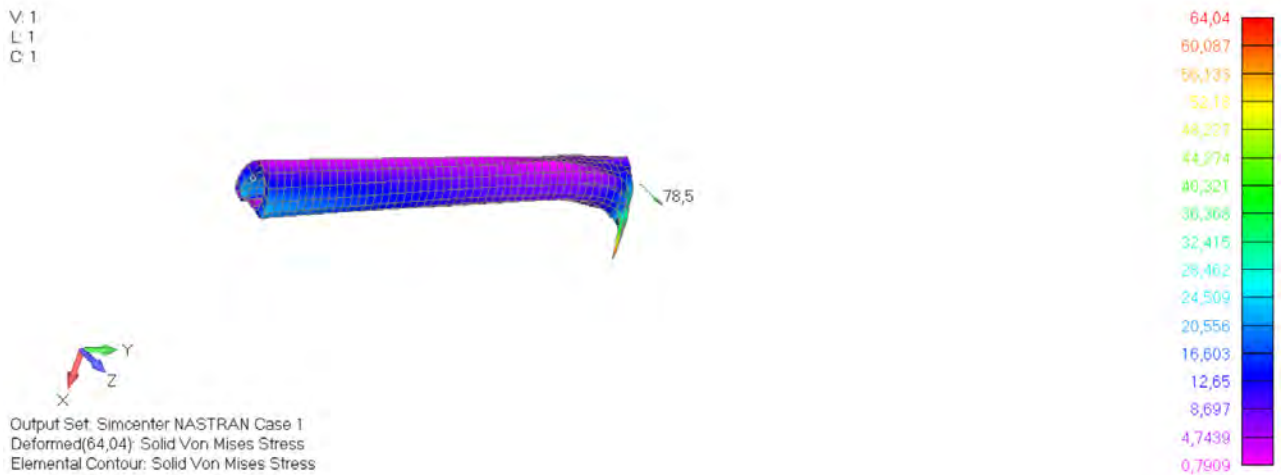


Рисунок 2.11 – Напруження за Мізесом у верхньому плечі

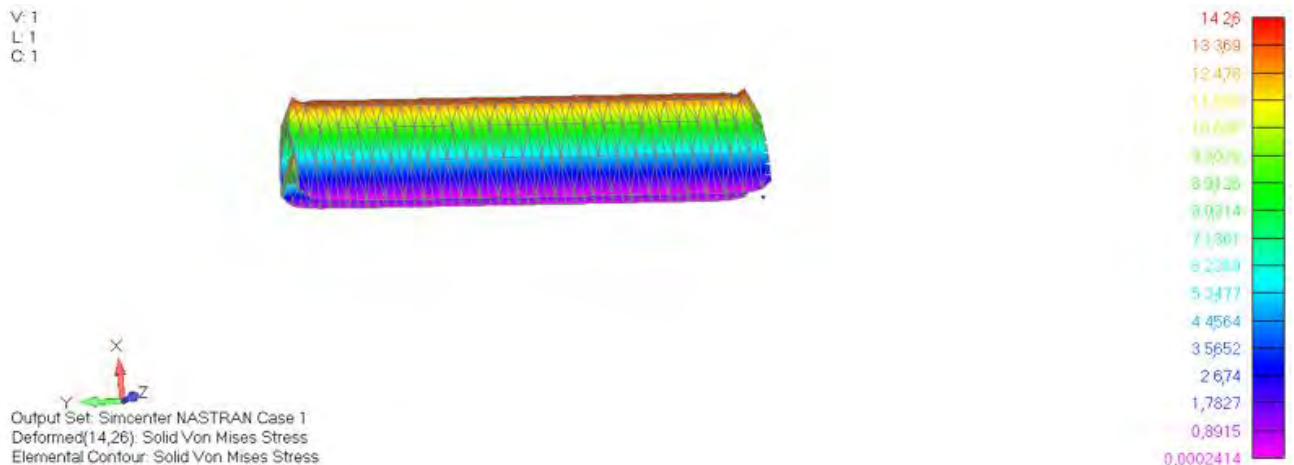


Рисунок 2.12 – Визначення максимальних напружень за Мізесом у нижньому плечі

Оскільки нижнє плече постійно перебуває під стиском та згином, обов'язково необхідно перевірити його на втратостійкість. Для цього використовуємо формулу для визначення напруження втрати стійкості за Ейлеромі:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$\lambda = \frac{\mu l}{\sqrt{\frac{I_x}{A}}}$$

де: $\mu = 2$

$\lambda = 117,7$

$\sigma_{кр} = 5,26E+07$

Для детальнішого обстеження розглянемо візуальну модель наведену на рис.2.13:

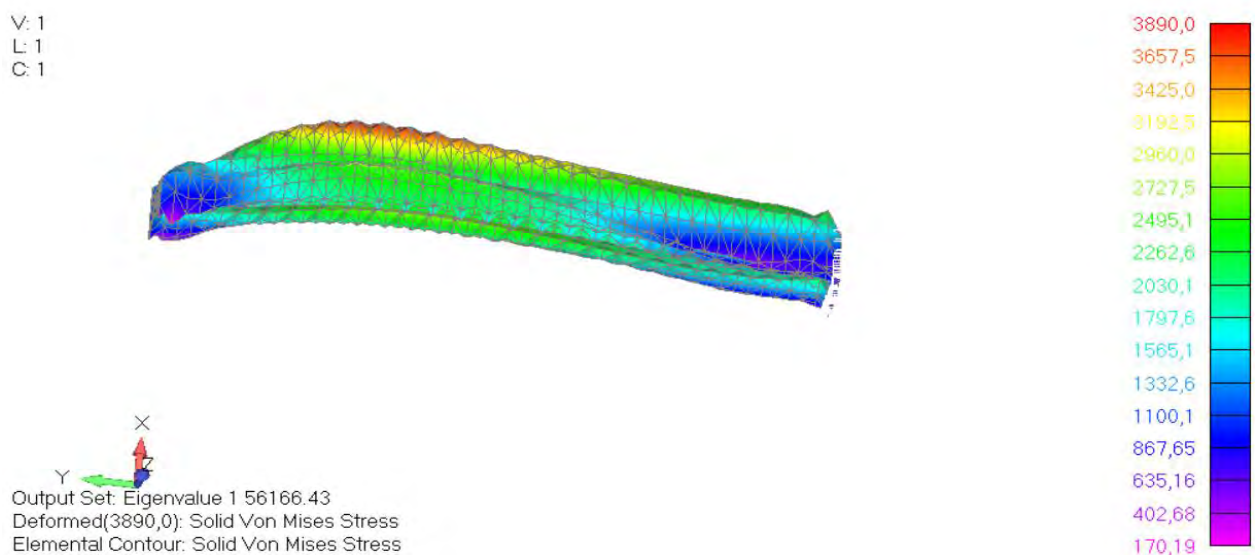


Рисунок 2.13 – Втрата стійкості нижнього плеча

Спираючись на рис. 2.13, можна побачити, що напруження, які діють на нижнє плече мають значення вище допустимих напружень втрати стійкості. Звідси слідує те, що існує потреба в зменшенні діючого напруження, що в свою чергу, призведе до підвищення допустимих напружень втрати стійкості. Для цього необхідно визначити внутрішній діаметр нашого плеча, виходячи з умови втрати стійкості:

$$d = 20 \text{ мм}$$

$$A = 176,625 \text{ мм}^2$$

$$I_x = 11315,04 \text{ мм}^4$$

$$\sigma_H = 41,06999 \text{ МПа}$$

$$\mu = 2$$

$$\lambda = 124,939$$

$$\sigma_{кр} = 4,67E+07 \text{ Па}$$

Тепер побудуємо нову візуальну модель. При цьому використовуючи розраховані вище показники (див. рис.2.14):

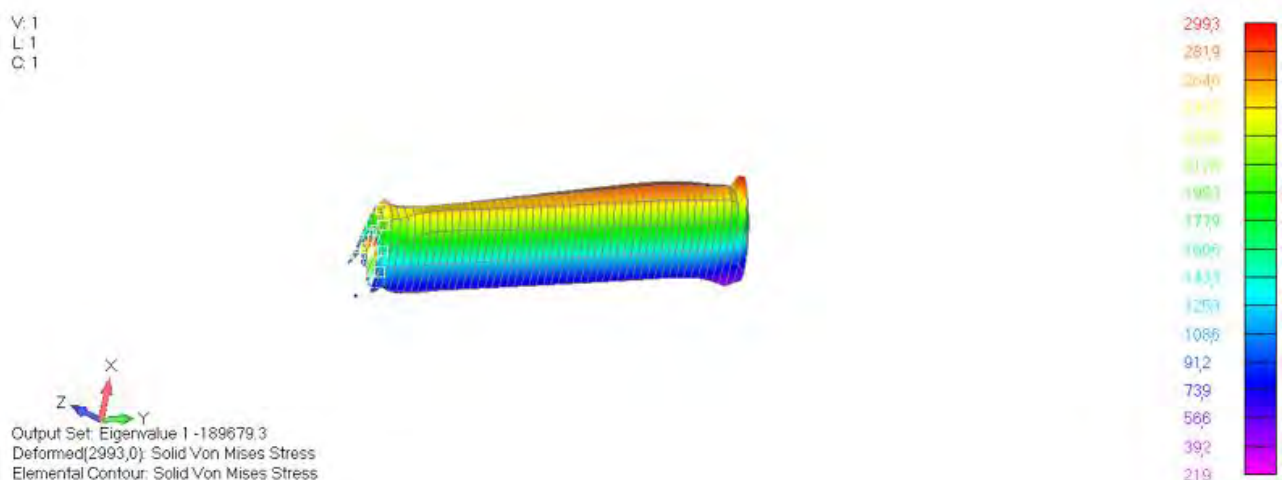


Рисунок 2.14 – Напруження втрати стійкості з новим внутрішнім діаметром

2.4 Дослідження корпусу на міцність

У цьому розділі проведемо дослідження для визначення міцності корпусу плеча. Рисунок 2.15 показує зовнішній вигляд корпусу, для якого виконується розрахунок:

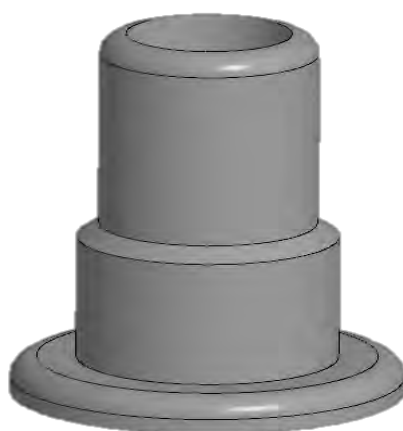


Рисунок 2.15 – Приклад корпусу

Перш за все на цьому етапі нам необхідно визначити вагу, що приходить на корпус від відкинутих елементів. Для цього розрахуємо масу плечей, використовуючи наступну формулу:

де

$$m = \rho \cdot V$$

$\rho=$	2,6	г/см ³	
$V_H=$	88,3125	0,883125	2,30
$V_B=$	46,60938	0,466094	1,21

Таким чином, нам вдалося з'ясувати те, що маса з головкою і шарнірами є рівною і становить $m = 12,51$ кг.

Відповідно тоді, сила, що діє на корпус має значення:

$$P = 183,9 \text{ Н.}$$

Якщо не враховувати той факт, що концентрація напруги відбувається при заокругленні на вершині корпусу, то основне навантаження буде припадати на ступицю в його верхній частині. На основі чого робимо висновок, що саме в цьому місці із консервативних умов нам потрібно визначити внутрішній даіметр корпусу.

Використаємо закон Гука і дослідимо напруження за наступною формулою:

$$\sigma = \frac{P}{F}$$
$$F = \frac{\pi \cdot (D^2 - d^2)}{4}$$

Показники наведеної вище формули відповідно дорівнюють:

$$D = 50 \text{ мм}$$

$$d = 46,000 \text{ мм}$$

$$A = 301,44000 \text{ мм}^2$$

$$I_x = 8,70\text{E}+04 \text{ мм}^4$$

$$\sigma_H = 1,06\text{E}+08 \text{ Па}$$

$$E = 7,40\text{E}+10 \text{ Па}$$

$$\sigma_T = 3,75\text{E}+08 \text{ Па}$$

Тепер ми розглянемо модель з визначеними напруженнями (рис.2.16):

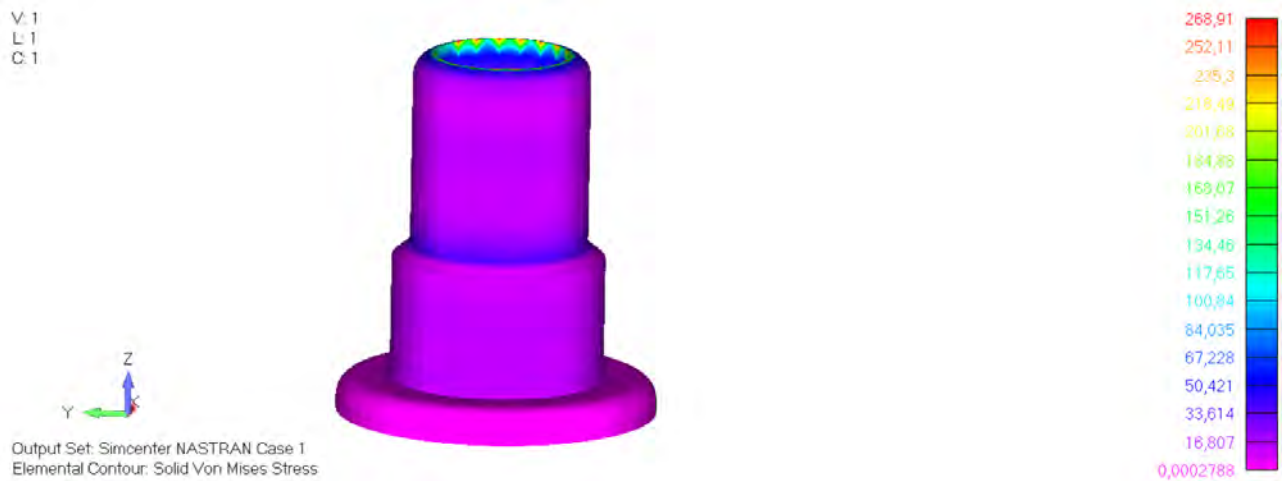


Рисунок 2.16 – Визначення максимальних напружень по Мізесу.

Наступним кроком буде визначення та розрахунок запасу міцності n , при $n = 3,52$:

$$n = \frac{\sigma_T}{\sigma_H}$$

Тепер визначаємо запас міцності n з наших розрахунків СЕ моделі (приклад СЕ моделі можна див. на рис.2.5 наведеному вище):

$n =$	1,39
-------	------

Напруження втрати головної стійкості за Ейлером рівні:

$$\sigma_{кр} = \frac{\pi^2 E}{\lambda^2}$$

$$\lambda = \frac{\mu l}{\sqrt{\frac{I_x}{A}}}$$

У формулі використовуємо наступні значення:

$\mu=$	2
$\lambda=$	15,3
$\sigma_{кр}=$	3,11E+09

Попередньо визначені та розраховані напруження втрати стійкості є нормальними. Тепер перевіримо модель за допомогою скінченно елементного аналізу:

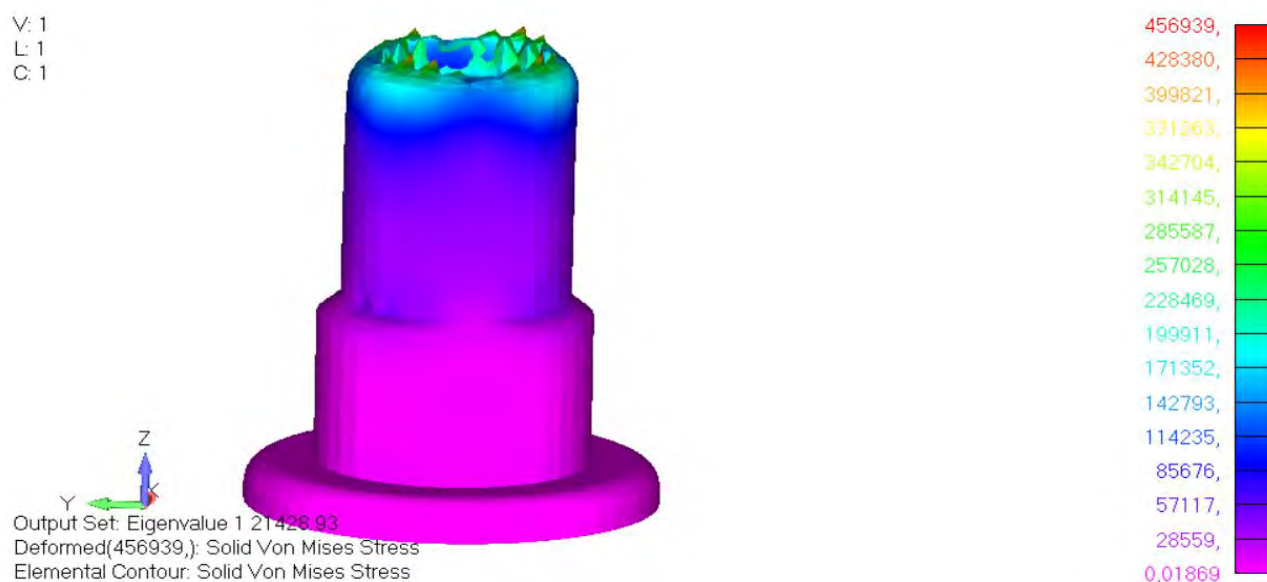


Рисунок 2.17 – Величина сили, при якій наші напруження втрати стійкості будуть максимально критичними

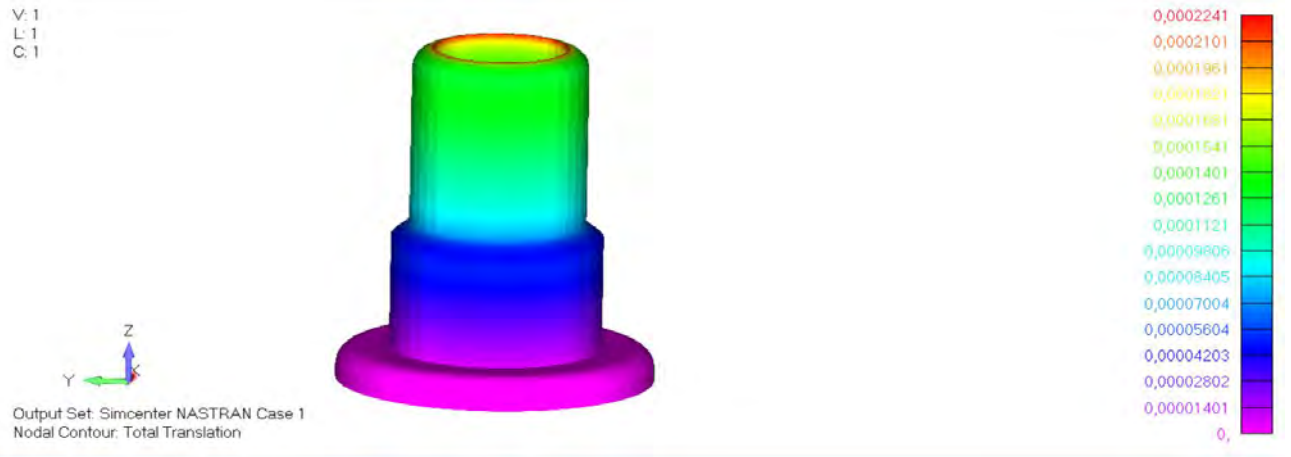


Рисунок 2.18 – Деформації корпусу при напруженні

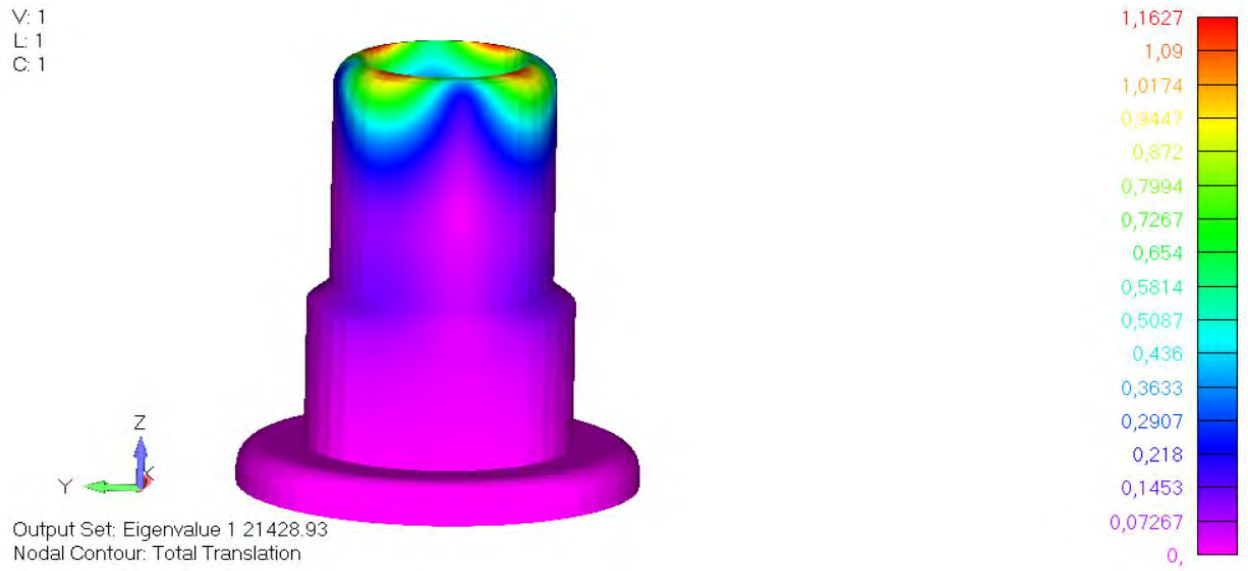


Рисунок 2.19 – Деформації корпусу при розрахунку втрати стійкості

3 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП – ПРОЄКТУ

«Маніпулятор вимірювальної системи»

3.1 Опис ідеї проєкту

В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проєкту який має на меті визначення змоги нашого продукту вийти на ринок і конкурувати з продуктами які вже зайняли на ньому своє місце. У таблиці 3.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1 - Опис ідеї стартап проєкту

<i>Зміст ідеї</i>	<i>Напрямки застосування</i>	<i>Вигоди для користувача</i>
Контроль точності виміру	Різні види промисловості зокрема електроенергетична та газова	1. Покращення якості продукту 2. Збільшення попиту на продукт 3. Прискорення виробництва

Тому пропонується система, яка дозволяє контролювати точності виміру кута при різних умовах експлуатації, який дозволить конкурувати з існуючим. Далі аналізуємо потенційні техніко-економічні переваги ідеї у порівнянні з пропозиціями конкурентів:

- визначасмо 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. 3.2).

Таблиця 3.2 - Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї

№ п/п	Техніко- економічні характерне тики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів				IV (слабка сторона)	N (нейтрал ьна сторона)	5 (сильн а сторо на)
		Мійпроект	Конкур ент Absolute Arm 7- Axis	Конкур ент	Конкур ент TRIMOS A4-1800			
1	Торгівель на марка	Немає	є	є	є	+		
2	Показники скорочення часу	Висока	Середня	Низька	Середня			+
3	Показники оптимізова ного використай ня робочих	Висока	Висока	Середня	Низька			+
4	Патенти на продукти	Немає	є	є	є		+	
5	Економіч ність	Середня ціна	Висока ціна	Середня ціна	Висока ціна		+	

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.

3.2 Технологічний аудит ідеї проекту.

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

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Ідея проекту</i>	<i>Технології її реалізації</i>	<i>Наявність технологій</i>	<i>Доступність технологій</i>
1	Оптимізація роботи робочих	Технологія планування виробництва	Наявні	не доступні
2	Швидка змінна пріоритетів	Технологія планування виробництва	Наявні	не доступні
3	Легка адаптивність до зміни виробів	Технологія планування виробництва	Наявні	не доступні

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок, що наш проект можна реалізувати тому що всі необхідні технології реалізації даних ідей наявні, але не має можливості їх реалізувати через те що необхідна велика сума коштів. Тому необхідно залучати інвесторів для реалізації даного проекту.

3.3 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 3.4).

Таблиця 3.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап проекту

<i>№ п/п</i>	<i>Показники етапу ринку (найменування)</i>	<i>Характеристика</i>
1	Кількість головних гравців, од	4
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	2 500 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Конкуренція як вітчизняних так і зарубіжних фірм
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Відсутні
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	30%

За попереднім оцінюванням ринок має зростаючу динаміку і хороший попит на запропонований нами продукт, тому робим висновок, що ринок є привабливим для входження, хоча на ньому вже існують і іноземні фірми, які працюють багато років і роблять продукцію хорошої

якості, але за рахунок нової технології і переваг, які вона надає продукт є конкурентоспроможними. Надалі визначаємо потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формуємо орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 3.5).

Таблиця 3.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап- проекту

<i>№ n/n</i>	<i>Потреба, що формує ринок</i>	<i>Цільова аудиторія</i>	<i>Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів</i>	<i>Вимоги споживачів до товару</i>
1	Гнучке виробництво товарів	Заводи, фірми з великою кількістю робочих центрів і з великою кількістю замовлень	Підприємства з великим асортиментом можливостей виготовлення будь-яких виробів	Скорочення часу задіяння всіх робочих центрів, швидкий перехід до виготовлення іншого виробу

Отже, потенційною групою клієнтів продукту мають стати заводи, фірми з великою кількістю робочих центрів і з великою кількістю замовлень, які побачать економічну вигоду у виготовленні виробів за новою методикою. При застосуванні даної технології існують певні загрози для попередження таких ситуацій необхідно якісне обладнання, а також працювати з такими програмами повинні висококваліфіковані фахівці.

Також, повинно своєчасне технічне обслуговування даного продукту (таблиця 3.6).

Таблиця 3.6. Фактори загроз

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст загрози</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Конкуренція	Широкий асортимент продукції конкурентів	Доведення на практиці, що буде економічно вигіднішою, аніж у конкурентів.
2	Старіння	Поява модернізованої продукції	Моніторинг трендів, постійна модернізація
3	Відсутність попиту на ринку	Не бажання споживачів переходити на нову продукцію	Реклама. Проведення аргументованих доказів, що зміна технології приведе до збільшення попиту
4	Обслуговування	Ймовірність збоїв при роботі програми	Своєчасна підтримка у мережі інтернет
5	Технічний	Мало спеціалістів в даній області	Впровадження постійної підтримки кваліфікованих техніків

У таблиці 3.6 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 3.7).

Таблиця 3.7. Фактори можливостей

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор</i>	<i>Зміст можливості</i>	<i>Можлива реакція компанії</i>
1	Науково-технічні	Зміниться технологія виготовлення товару	Впровадить технологію і змінить вартість товару
2	Можливість створення сайту з реалізації товару	Можливість придбати продукт на віддаленій відстані	Зробити акцент на якості продукції
3	Попит	Потреба вчасне вдосконалення продукту	Модернізація продукту, розробка нових ідей
4.	Політико правові	Може вплинути на купівлю/продаж товару.	Зміна напрямків імпорту
5	Економічні	Політика протекціонізму; підтримка інноваційного виробництва.	Підвищення/пониження ціни на продукт; зменшення податкового тиску

В таблиці 3.7 ми визначили фактори можливостей які сприяють ринковому впровадженню нашого продукту, а вигоди які компанія може отримати відповідно від реакції на той чи інший фактор.

Таблиця 3.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

<i>Особливості конкурентног осередовища</i>	<i>В чому проявляється дана характеристика</i>	<i>Вплив на діяльність підприємства(можливі дії компанії, щоб бути</i>
---	--	--

		конкурентоспроможною)
1. Монополія	В галузі домінує одна фірма	Виготовлення вдосконаленого товару
2. Національний	Конкуренція фірм на міжнародному рівні	Реклама продукції. Створення сайту на різних мовах
3. Міжгалузєва	Виробники виготовляють продукти, які задовольняють різні потреби	Виготовлення товару відмінної якості, ціні.
4. Товарно-видова	Різноманітні товари для задоволення конкретної потреби	Розробка нових технологій
5. Цінова	Використання ціни як засіб кращих умов збуту	Підвищення якості продукту, з такою ж ціною, що і у конкурентів
6. Марочна	Вказує, яке підприємство відповідальне за готовий продукт	Створення власної марки

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

Отже, відповідно до наведеного вище аналізу головними силами, які діють на конкуренцію в галузі є постачальники і споживачі. Також все більшого значення набуває інтенсивність конкуренції між існуючими конкурентами.

Таким чином в межах структурного підходу до аналізу конкуренції тип конкуренції - монополістична конкуренція. 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.

Таблиця 3.9. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)</i>
1	Надійність	Більша надійність продукту, ніж у конкурентів
2	Швидка зміна виробництва	За рахунок великої БД з великою кількістю технологічних операцій
3	Якість	Вище перелічені фактори покращують якість продукту, а це один із головних критеріїв у клієнтів
4	Ціновий	Опрацювання відгуків клієнтів, вдосконалення відповідно до їх пропозицій та за можливості
5	Новизна	Нова технологія дозволяє продукту стати конкурентоспроможними на ринку

Таблиця 3.10. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Нульові напруження»

<i>№ n/n</i>	<i>Фактор конкурентоспроможності</i>	<i>Бали 1-20</i>	<i>Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з КСК</i>						
			3	2	1	0	+1	+2	+3
1	Надійність	14						+	
2	Швидка зміна виробництва	16						+	
3	Якість	15					+		
4	Ціна	12				+			
5	Новизна	16					+		

Порівняльний аналіз сильних і слабких сторін показав, що надійність, довговічність і час роботи, за таку ж саму ціну на продукт, дає перевагу над іншими продуктами і тому проект може стати

конкурентоспроможним на ринку.

Таблиця 3.11. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <ul style="list-style-type: none">- більший оптимізована програма, ніж у конкурентів;- краща продуктивність; краща якість продукту;- ціна така ж як і у конкурентів; наявність патентів дозволяє споживачу бути впевненим у якості продукту.	<p>Слабкі сторони:</p> <ul style="list-style-type: none">- продукт який ще не зарекомендував себе на ринку;- так як на ринку багато постачальників, уклієнтів багатий вибір продукту, компанії необхідно проводити рекламу свого продукту і збільшувати кількість його постачальників.
<p>Можливості:</p> <ul style="list-style-type: none">- потреба у збільшенні надійності і довговічності інструменту, тим самим витіснити застарілий продукт із ринку;- забрати собі клієнтів у вже існуючих фірм за рахунок створення нової мережі постачання;- отримання нових замовлень на продукт;- збільшення продаж;- отримання державних замовлень на отримання послуг;	<p>Загрози:</p> <ul style="list-style-type: none">- широкий асортимент продукції конкурентів;- поява якісніших технологій у конкурентів;- не бажання споживачів- зменшення продажів через несвоєчасне виконання замовлень;- втрата клієнтів через недостатню технічну підтримку.

У таблиці 3.11 проводимо перелік сильних та слабких сторін проекту. А також ринкових загроз та ринкових можливостей який складаємо на основі факторів загроз і можливостей який ми склали раніше. Ринкові загрози та можливості на відміну від факторів ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення.

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 3.12. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Стратегія нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу	Висока	8 місяців
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу	Висока	1,5 рік

Проводимо аналіз розроблених нами альтернатив ринкового впровадження і з зазначених альтернатив обираємо ту яка має найбільшу ймовірність отримання ресурсів, а також є найшвидшою в реалізації. Отже обираємо стратегію нейтралізації ринкових загроз сильними сторонами стартапу наявними ринковими можливостями.

3.4 Розробка ринкової стратегії проекту.

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

Які цільові групи обрано: державні та приватні підприємства. Використовується стратегія диференційованого маркетингу. За результатами аналізу потенційних груп споживачів ми обрали цільові групи, для яких будемо пропонувати свою програму для оптимізації робочих центрів та визначили стратегію охоплення ринку: стратегію диференційованого маркетингу, тому що працюємо із конкретним сегментом, розробляючи для нього програму ринкового впливу. Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувавши базову стратегію розвитку.

За базову стратегію розвитку було взято стратегію диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей, які роблять товар відмінним від конкурентів. Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 3.13).

Таблиця 3.13. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ n/n	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 *
1	Проект не є «першопрохідцем»	Компанія буде забирати існуючих у конкурентів	Не буде копіювати основні характеристики програми конкурента	Стратегія заняття конкурентної ніші

За базову стратегію конкурентної поведінки була прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому - це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

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 3.14. Визначення стратегії позиціонування

<i>№ п/п</i>	<i>Вимоги до товару цільової аудиторії</i>	<i>Базова стратегія розвитку</i>	<i>Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту</i>	<i>Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три</i>
1	Висока оптимізація і вчасне виготовлення	Стратегія диференціації	Краща якість ніж у конкурентів за такою ж ціною	Надійність Стабільність Точність

Компанія за стратегію розвитку обрала диференціацію, і за цільові групи було обрано державні та приватні підприємства, хоча у них вже є постачальники, але за рахунок нової технології компанія буде забирати клієнтів у конкурентів, і проводити підтримку та реалізовувати розвиток своєї конкурентної переваги.

3.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 3.15 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 3.15. Визначення ключових переваг виробу

<i>№ п/ п</i>	<i>Потреба</i>	<i>Вигода, яку пропонує товар</i>	<i>Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)</i>
1	Потреба в програмному забезпеченні для оптимізації робочих центрів, і виконання виготовлення виробів у термін.	Задіяння всіх робочих центрів, виконання всіх поставлених завдань термін, швидке перенастроювання системи виробництва.	Постійна технічна підтримка та оновлення. Вдосконалення алгоритму розрахунків та його вдосконалення. Вдосконалення програми шляхом додавання нових можливостей і методів розрахунків.

За рахунок ключових переваг товару і стратегії диференціації, що передбачає надання товару важливих з точки зору споживача відмінних властивостей за такою ж ціною як і у конкурентів буде розроблено маркетингову програму стартап-проекту.

Таблиця 3.16. Опис трьох рівнів моделі товару

<i>Рівні товару</i>	<i>Сутність та складові</i>		
I. Товар за задумом	Програма для розрахунку напруження в різальному інструменті Можна виділити наступні вигоди використання: забезпечення оптимізації робочих центрів; виконання виготовлення виробів в термін; швидке переналагодження виробів деталі; підвищена якості продукції.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Економічні	Нм	Вр
	2. Призначення	Нм	Тх
	3. Надійність	М	Тл
	4. Технологічні	М	Тх
	5. Транспортабельності	М	Тх
	6. Безпеки	М	Тх
	Якість: Відповідає нормам ГОСТ 2.307-2011 «Виготовлення і складання виробів»		
	Пакування: Картонна коробка із торгівельною маркою, назвою продукту і технічними характеристиками		
	Марка: назва організації-розробника		
III. Товар із підкріпленням	Розповсюдження реклами		
	Акція, яка передбачає придбати кілька товарів за зниженою ціною		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: Захист інтелектуальної власності, патент на винахід.			

У таблиці 3.16 ми створюємо трьохрівневу модель нашого товару, що включає задум товару та його вигоди, основні характеристики готового товару, спосіб його пакування та захисту від копіювання та плагіату. Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 3.17).

Таблиця 3.17. Визначення меж встановлення ціни

<i>№ п/п</i>	<i>Рівень цін на товари- замінники</i>	<i>Рівень цін на товари- аналоги</i>	<i>Рівень доходів цільової групи споживачів</i>	<i>Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу</i>
1	150000 Грн	100000	Середній	100000 - 250000 грн

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

Таблиця 3.18. Формування системи збуту

<i>№ п/п</i>	<i>Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів</i>	<i>Функції збуту, які має виконувати постачальник</i>	<i>Глибина каналу збуту</i>	<i>Оптимальна система збуту</i>
	Звична купівля з деяким змінами, або модифікована закупівля. Вона передбачає дещо змінених товарів(послуг), або зміну ціни на товар (послугу), або зміну кількості постачання).	Доставка товару покупцю, його встановлення та налаштування.	Канал нульового рівня	Власна система збуту. Виробник безпосередньо продає товар клієнту і використовує три способи прямого продажу : - Торгівля через - Посилкова торгівля - Торгівля в роздріб

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту через торгівлю в магазинах, посилками чи в роздріб. Також заглибину

каналу збуту було обрано канал нульового рівня, тому що компанія хоче мати тісні контакти із споживачами на обмеженому цільовому каналі.

Таблиця 3.19. Концепція маркетингових комунікацій

<i>№</i> <i>n/n</i>	<i>Специфіка</i> <i>поведінки</i> <i>цільових</i> <i>клієнтів</i>	<i>Канали</i> <i>комунікацій</i> <i>якими</i>	<i>Ключові позиції,</i> <i>обрані для</i> <i>позиціонуванн</i> <i>я</i>	<i>Завдання</i> <i>рекламного</i> <i>повідомлення</i>	<i>Концепція</i> <i>рекламного</i> <i>звернення</i>
1	Перегляд інформаційних ресурсів із потрібним якісним товаром за доступною ціною.	Інтернет ресурси, виставки, рекламні статті.	Послідовність у реалізації обраної позиції. Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар. Послідовність при прийнятті.	Інформаційне завдання про новий товар, та формування знань про марку та виробника.	Висока якість і швидке виготовлення виробів.

Висока якість і швидке виготовлення виробів є головною концепцією товару, за рахунок яких він є конкурентоспроможним на ринку. Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів було обрано власну систему збуту, коли виробник безпосередньо продає товар клієнту. Ціноутворення відбувається на основі аналізу товарів - аналогів і відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту з залученням експертів. За ринкову поведінку буде прийнята стратегія зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру. Головне завдання компанії при цьому - це постійна турбота про підтримку і розвиток своєї конкурентної переваги, формування лояльності і прихильності споживачів, підтримка вхідних бар'єрів.

3.6 Висновки.

Ринкова комерціалізація проекту опирається на наявний попит, динаміку ринку та рентабельність роботи на ринку. Клієнти на даному ринку зазвичай займаються звичною купівлею з деякими змінами, яка передбачає придбання дещо змінених товарів, або зміну ціни на товар, саме на це і розрахований даний стартап, так як за рахунок розробленої програми відбудеться покращення характеристик інструменту, він матиме кращі властивості при роботі порівняно із товарами конкурентів.

Спираючись на специфіку закупівельної поведінки цільових клієнтів і розробивши власну систему збуту є хороші перспективи впровадження даного продукту на ринок. Бар'єром входження на ринок є велика кількість товарів-аналогів, але порівняно із ними дана програма оптимізує робочі центри, має велику БД, виготовлення виробів в заданий термін і швидкепереналагодження системи за рахунок чого він може стати конкурентоспроможним на ринку.

Впровадження на ринок розроблена на основі стратегії зайняття конкурентної ніші, коли компанія в якості цільового ринку вибирає один або декілька ринкових сегментів малого розміру.

Отже, подальша імплементація продукту є доцільною за рахунок сильних сторін продукту і наявного попиту на ринку.

ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

Маніпулятори стали важливим інструментом, який використовують для контролю якості багато виробничих компаній. Завдяки своїй мобільності, яка надає можливість використовувати МВС машини практично в будь-якому місці виробничого цеху, вони надають широкий спектр можливостей: від перевірок в процесі виробництва до масштабних збірок на внутрішніх верстатах. Дані вимірювальні машини мають можливість забезпечувати зворотний зв'язок у реальному часі безпосередньо на місці виробництва.

У ході проведення роботи з магістерського проектування на тему «Маніпулятор вимірювальної системи» були розглянуті сучасні КВМ, їх конструктивні особливості, алгоритми проведення вимірювань.

В першому розділі розглянуто основні методи вимірювання за допомогою різних типів координатно-вимірювальних машин. Подано детальний опис портативних координатно-вимірювальних машин, окреслено їх переваги та недоліки.

В другому розділі роботи створено розрахункову схему для визначення навантаження на них. Також були виконані розрахунки корпусу на міцність.

В третьому розділі роботи було розроблено стартап проєкт. Окрім цього, визначено ринкові можливості, які можна використати під час впровадження проєкту на ринок, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Гапшис А. А, Каспаряйтис А. Ю. Координатные измерительные машины//Станкостроение Литвы 1982, №14
2. Горбач Ф.И., Макаров С.О., Координатно-измерительные машины: точность нового поколения. МЕТАЛЛООБРАБОТКА[3/2009] – Режим доступа: https://www.informdom.com/uploads/docs/files/2013_wood/4/2411/09_3m_page_66_Spez mash.pdf
3. Кобрынский А.Е, Левковский Е. И.//Автоматизация измерений при применении координатных измерительных машин. Станки и инструмент.1979, №1.
4. Координатно-вимірювальна машина: опис, технічні характеристики, застосування. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://hi-news.pp.ua/tehnka-tehnologyi/10581-koordinatno-vimryuvalna-mashina-opis-tehnchn-harakteristiki-zastosuvannya.html#sel=2:1,2:90>
5. Контрольно-измерительные машины. Електронний ресурс. – Режим доступу: <https://ti-tech.kz/news/stati/kontrolno-izmeritelnye-pribory/>
6. Модестов М. Б., Чудов В. А. Принципы построения измерительных головок координатно измерительных машин//Научн. рех. реф. Сб./НИИмэш. 1981. №10 Оборудование с числовым программным управлением.
7. Потеряйко А. М., Скиба А. С. Координатно-измерительные машины, современные способы сканирования и обратный инжиниринг. Український метрологічний журнал, 2016, № 4 DOI: <https://doi.org/10.24027/2306-7039.4.2016.112064>
8. Разработка и исследование автоматических координатных измерительных машин/М. И. Коченов, В. А. Чудов и др.//Автоматизация сборочных процессов в машиностроении.1979.

9. Серков Н. А. Измерение пространственно-сложных поверхностей на координатных измерительных машинах//Станки и инструмент 1982 №11.
10. Справочник конструктора точного приборостроения / Г.П. Веркович, Е.Н. Головенкин и др. Под ред.
11. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с
12. Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів. Конспект лекцій [Електронний ресурс] : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О.Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,88 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 188 с. – Назва з екрана.
13. Гавриш, О. А. Розробка стартап-проектів: практикум [Електронний ресурс] :навчальний посібник для студентів спеціальностей 151 – «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» та 152 – «Метрологія та інформаційно- вимірювальна техніка» / О. А. Гавриш, К. О. Бояринова, К. О. Копішинська ; КПІ ім. Ігоря Сікорського. – Електронні текстові данні (1 файл: 2,11 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2019. – 116 с. – Назва з екрана.