

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Машинобудівний факультет

(повне найменування факультету)

Металорізальні верстати та інструменти

(повне найменування кафедри )

## Пояснювальна записка

до дипломного проекту

Магістр

(ступінь вищої освіти)

на тему: Впровадження вимірювальної системи для підвищення точності позиціонування токарного верстату з ЧПК та дослідження її технологічних можливостей

(назва теми)

Виконав(ла): студент(ка) 2 курсу, групи М-222м

Спеціальності: 133 Галузеве машинобудування

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація):

Металорізальні верстати та системи

НОТЧЕНКО Р.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ТАНЧЕНКО С.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ГОНЧАР Н.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет: Машинобудівний

Кафедра: Металорізальних верстатів та інструментів

Ступінь вищої освіти: магістр

Спеціальність: 133 Галузеве машинобудування  
(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація): Металорізальні верстати та системи  
(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

**Завідувач кафедри ФРОЛОВ Михайло**

« 10 » листопада 2023 року

**З А В Д А Н Н Я**  
**НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЄКТ (РОБОТУ) СТУДЕНТА(КИ)**

НОТЧЕНКО Роман Васильович

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1. Тема проекту (роботи): Впровадження вимірювальної системи для підвищення точності позиціонування токарного верстату з ЧПК та дослідження її технологічних можливостей.

керівник проекту (роботи): ТАНЧЕНКО Сергій Віталійович

(науковий ступінь, вчене звання, ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» листопада 2023 року № 430

2. Строк подання студентом проекту (роботи) 12.12.2023 р.

3. Вихідні дані до проекту (роботи) токарний верстат з ЧПК АТПР800.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): модернізація верстату АТПР800 та його огляд; технічне обслуговування та вибір люфтів; опис двигунів та енкадера; методика проведення дослідів на точність позиціонування; оцінка точності позиціонування; фактори, які можуть впливати на точність верстату, огляд та характеристика лінійних вимірювальних систем.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів): презентація аркушів.

6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ТАНЧЕНКО Сергій Віталійович ст. викл.	04.09.2023р.	22.09.2023р.
2	ТАНЧЕНКО Сергій Віталійович ст. викл.	22.09.2023р.	06.10.2023р.
3	ТАНЧЕНКО Сергій Віталійович ст. викл.	06.10.2023р.	13.10.2023р.
4	ФРОЛОВ Михайло Володимирович доц., к.т.н. ТАНЧЕНКО Сергій Віталійович ст. викл.	13.10.2023р.	20.11.2023р.
5	ФРОЛОВ Михайло Володимирович доц., к.т.н. ТАНЧЕНКО Сергій Віталійович ст. викл.	20.11.2023р.	27.11.2023р.
6	ТАНЧЕНКО Сергій Віталійович ст. викл.	27.11.2023р.	01.12.2023р.
7	ТАНЧЕНКО Сергій Віталійович ст. викл.	01.12.2023р.	06.12.2023р.
Нормоконтроль	ОГЛУЗДІНА Любов Сергіївна ст. викл.		

7. Дата видачі завдання «04» вересня 2023 року.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту (роботи)	Примітка
1	Модернізація верстату АТПР800. Огляд	22.09.2023р.	
2	Технічне обслуговування та вибір люфтів	06.10.2023р.	
3	Опис двигунів та енкодера	13.10.2023р.	
4	Методика проведення дослідів на точність позиціонування	20.11.2023р.	
5	Оцінка точності позиціонування	27.11.2023р.	
6	Фактори, які можуть впливати на точність верстату	01.12.2023р.	
7	Огляд та характеристика лінійних вимірювальних систем	06.12.2023р.	
8	Оформлення пояснювальної записки	07.12.2023р.	
9	Оформлення презентації	08.12.2023р.	

**Студент(ка):**

**Роман НОТЧЕНКО**

( підпис )

( ім'я, ПРІЗВИЩЕ )

**Керівник проекту (роботи):**

**Сергій ТАНЧЕНКО**

( підпис )

( ім'я, ПРІЗВИЩЕ )

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до магістерського проекту: 73 стор., 39 рис., 14 табл., 18 джерел.

ВЕРСТАТ, ВИХІД В «0» ПОЛОЖЕННЯ, КОРЕКЦІЯ, ДВИГУН, ЕНКОДЕР, ОБЛАДНАННЯ, РЕЖИМИ РОБОТИ, ОБЕРТИ, ЛЮФТ, МАГНІТНА СТІЙКА, МІКРОННИЙ ГОДИННИК, MSTT.

Об'єкт дослідження - токарний верстат з ЧПК моделі АТПР800.

Мета роботи - модернізація верстата АТПР800 з системою керування Sinumerik 802C, а саме підвищення точності позиціонування токарного верстату з ЧПК та дослідження її технологічних можливостей.

В результаті виконання дипломного проекту необхідно вирішити такі задачі:

- модернізація верстату АТПР800. Огляд;
- технічне обслуговування та вибір люфтів;
- опис двигунів та енкодера;
- методика проведення дослідів на точність позиціонування;
- оцінка точності позиціонування;
- фактори, які можуть впливати на точність верстату;
- огляд та характеристика лінійних вимірювальних систем.

Головною метою роботи є підвищення рівня контролю лінійних переміщень верстата.

## ABSTRACT

Explanatory note to the master's project: p. 73, fig. 39, 14 tables, 18 sources.

MACHINE, OUTPUT TO "0" POSITION, CORRECTION, MOTOR, ENCODER, EQUIPMENT, MODES OF OPERATION, REVOLUTION, CLEARANCE, MAGNETIC POST, MICRON CLOCK, MSTT.

The object of the study - CNC lathe ATIP 800.

The purpose of the work - the modernization of the ATIP800 machine with Sinumerik 802C control system, and also an improvement in the positioning accuracy of the turning lathe with CPC and research into technological capabilities.

As a result of the completion of the diploma project, the following tasks must be solved:

- modernization of the ATIP800 machine, review;
- maintenance and selection of clearances;
- description of motors and encoder;
- method of conducting experiments on positioning accuracy;
- assessment of positioning accuracy;
- factors that can affect the machine accuracy;
- an overview of the characteristics of linear vibrating systems.

The main objective of the design is to increase the level of control of the linear movements of the machine.

## ЗМІСТ

	С.
Вступ.....	8
1 Модернізація верстату АТПР800. Огляд .....	9
1.1 Технічні характеристики верстата АТПР800.....	9
1.2 Обробка деталей.....	10
1.3 Керування верстатом.....	13
1.4 Режими роботи .....	14
1.4.1 Режим виходу у вихідне (у «0» положення): .....	14
1.4.2 Вихід у вихідне за віссями: .....	15
1.4.3 Ручний режим (JOG) .....	155
1.4.4 Управління ЗОР: .....	16
1.4.5 Управління мастилом напрямних .....	166
1.4.6 Управління інструментальним магазином .....	17
1.4.7 Управління зчепленням/розчепленням кінематики шпинделя .....	177
1.4.8 Автоматичний режим .....	18
1.4.9 Режим MDA (Преднабір) .....	188
2 Технічне обслуговування та вибір люфтів .....	21
2.1 Технічний огляд.....	21
2.2 Вибір люфта у приводі подач .....	21
2.3 Вибір люфта у кулькових парах .....	22
3 Опис двигунів та енодера.....	24
3.1 Опис двигунів .....	24
3.2 Опис енодера.....	25
4 Методика проведення дослідів на точність позиціонування .....	30
4.1 Загальна інформація .....	30
4.2 Обладнання та інструмент .....	31
4.3 Проведення замірів.....	322

5	Оцінка точності позиціонування .....	422
6	Фактори, які можуть впливати на точність верстату .....	499
6.1	Вібрації.....	499
6.2	Код Грея.....	533
6.3	Зношування КГП (кульково-гвинтової передачі).....	538
7	Огляд та характеристика лінійних вимірювальних систем .....	62
	Висновки.....	71
	Перелік джерел посилання .....	72

## ВСТУП

Вітчизняні та світові виробники пропонують споживачам велику кількість різних видів ЧПК - верстатів, завдяки яким можна виконати різноманітні операції в автоматичному режимі. Таке металообробне обладнання може відрізнятися габаритами, потужністю, швидкістю обертання шпинделя та наявністю додаткових функцій. Існують моделі, які керуються за допомогою комп'ютерної техніки з встановленим спеціальним програмним забезпеченням або спеціалізованою автономною стійкою.

До найпоширеніших різновидів ЧПК - верстатів варто віднести:

- карусельні – такі токарні верстати використовуються для обробки великих деталей циліндричної або конічної форми завдяки планшайбі (робочий стіл), яка знаходиться в горизонтальній площині. Виконується у двох конструктивних типах: з однією стійкою (діаметр заготовки 1 м, рідко його перевищує) та двома стійками (діаметр заготовки може перевищувати 2,5-3 м).
- гвинторізні – ці агрегати широко використовуються у всіх галузях машинобудівної та металургійної промисловості. Обробка деталі здійснюється за допомогою спрямованої дії різця на її поверхню.
- напівавтоматичні або автоматичні – ці високопродуктивні токарні верстати дозволяють працювати з заготовками складної форми. Надається можливість обробляти деталі з високою швидкістю. За допомогою автоматичних моделей можна налагодити виробництво деталей у великій кількості.

Кожен різновид ЧПК - верстатів має свої характерні особливості, переваги та недоліки. Якщо правильно підібрати модель, то можна ретельно та з високою точністю обробляти металеві вироби. Операторам не доведеться стикатися з бракованими деталями [1].

## 1 МОДЕРНІЗАЦІЯ ВЕРСТАТУ АТПР800. ОГЛЯД

Верстат моделі АТПР800 під керуванням системи ЧПК SINUMERIK 802C Base Line призначений для обробки деталей складної криволінійної форми, дисків, фланців та кілець з циліндричною, конічною та фасонною поверхнями. На верстаті можлива обробка зовнішніх, торцевих та внутрішніх поверхонь по замкнутому циклу в один або декілька проходів із сталевих, титанових та легких сплавів.

Верстат моделі АТПР800 в умовах механічного цеху рекомендують встановлювати за відсутності поблизу зварювальних апаратів, установок ТВЧ та інших джерел перешкод та теплової радіації, а також обладнання ударної дії, що викликає вібрацію [4].

### 1.1 Технічні характеристики верстата АТПР800

Технічні характеристики верстату занесені до таблиці 1.1

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики

Параметр	Значення
Клас точності верстата за ГОСТ 8-82 (Н, П, В, А, С)	П
Найбільший діаметр деталі оброблюваної над станиною, мм	1000
Найбільший діаметр деталі оброблюваної над супортом, мм	200
Найбільша довжина оброблюваної деталі, мм	200

Кінець таблиці 1.1

Параметр	Значення
ЧПК	ЧПК
Межі частот обертання шпинделя min/max, об/хв	2 – 310
Потужність, кВт	30
Габарити, мм	2900 x 2100 x 1750
Маса, кг	7500

## 1.2 Обробка деталей

На верстаті можливе виконання токарних операцій для деталей різних форм та геометрії завдяки різним блокам та інструментам. Верстат обладнаний магазином на 12 інструментів. На рисунках 1.1 та 1.2 показано зовнішній вигляд інструментальних блоків на магазині АТПР800.

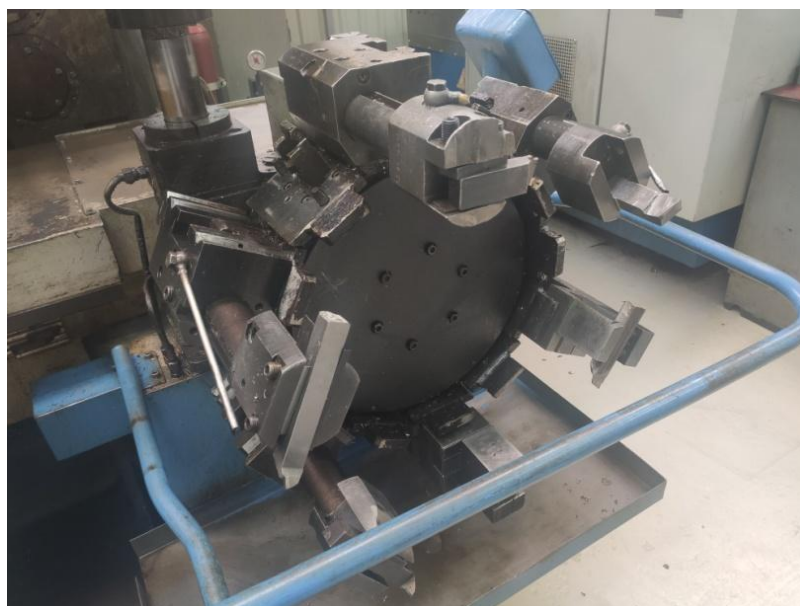


Рисунок 1.1 – Зовнішній вигляд інструментальних блоків

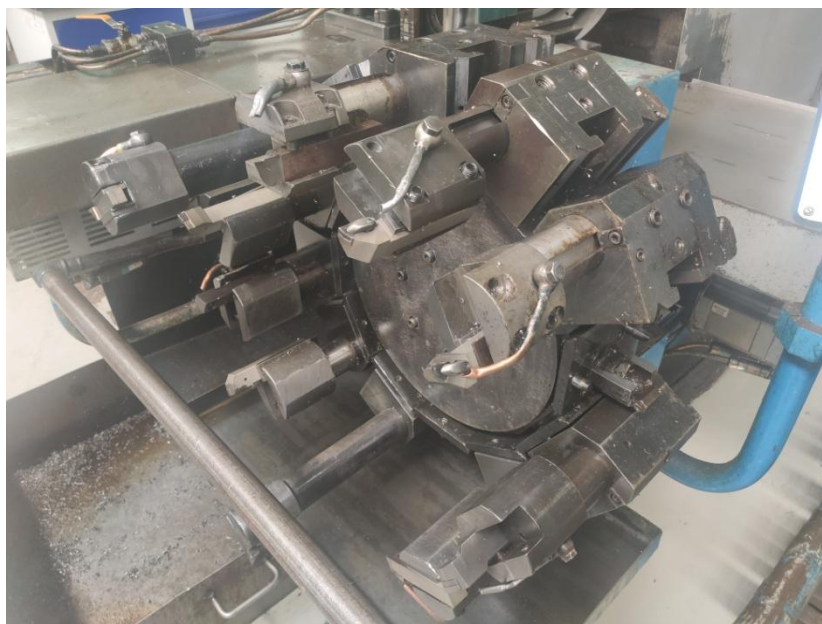


Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд інструментальних блоків

Завдяки регулюванню допоміжних головок на блоках підбирають бажану довжину, в залежності від виду оснастки та габаритів деталі. Блоки у своїй сутності мають 3 види, які представлені на рис. 1.3 – 1.5:

- 1) стандартний розмір блоку з різцем;
- 2) середній розмір блоку з допоміжною головкою;
- 3) блок з регулюванням довжини.



Рисунок 1.3 – Стандартний розмір блоку з різцем



Рисунок 1.4 – Середній розмір блоку з допоміжною головкою



Рисунок 1.5 – Блок з регулюванням довжини

Згідно виробничим потребам на кожен блок можна встановити різець – різальний інструмент, призначений для обробки твердих матеріалів на різних видах обладнання. Різець складається з двох частин: робочої, яка знімає стружку, і держака, призначеного для закріплення різця в різцетримачі верстату.

До елементів робочої частини належать передня поверхня, якою сходить стружка, головна і допоміжна задні поверхні, головне і допоміжне різальні ребра та вершина різця. Робоча частина може бути монолітною з держакром (рис.1.6), або виконана як окрема складова з більш твердого, в порівнянні з держакром, матеріалу та виконується у формі пластини спеціальної форми, яка кріпиться до держака паянням або механічно.

Токарні різці поділяють на наступні типи: ліві або праві, прямі, відігнуті, відрізні з витягнутою голівкою, прохідні, прохідні упорні, підрізні, розточні, фасонні, для нарізання зовнішньої та внутрішньої різьби.



Рисунок 1.6 – Відрізні та різці різних радіусів

Обробка проводиться за двома координатами по керуючій програмі, що записана в пам'яті ЧПК (обсяг 120кБ) або за «нескінченною програмою», що приймається за послідовним портом RS232 від DNC-сервера.

### 1.3 Керування верстатом

Управління верстатом здійснюється за допомогою верстатної клавіатури MSTT панелі оператора (надалі MSTT), що входить до складу системи ЧПК SINUMERIK 802C Base Line, встановленої на дверях електрошафи.

Система ЧПК дозволяє виконувати на верстаті наступні функції:

- розробка та адаптація програм деталі;
- виконання програми деталі;

- ручне керування;
- завантаження та розвантаження програм деталі та даних;
- редагування програм;
- введення та редагування корекції інструменту;
- введення та редагування базових точок деталі;
- редагування даних верстата;
- діагностика несправностей.

Оператор може викликати всі функції через спеціальний інтерфейс. В залежності від версії ЧПК деякі функції користування можуть відрізнятися, тому перед початком роботи необхідно ознайомитись із детальним описом усіх режимів та функцій керування конкретною системою, які наведені в посібнику з програмування.

## 1.4 Режими роботи

### 1.4.1 Режим виходу у вихідне (у «0» положення)

Для виходу у вихідне (у «0» положення) потрібно зробити наступне:

- натиснути кнопку JOG на MSTT;
- натиснути кнопку REF на MSTT.

У графі стану режимів робіт відобразиться JOG REF.

Mn		RESET	JOG	REF	DEMO1.MPF	
Reference point mm				Finishing		
+ X	⊗	0.000		act:	0%	
+ Y	⊙	0.000		Prog:	0.000	
+ Z	⊕	0.000			0.000	
+ SP	⊗	0.000		T:	0	D: 0
S		0.000	0.000		0%	

Рисунок 1.7 – Панель керування MSTT

### 1.4.2 Вихід у вихідне за віссями

Для виходу у вихідне за віссями робимо наступне: перебуваючи в режимі вихідного, натискаємо кнопку +X або +Z, вибираючи таким чином вісь, за якою необхідно здійснити вихід у вихідне становище.

При утриманні кнопки в натиснутому стані вибрана вісь рухається у вихідне. Кнопку не обов'язково утримувати до закінчення циклу виходу нуль. Після занулення координати на дисплеї напроти вибраної вісі з'явиться повідомлення, сигналізуючи про те, що вісь занулена (на рисунку 1.7 вісь Y не занулено).

Послідовність виведення вісі у вихідну точку не повинна загрожувати механічному удару супорта об пристрій або деталь, що може призвести до поломки верстата або до браку деталі.

### 1.4.3 Ручний режим (JOG)

Для переходу в ручний режим керування необхідно натиснути кнопку JOG на MSTT.

У ручному режимі верстат може виконувати такі функції:

- управління ЗОР (змащуюча охолоджуюча рідина);
- керування мащенням напрямних;
- управління інструментальним магазином;
- управління зчепленням/розчепленням кінематики шпинделя;
- управління покроковою зміною інструменту;
- повний цикл зміни інструменту.

#### 1.4.4 Керування ЗОР

Керування ЗОР робиться наступним чином:

- увімкнення ЗОР здійснюється натисканням кнопки “ЗОР” на верстатній клавіатурі. Світлодіод над кнопкою “ЗОР” сигналізує вмикання насоса ЗОР;
- вимкнення ЗОР здійснюється натисканням кнопки “ЗОР” на верстатній клавіатурі. Світлодіод над кнопкою “ЗОР” гасне, насос ЗОР вимикається;
- блокування ЗОР необхідне для припинення подачі ЗОР у режимах JOG, AUTO, MDA. Ця функція вибирається натисканням кнопки “ЗОР блокув.” у всіх вказаних режимах роботи. При натисканні цієї кнопки зупиняється подача ЗОР у зону обробки;

Блокування ЗОР, а також її включення/вимикання, можна проводити у всіх режимах роботи.

#### 1.4.5 Керування мащенням напрямних

Увімкнення циклу мащення здійснюється натисканням кнопки «Змащення» на MSTT. Світлодіод над кнопкою сигналізує про увімкнення циклу мащення, а по його завершенні – автоматично гасне. У разі несправності системи змащення світлодіод над кнопкою починає блимати, і індіцює помилку у рядку повідомлень на дисплеї. Увімкнення мащення можна здійснювати у всіх режимах роботи.

#### 1.4.6 Керування інструментальним магазином

Поворот інструментального магазину на потрібний інструмент або пусте гніздо виконується натисканням кнопки «Магазин повернути».

Напівавтоматична зміна інструменту в режимі MDA: для реалізації потрібно обов'язково набрати кадр G53 G0 X0 Z0 D0 натиснути кнопку «ВВЕДЕННЯ» і натиснути «ПУСК ЦИКЛУ», потім набрати «ТхМб» де х – номер інструменту, натиснути кнопку «ВВЕДЕННЯ» і натиснути «ПУСК ЦИКЛУ».

Після набору першого кадру відбудеться автоматичний вихід вісей X і Z у вихідну точку, після набору другого кадру – пошук заданого інструменту в магазин і зміна інструменту.

Положення всіх механізмів, що беруть участь у циклі зміни інструменту, відображається світлодіодом над відповідною кнопкою MSTT. У разі переривання циклу зміни інструменту, пара миготливих світлодіодів та повідомлення на дисплеї вкажуть місце несправності.

#### 1.4.7 Керування зчепленням/розчепленням кінематики шпинделя

Для зчеплення або розчеплення кінематики шпинделя потрібно виконати наступне:

- для розчеплення кінематики шпинделя, натискаємо кнопку «Розчеплення кінематики», при цьому, шпиндель верстата від'єднується від електродвигуна, і засвітиться світлодіод над кнопкою. Після цього з'являється можливість вручну провертати шпиндель, з метою добутку необхідних вимірів;
- для зчеплення кінематики шпинделя повторно натискаємо кнопку «Розчеплення кінематики», світлодіод згасне.

### 1.4.8 Автоматичний режим

Керування верстатом та системою ЧПК в автоматичному режимі докладно описано в посібнику “Керування та програмування SINUMERIK 802C Base Line (фрезерна обробка)” видання Siemens.

### 1.4.9 Режим MDA (Преднабір)

Керування верстатом та системою ЧПК в режимі MDA докладно описано в посібнику “Керування та програмування SINUMERIK 802C Base Line (токарна обробка)” видання Siemens. Допоміжні функції занесені до таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Допоміжні функції

№ з/п	Функція	Опис функції
1	M0	технологічна зупинка
2	M1	технологічна зупинка з підтвердженням
3	M2	кінець програми
4	M3	обертання шпинделя за годинниковою стрілкою
5	M4	обертання шпинделя проти годинникової стрілки
6	M5	зупинка шпинделя та відключення ЗОР
7	M6	зміна інструменту
8	M8	ввімкнення ЗОР
9	M9	вимкнення ЗОР
10	M30	кінець програми
11	M41	1-й діапазон коробки швидкостей шпинделя
12	M42	2-й діапазон коробки швидкостей шпинделя

Номер інструменту програмується за кодовою планкою на інструментальному блоці та знаходиться в межах T1...T12.

Зміну інструменту в технологічній програмі необхідно програмувати, викликаючи функцію M6, причому функцію Tx, де x – номер необхідного інструменту, і M6 можна програмувати в одному кадрі:

...  
N901 T1 M6

Програмування функцій M41, M42 обов'язково перед завданням напрямки обертання шпинделя:

...  
N121 M42  
N122 M3

Підтримка обертів залежить від встановленого комплекту шестерень та включеного діапазону.

Геометрична інформація задається за адресами X та Z . Даний пристрій ЧПК Sinumerik 802C Base Line призначено для роботи зі верстатом АТПР800, у якого дискретність по осі X:  $\Delta X = 0,001$  мм, по осі Z:  $\Delta Z = 0,001$  мм,

Приклад:

Z+135.5 – відповідає переміщенню поздовжнього супорта праворуч на 135,5 мм.

X+150 – відповідає переміщенню поперечного супорта вгору на 75мм, тобто, програмується діаметральний розмір.

Рекомендації при написанні коду керуючої програми:

- у першому кадрі обов'язково вказується кадр «G53 G0 X0 Z0 D0» – цим кадром осі верстата незалежно від положення виводяться в точку зміни інструменту;
- такий кадр програмується перед зміною інструмента;

- є можливість програмувати подачу в мм/об завдання функції G95, при цьому максимально програмована задається не більше 9 мм/об виходячи з максимальної швидкості шпинделя 260 об/мм . – за таблицею №1 та максимальною робочої подачі рівної 2400 мм/об .;

- швидкість швидкого ходу G0 дорівнює осі X – 3600 мм/об, для осі Z – 7200 мм/об..

## 2 ТЕХНІЧНЕ ОБСЛУГОВУВАННЯ ТА ВИБІР ЛЮФТІВ

### 2.1 Технічний огляд

Технічний огляд складається з 3 видів:

- огляд кожного дня;
- огляд щомісяця;
- огляд 1 раз кожні півроку.

Огляд кожного дня як перед початком роботи, так і в кінці повинен робити оператор обладнання. Він повинен перевірити рівень охолоджувальної рідини, рівень мастила, справність аварійних вимикачів, справність механізмів та відсутність течій масла.

До щомісячного та піврічного техогляду приєднуються спеціалісти групи механіка, а саме: слюсарі-ремонтники, електрики та електроніки. Кожен відповідає за свою частину огляду та ремонту. Робиться перевірка ізоляції підключеного обладнання, перевіряється справність всіх реле, проводяться виміри струму, перевіряються елементи станції гідравлічної, проводиться вимір тиску у системі, перевіряється зміна інструменту, завжди ведеться спостереження за натягом клинових ременів системи двигун – шпindel. Проводяться профілактичні роботи двигунам, кінцевими вимикачам, а також системі керування [6].

Після усіх оглядів обладнання може бути передано до роботи.

### 2.2 Вибір люфта у приводі подач

У приводі подач поздовжнього і поперечного переміщення шестерня, що знаходиться на веденому валу 4 рис.2.1 виконана розрізною. Вибірка бічного зазору в зубчастому зачепленні проводиться за рахунок повороту ексцентрика 2

розворотів половинок 1 і 3 шестерні розрізу. Регулювання проводиться до забезпечення нульового бічного зазору зубчастому зачепленні.

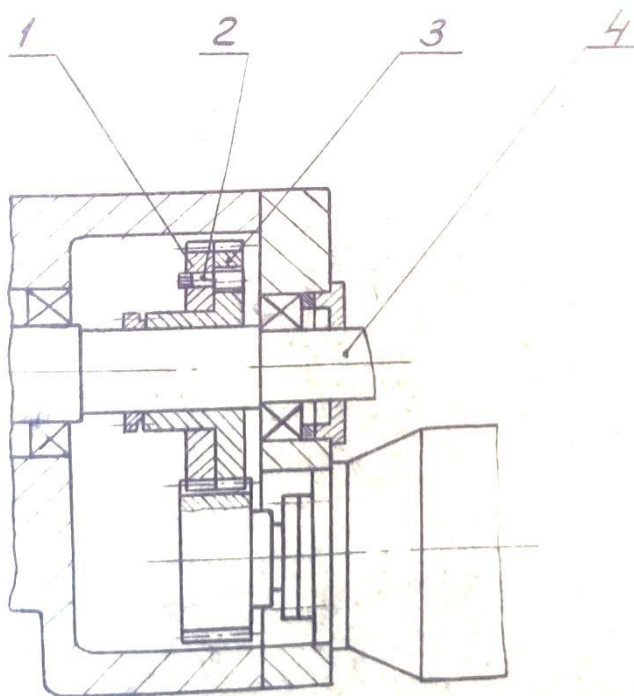


Рисунок 2.1 – Привід подач поздовжнього і поперечного переміщення

### 2.3 Вибір люфта у кулькових парах

Вибір люфта в гвинтових кулькових парах поздовжнього і поперечного переміщень супорта проводиться за допомогою гайок деталей 1 (кількість зубів на вінці 98) і деталь 2 (кількість зубів на вінці 99) за рахунок різниці в кількості зубів на один зуб за годинниковою стрілкою, якщо дивитися по стрілці К, що призводить до осьового зближення (рис.2.2). На обох торцях корпусу та гайок нанесені нульові риски, що відповідають нульовому зазору. За рахунок кутового повороту гайок у зубчастих вінцях корпусу забезпечити осьовий натяг, при якому осьове переміщення гайки щодо гвинта при дії навантаження  $Q=320$  кг повинно бути не більше 0,004 мм у напрямку докладання сили.

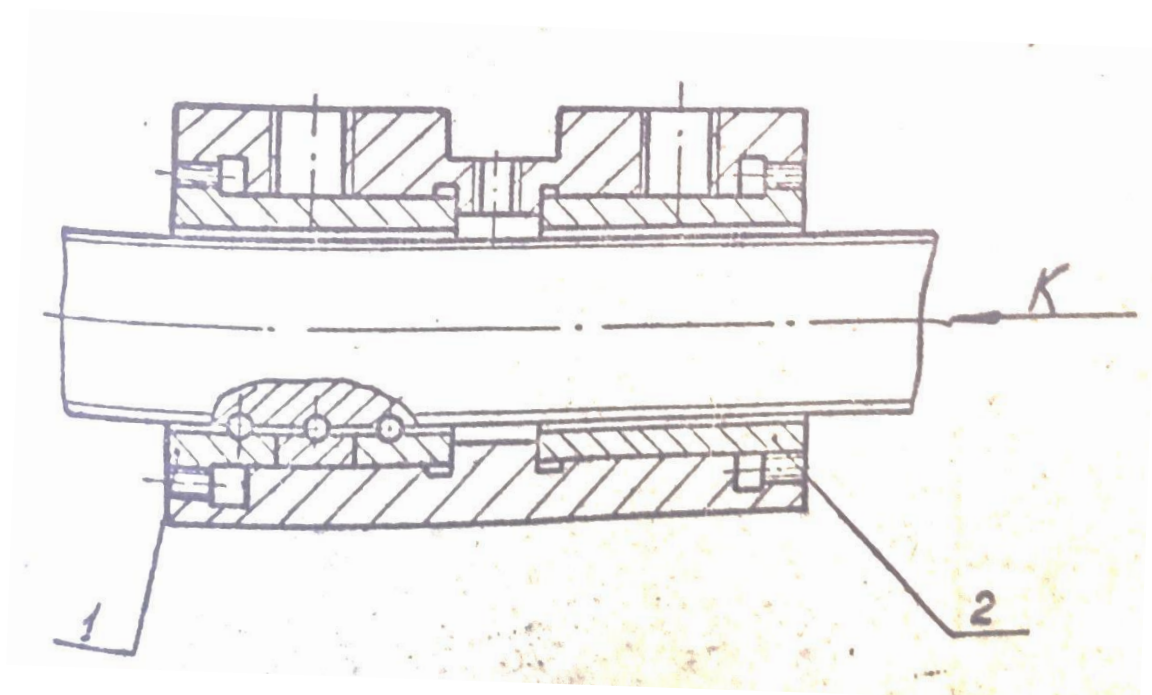


Рисунок 2.2 – Кулькова пара

## 3 ОПИС ДВИГУНІВ ТА ЕНКОДЕРА

### 3.1 Опис двигунів

Крокові двигуни, а також блоки керування ними, замінені на приводи подач X та Z із встановленням електродвигунів Siemens типу 1FK7063-5AF71-1AAO з наступними параметрами, приведеними у таблиці 2.1:

Таблиця 2.1 – Параметри двигуна Siemens

№ з/п	Параметр	Значення
1	номінальна частота	3000...8000 об/хв
2	дискретність кутових переміщень	0,001°
3	максимальний крутний момент	11 Н/м
4	номінальна потужність	2,29 кВт
5	система програмного керування	Sinumerik 802C BL

На рисунках 3.1 – 3.3 представлено вигляд двигуна як з зовні, так і з середини [2].

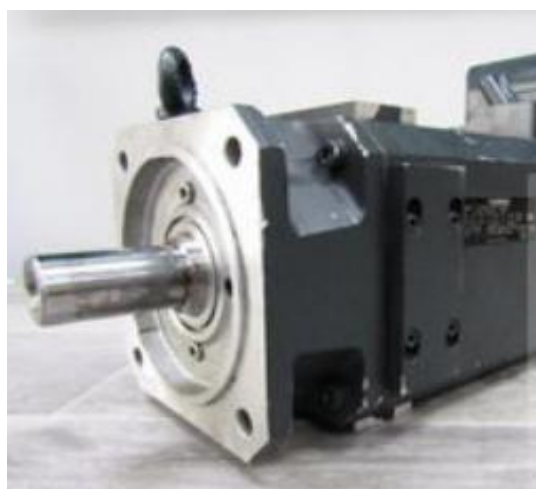


Рисунок 3.1 – Зовнішній вигляд двигуна



Рисунок 3.2 – Енкодер та місце його встановлення

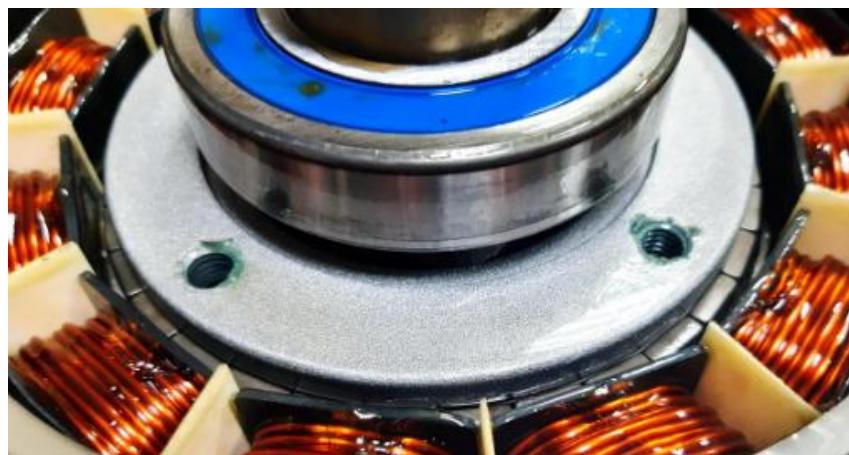


Рисунок 3.3 – Обмотки двигуна та підшипник на валу

На двигуні Siemens типу 1FK7063-5AF71-1AAO встановлюються два підшипники: передній та задній. Передній підшипник – 6205, задній – 6204.

### 3.2 Опис енкодера

На нашому обладнанні АТПР800 за осями X та Z встановлені двигуни Siemens з вбудованими енкодерами IC2048S/R: інкрементальний датчик  $\sin/\cos 1 V_{pp}$  2048 S/R, з каналами C та D. Параметри енкодера занесені до таблиці 3.1, а його вигляд ззовні, розібраний стан, сигнали при обертанні, гармонійне спотворення та розмірне креслення представлені на рис. 3.4-3.8.



Рисунок 3.4 – Вид енодера IC2048S/R



Рисунок 3.5 – Енодер IC2048S/R у розібраному вигляді

#### Синусоїдальний енодер S21:

- широкий діапазон робочих температур від  $-15\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+120\text{ }^{\circ}\text{C}$ , що забезпечує оптимальне використання потужності двигуна;
- висока гранична частота з чудовою якістю сигналу, що забезпечує найвищі пікові швидкості та зменшення непродуктивних втрат часу;
- відмінна стійкість до перешкод (EN 61000-4-4, клас 4);
- висока функціональна безпека завдяки управлінню сигналами та моніторингу системи (знижена напруга, забруднення, пошкодження диска, закінчення терміну служби світлодіодів);
- висока якість сигналу завдяки контролю та компенсації помилок.

Таблиця 3.1 – Параметри енкодера

Параметр	Значення
Бренд	<u>Hengstler GmbH</u>
Модель	S21
Точність	±35"
Метод виміру	інкрементальний
Технологія зчитування	оптична
Тип продукції	синусо-косинусний енкодер
Сертифікація	UL, CE
Тип вихідного сигналу /Вихідний інтерфейс	SIN/COS, 1 Vpp
Розширення	до 2048 імпл/об
Напруга живлення	5 VDC ±10%
Питомий струм	≤ 120 mA
Максимальна робоча швидкість	500 кГц
Максимальна механічна швидкість	12000 об/хв
Діаметр корпусу, мм	58
Тип валу	конусний вал
Діаметр валу	1:10 (10 мм)
Тип з'єднання	кабель або роз'єм на платі
Вивід з'єднувача	тангенціальний
Допустиме аксіальне навантаження на вал	20 Н
Діапазон робочих температур	от -15°C до +120°C
Ступінь захисту	IP40
Вібраційне прискорення (от 55 до 2000 Гц)	100 м/с <sup>2</sup> (10Гц...2000Гц)
Ударне прискорення (t = 11 мс)	1000 м/с <sup>2</sup> (6 мс)
Момент старту ротора	≤ 0,01 Н·м
Маса, кг	0,17

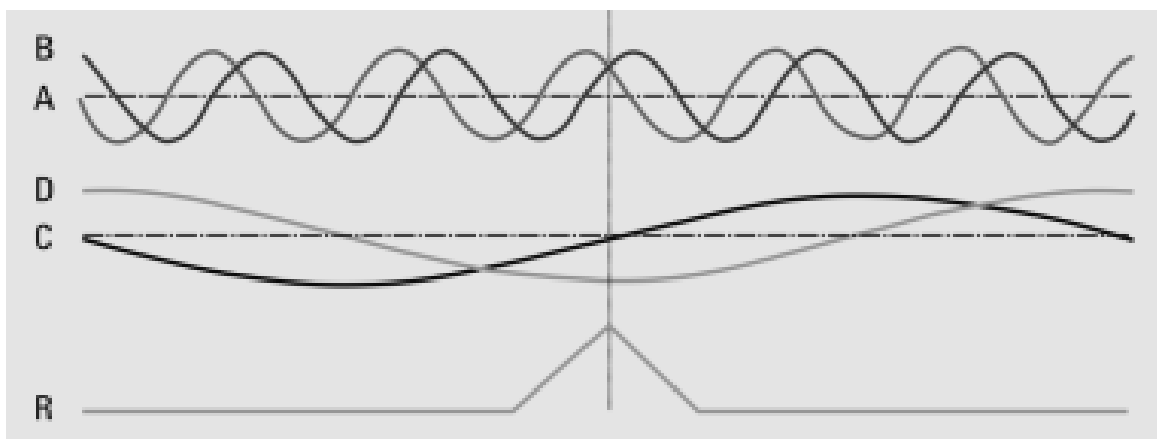


Рисунок 3.6 – Сигнали, що відображаються при обертанні направо з видом на кінець вала

Інкрементні сигнали А і В і нульовий сигнал R є диференціальними сигналами напруги. Рівень диференціального сигналу становить 1 Vpp. Нульовий сигнал з'являється один раз за оберт і досягає його максимальне значення під кутом, де амплітуди сигналів А і В рівні. Грубі доріжки С і D забезпечують один період синусоїди на оберт і використовуються для визначення абсолютного положення ротора безщіткових двигунів постійного струму для комутації при запуску. Всі сигнали мають зсув постійного струму 2,5 В.

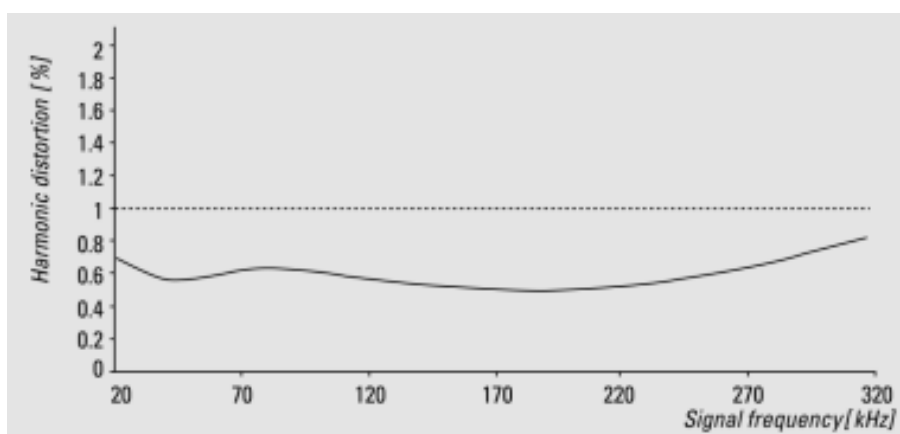


Рисунок 3.7 – Гармонійне спотворення від частоти

Якість сервоконтуру значною мірою визначається відсутністю гармонік у синусоїдальних сигналах енкодера, особливо на низькій швидкості. Щоб

досягти високого коефіцієнту інтерполяції в управлінні секвенуванням, додаткові синусоїдні сигнали А і В доступні з гармонійним спотворенням, значно меншим за 1% у всьому зазначеному діапазоні температурного діапазону. Це забезпечує відмінну синхронність і високий рівень позиціонування точності з сервоосями.

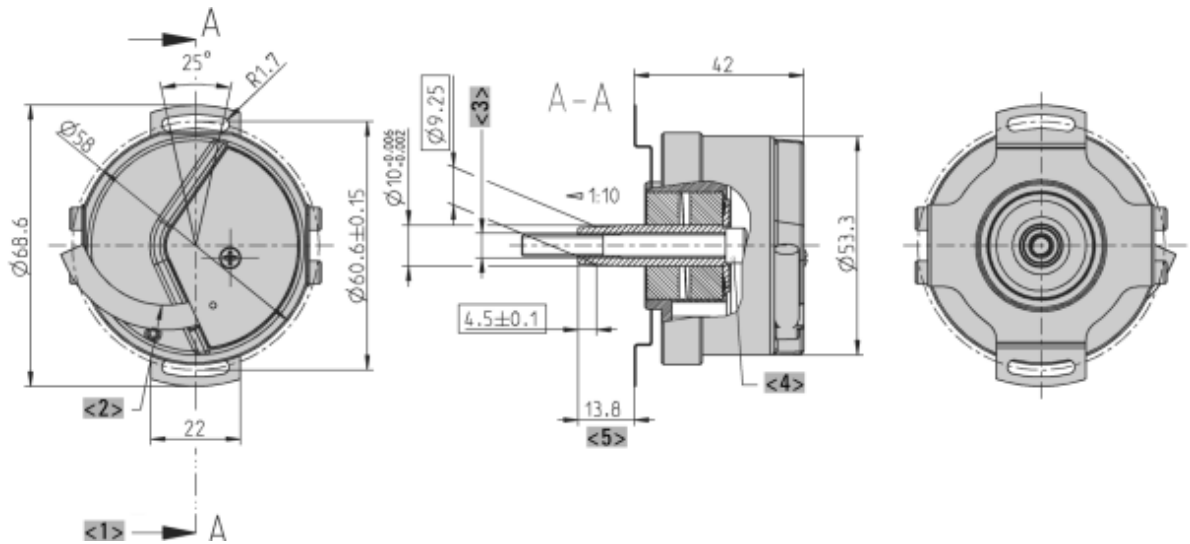


Рисунок 3.8 – Розмірне креслення

## 4 МЕТОДИКА ПРОВЕДЕННЯ ДОСЛІДІВ НА ТОЧНІСТЬ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

### 4.1 Загальна інформація

Коли йдеться про верстати або інші системи з числовим керуванням, не уникнути згадок таких понять, як точність позиціонування, роздільна здатність позиціонування, повторюваність позиціонування та повторюваність деталей.

Точність позиціонування верстата з числовим програмним керуванням (ЧПК) – це показник позиційної точності, яка досягається шляхом переміщення кожної осі координат машини під впливом цифрової системи керування. Інакше кажучи, це точність руху механізму.

Точність позиціонування осі - узагальнена величина, що показує, у яких межах може бути реальна координата осі після завершення позиціонування. Коли говорять "точність верстата", мають на увазі зазвичай саме точність позиціонування. Точність залежить від повторюваності, але включає у собі як величину "розсіювання" помилки позиціонування, а й її середнє значення, тобто, є універсальною характеристикою. Точність показує, наскільки велика можлива помилка позиціонування осі.

Точність позиціонування демонструє, наскільки значною може бути помилка позиціонування по осі, та в якому діапазоні може бути координата, встановлена оператором.

Точність є основною характеристикою верстата з точки зору позиціонування робочого інструменту, і залежить від великої кількості факторів, серед основних - люфти напрямних і передач, не співвісність напрямних осей та їх не перпендикулярність.

Існує кілька способів визначення точності позиціонування:

- лінійний метод – цей метод застосовується в умовах відсутності навантаження на машину. Згідно з діючими стандартами, перевірка обладнання повинна ґрунтуватися на лазерних вимірах. За відсутності відповідної техніки

може бути застосована шкала з оптичним мікроскопом, що зчитує. Для відображення всіх помилок при множинні позиціонуванні визначається середня величина і різниця дисперсії на підставі даних 5 проведених вимірювань;

- визначення точності позиціонування при лінійному русі – цей метод ґрунтується на вимірі показників у 3 позиціях: у районі середини та по кінцях траєкторії кожного ходу осі координат. Процедура повторюється сім разів. Обчисливши половину величини найсуттєвішої різниці між показниками у трьох позиціях, можна визначити стійкість точності переміщення осі;

- зворотне виявлення помилок – чим більший цей показник, тим менша точність верстата. Положення зупинки машини приймається за точку відліку, після чого подається команда руху у тому напрямі. Потім аналогічні дії проводять у зворотний бік. Потрібно визначити відстань між початковим становищем та позицією зупинки. Вимірювання проводяться 7 разів на 3 точках: у середині і по кінцях ходу. Найбільша величина отриманих середніх значень це і є зворотна помилка.

Роздільна здатність позиціонування (дискретність) - величина, що показує, наскільки точно ви можете задати переміщення у системі ЧПК.

## 4.2 Обладнання та інструмент

Обладнання для проведення експерименту:

- токарний верстат з ЧПК АТТР800;
- система керування Sinumerik 802C BL;
- магнітна стійка;
- мікронний годинник (рис. 4.1).

### 4.3 Проведення замірів

Проведемо досліди виходу в «0» положення за віссю «X» та зафіксуємо дані, які знімемо з панелі MSTT та мікронного годинника. Уся суть замірів полягає у багаторазовому зануленню вісі «X» та відводу на якусь відстань, що дасть змогу зафіксувати ті чи інші відхилення за допомогою годинника.



Рисунок 4.1 – Мікронний годинник

Встановимо годинник до магнітної стійки (рис.4.2) для подальшого закріплення на нерухомій поверхні (рис.4.3) та налаштуємо «0» годинника (рис.4.4-4.5). Усі дані будемо заносити до таблиці 4.1.



Рисунок 4.2 – Магнітна стійка з годинником

Для виходу в «0» положення запишемо наступне G75X0Z0, а для зміни положення, тобто виїзду з «0» положення – G0G54X750Z150.

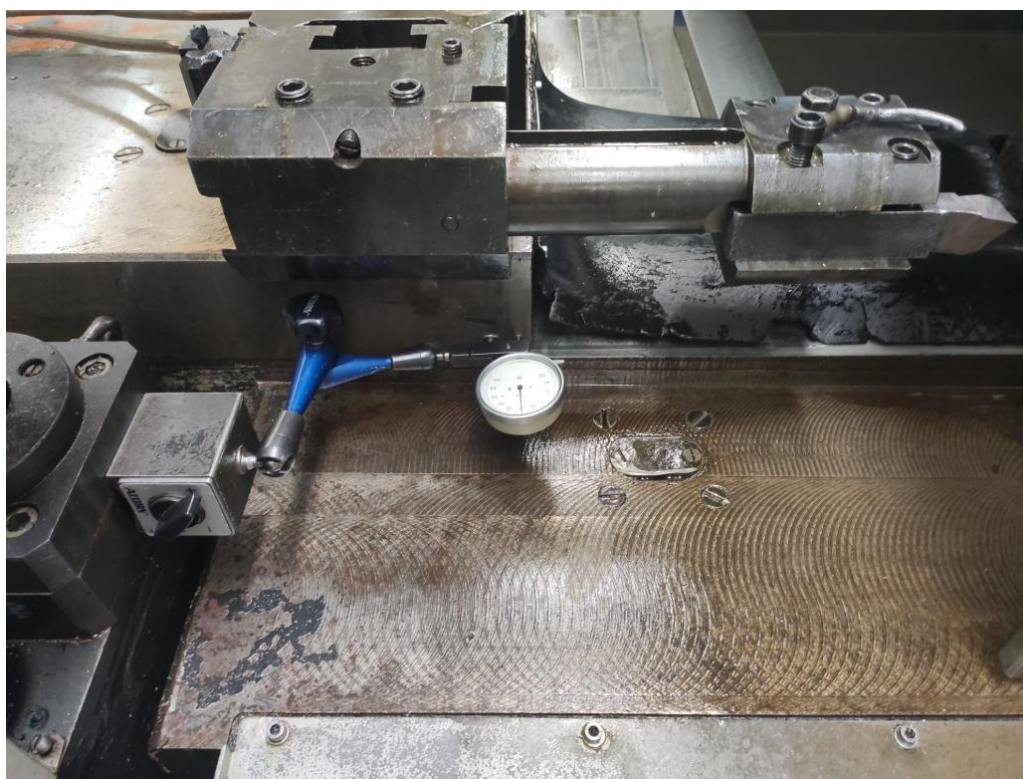


Рисунок 4.3 – Встановлення магнітної стійки для вимірів



Рисунок 4.4 – Налаштування «0» на годиннику

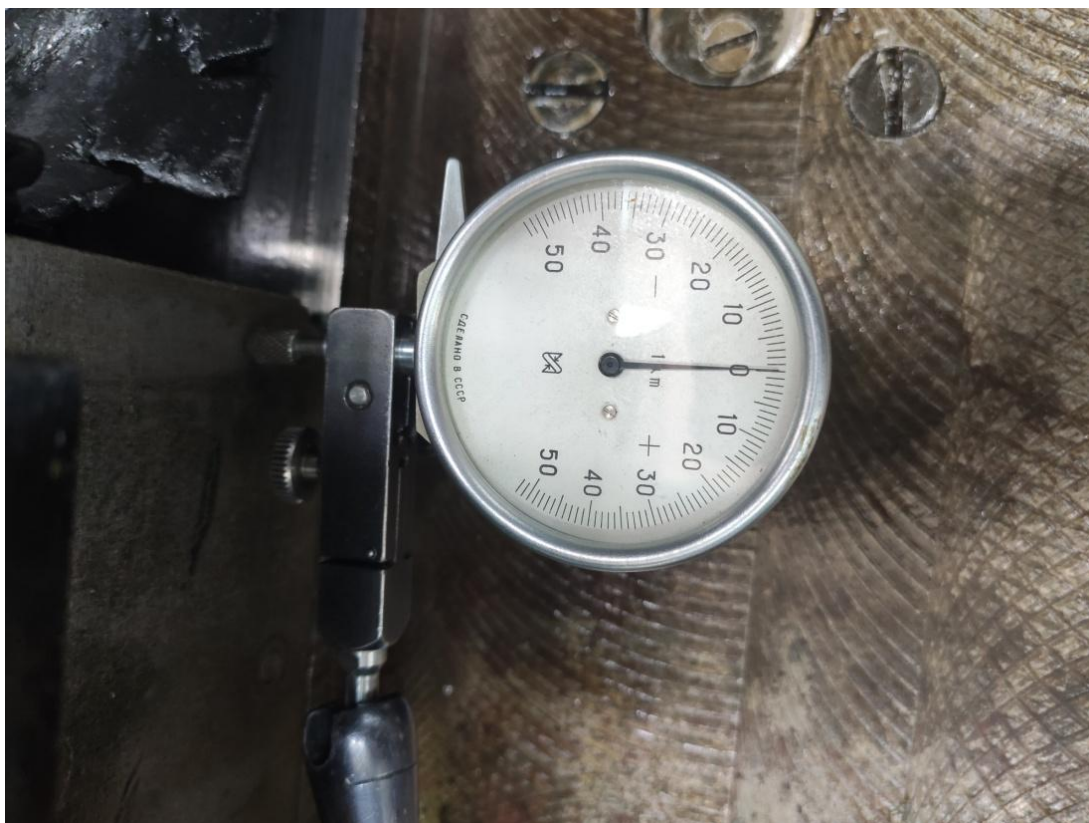


Рисунок 4.5 – Мікронний годинник у збільшеному вигляді

Таблиця 4.1 – Дослідні дані

№ досліду	Індикація ЧПУ прив'язка до обладнання	Індикація ЧПУ прив'язка до деталі	Фіксуємо дані з годинника
1	X=1095,5	X=580 Z=670	0
2	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
3	X=1095,5	X=580 Z=670	0
4	X=1095,5	X=580 Z=670	0
5	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
6	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
7	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
8	X=1095,5	X=580 Z=670	0
9	X=1095,5	X=580 Z=670	0
10	X=1095,5	X=580 Z=670	0
11	X=1095,5	X=580 Z=670	0
12	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.002
13	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
14	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
15	X=1095,5	X=580 Z=670	0
16	X=1095,5	X=580 Z=670	0
17	X=1095,5	X=580 Z=670	0
18	X=1095,5	X=580 Z=670	0
19	X=1095,5	X=580 Z=670	0
20	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.002
21	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.002
22	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
23	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
24	X=1095,5	X=580 Z=670	0

Продовження таблиці 4.1

№ досліджу	Індикація ЧПУ прив'язка до обладнання	Індикація ЧПУ прив'язка до деталі	Фіксуємо дані з годинника
25	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.002
26	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
27	X=1095,5	X=580 Z=670	0
28	X=1095,5	X=580 Z=670	0
29	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
30	X=1095,5	X=580 Z=670	0
31	X=1095,5	X=580 Z=670	0
32	X=1095,5	X=580 Z=670	0
33	X=1095,5	X=580 Z=670	0
34	X=1095,5	X=580 Z=670	0
35	X=1095,5	X=580 Z=670	0
36	X=1095,5	X=580 Z=670	0
37	X=1095,5	X=580 Z=670	0
38	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
39	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
40	X=1095,5	X=580 Z=670	0
41	X=1095,5	X=580 Z=670	0
42	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
43	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
44	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.002
45	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.002
46	X=1095,5	X=580 Z=670	0
47	X=1095,5	X=580 Z=670	0
48	X=1095,5	X=580 Z=670	0

Продовження таблиці 4.1

№ досліджу	Індикація ЧПУ прив'язка до обладнання	Індикація ЧПУ прив'язка до деталі	Фіксуємо дані з годинника
49	X=1095,5	X=580 Z=670	0
50	X=1095,5	X=580 Z=670	0
51	X=1095,5	X=580 Z=670	0
52	X=1095,5	X=580 Z=670	0
53	X=1095,5	X=580 Z=670	0
54	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.002
55	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.002
56	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.002
57	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
58	X=1095,5	X=580 Z=670	0
59	X=1095,5	X=580 Z=670	0
60	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
61	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.002
62	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
63	X=1095,5	X=580 Z=670	0
64	X=1095,5	X=580 Z=670	0
65	X=1095,5	X=580 Z=670	0
66	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
67	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
68	X=1095,5	X=580 Z=670	0
69	X=1095,5	X=580 Z=670	0
70	X=1095,5	X=580 Z=670	0
71	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.002
72	X=1095,5	X=580 Z=670	0

Кінець таблиці 4.1

№ досліду	Індикація ЧПУ прив'язка до обладнання	Індикація ЧПУ прив'язка до деталі	Фіксуємо дані з годинника
73	X=1095,5	X=580 Z=670	0
74	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
75	X=1095,5	X=580 Z=670	0



Рисунок 4.6 – Вихід в «0» з прив'язкою до деталі (панель MSTT)



Рисунок 4.7 – Вихід в «0» з прив'язкою до обладнання (панель MSTT)

Як ми бачимо з проведених дослідів, то ми не змогли вловити момент збою обладнання. Наша робота полягає в усуненні та контролю моментів помилкового виходу верстата у невірне положення, задля запобіганню виникнення браку деталей.

Тому робимо наступне, залишаємо магнітну стійку разом з годинником на тому ж місці, та при виникненні збою робимо досліди, щоб з'ясувати на скільки міліметрів є зсуви за віссю «Х».

Додатково встановлюємо ще одну магнітну стійку з годинником 0,01 мм, так як у попередніх випадках зсув становив від 0,2 до 0,35 мм (рис.4.8-4.9).



Рисунок 4.8 – Годинник 0.01 мм



Рисунок 4.9 – Закріплення годинникового індикатора

Через 3 тижні є виклик оператора, «брак деталі», проводимо досліді за тим самим принципом до з'ясування зсуву, який не відображається на MSTT. Усі дані заносимо до таблиці 4.2.

Таблиця 4.2 – Дослідні дані

№ досліді	Індикація ЧПУ прив'язка до обладнання	Індикація ЧПУ прив'язка до деталі	Фіксуємо дані з годинника
1	X=1095,5	X=580 Z=670	0
2	X=1095,5	X=580 Z=670	0
3	X=1095,5	X=580 Z=670	0
4	X=1095,5	X=580 Z=670	0
5	X=1095,5	X=580 Z=670	-0,001
6	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
7	X=1095,5	X=580 Z=670	-0.001
8	X=1095,5	X=580 Z=670	0
9	X=1095,5	X=580 Z=670	0
10	X=1095,5	X=580 Z=670	-0,002
11	X=1095,5	X=580 Z=670	0
12	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,248
13	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,248
14	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,248
15	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,250
16	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,250
17	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,250
18	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,248
19	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,248
20	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,248
21	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,248

Кінець таблиці 4.2

№ досліджу	Індикація ЧПУ прив'язка до обладнання	Індикація ЧПУ прив'язка до деталі	Фіксуємо дані з годинника
22	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,250
23	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,250
24	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,250
25	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,248
26	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,248
27	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,250
28	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,250
29	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,250
30	X=1095,5	X=580 Z=670	+0,250

Як видно з останніх дослідів, що зсув складає +0,248 мм. Зсув має великі значення, особливо коли йдеться про обробку деталі з допусками +/- 0,002 мм, але панель MSTT не відображає ці зсуви.

Тому, маючи досвід таких збоїв на верстаті АТПР800 було б доцільним встановити оптичну лінійку, як додаткове джерело контролю за переміщенням та виходом у нульове положення за віссю «Х».

Оптична лінійка не тільки дозволить контролювати переміщення за віссю, але й дасть змогу зменшити можливі люфти та контролювати неузгодженість на панелі оператора для уникнення браку деталей.

## 5 ОЦІНКА ТОЧНОСТІ ПОЗИЦІОНУВАННЯ

Точність – основний показник, що характеризує якість та технічний рівень металорізального обладнання. Геометрична та кінематична точність верстата характеризує точність переміщення його формоутворювальних вузлів без силових та теплових впливів. Ці характеристики пов'язані з точністю виготовлення та складання вузлів та пристроїв верстата, тобто з технологічними факторами. Високі вимоги до точності сучасних верстатів визначають суворі допуски на точність переміщення та положення робочих органів, що пов'язані з геометрією верстата, як його вихідною характеристикою.

Оцінку точності виконаємо за підсумками низки повторних випробувань та їхніми статистичними характеристиками.

Визначимо середнє арифметичне значення  $\bar{x}$  з усіх  $n$  випробувань за формулою 5.1:

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{n}, \quad (5.1)$$

де  $x$  – значення положення координати «X»,

$n$  – кількість випробувань ( $n=30$ ).

Визначимо середньоквадратичне відхилення (дисперсію) за формулою 5.2:

$$S^2 = \frac{1}{n-1} \cdot \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2, \quad (5.2)$$

Визначимо квадратичну помилку за формулою 5.3:

$$S = \sqrt{S^2}, \quad (5.3)$$

де  $S^2$  – дисперсія.

Визначимо коефіцієнт варіації, а саме, відносну величину, що служить для характеристики розсіяння (мінливості) за формулою 5.4 [5]:

$$Var = \frac{s}{\bar{x}}, \quad (5.4)$$

Усі розрахунки зведемо до таблиці 5.1 за допомогою пакету програм Microsoft Excel.

Таблиця 5.1 – Статистичні характеристики

1	2	3	4	5	6	7	8
1095,5	1095,65 7567	30	0,024827 254	0,000616393	0,000301749	0,017371	1,58543 E-05
1095,5			0,024827 254	0,000616393			
1095,5			0,024827 254	0,000616393			
1095,5			0,024827 254	0,000616393			
1095,499			0,025143 388	0,00063219			
1095,499			0,025143 388	0,00063219			
1095,499			0,025143 388	0,00063219			
1095,5			0,024827 254	0,000616393			
1095,5			0,024827 254	0,000616393			
1095,498			0,025461 521	0,000648289			
1095,5			0,024827 254	0,000616393			
1095,748			0,008178 188	6,68828E-05			
1095,748			0,008178 188	6,68828E-05			
1095,748			0,008178 188	6,68828E-05			

Кінець таблиці 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
1095,75			0,008543 921	7,29986E-05			
1095,75			0,025143 388	0,00063219			
1095,75			0,008543 921	7,29986E-05			
1095,748			0,008178 188	6,68828E-05			
1095,748			0,008178 188	6,68828E-05			
1095,748			0,008178 188	6,68828E-05			
1095,748			0,008178 188	6,68828E-05			
1095,75			0,008543 921	7,29986E-05			
1095,75			0,008543 921	7,29986E-05			
1095,75			0,008543 921	7,29986E-05			
1095,748			0,008178 188	6,68828E-05			
1095,748			0,008178 188	6,68828E-05			
1095,75			0,008543 921	7,29986E-05			
1095,75			0,008543 921	7,29986E-05			
1095,75			0,008543 921	7,29986E-05			
1095,75			0,008543 921	7,29986E-05			
1095,75			0,008543 921	7,29986E-05			

де 1 стовбець – значення положення координати з урахуванням похибки ( $x_i$ ), 2 – середнє арифметичне значення ( $\bar{x}$ ), 3 – кількість випробувань ( $n$ ), 4 – різниця між положенням координати та середнім арифметичним ( $x_i - \bar{x}$ ), 5 – квадрат різниці між положенням координати та середнім арифметичним ( $x_i - \bar{x}$ )<sup>2</sup>, 6 – дисперсія  $S^2$ , 7 – квадратична помилка  $S$ , 8 – коефіцієнт варіації  $Var$ .

Всі ці дані розраховані з урахуванням координати та похибки її виходу до зазначеної позиції. Якщо бути більш вірним, то нам потрібно урахувувати саму похибку у розрахунку коефіцієнта варіації. Для облегшення розрахунків використаємо пакет статистичного аналізу STATISTICA.

Statistica (торгова марка - STATISTICA) — пакет для всестороннього статистичного аналізу, розроблений компанією StatSoft. В пакеті STATISTICA реалізовані процедури для аналізу даних (data analysis), управління даними (data management), добування даних (data mining), візуалізації даних (data visualization).

Насамперед STATISTICA відрізняється зручністю інтерфейсу та оригінальними опціями налаштування. Інтерфейс можна налаштувати відповідно до Ваших завдань та потреб. Процес аналізу відбувається у інтерактивному режимі з поступовим відкриттям діалогових вікон. Перша вкладка завжди містить функції, що найчастіше використовуються, а інші вкладки включають вже спеціалізовані методи і функції. Тому зручно буде і початківцю та просунутому користувачеві[5].

У графічному блоці є набір інструментів візуалізації, графічного дизайну. У Вашому розпорядженні більше 10000 видів графіків для редагування, інтерактивних дій обертання, збільшення, керування прозорістю. Висока швидкість і точність обчислювальних дій – перевага STATISTICA. Всі обчислення відбуваються швидко, незважаючи на те, що програми масивні і регулярно відбуваються запити в бази даних. У програмі використовуються авторські технології покращення продуктивності. Всі продукти StatSoft розроблені із збереженням максимальної оптимізації під час роботи зі складними прогнозними моделями.

У програмах STATISTICA реалізовано можливість здійснювати розвідувальний аналіз даних, визначення кореляцій, побудову діаграм розсіювання, обчислення Т-критерій, створення таблиць частот, заголовків. В інтерактивному калькуляторі визначаються ймовірні розподіли. Програми призначені як для домашніх користувачів, так і для корпоративного

використання. ПЗ STATISTICA зручно використовувати для навчальних цілей у прикладних дослідженнях[10]. Вікно програмного забезпечення представлено на рисунках 5.1-5.2.

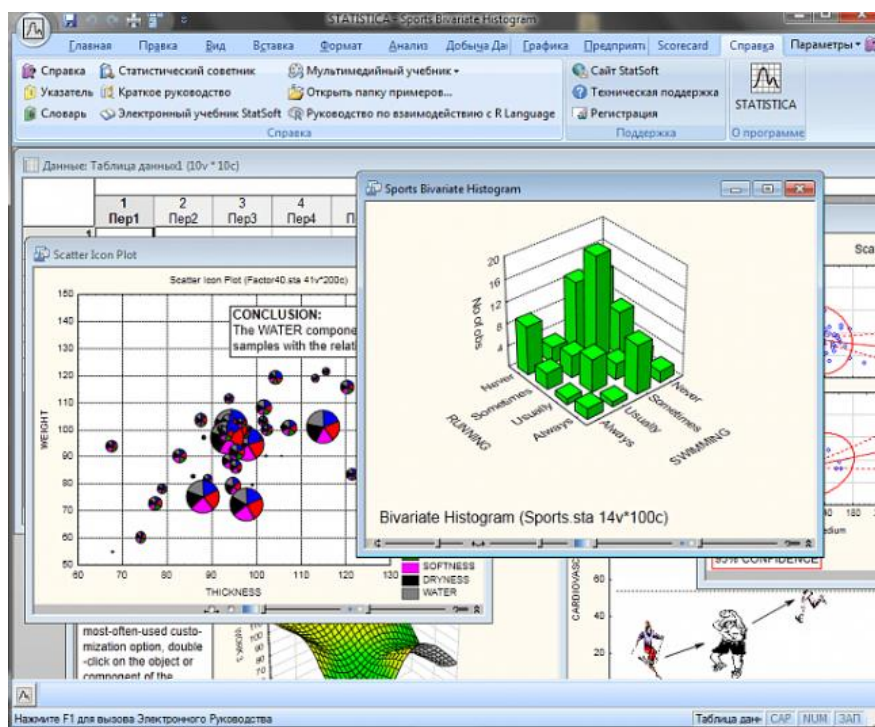


Рисунок 5.1 – Вікно програмного забезпечення Statistica

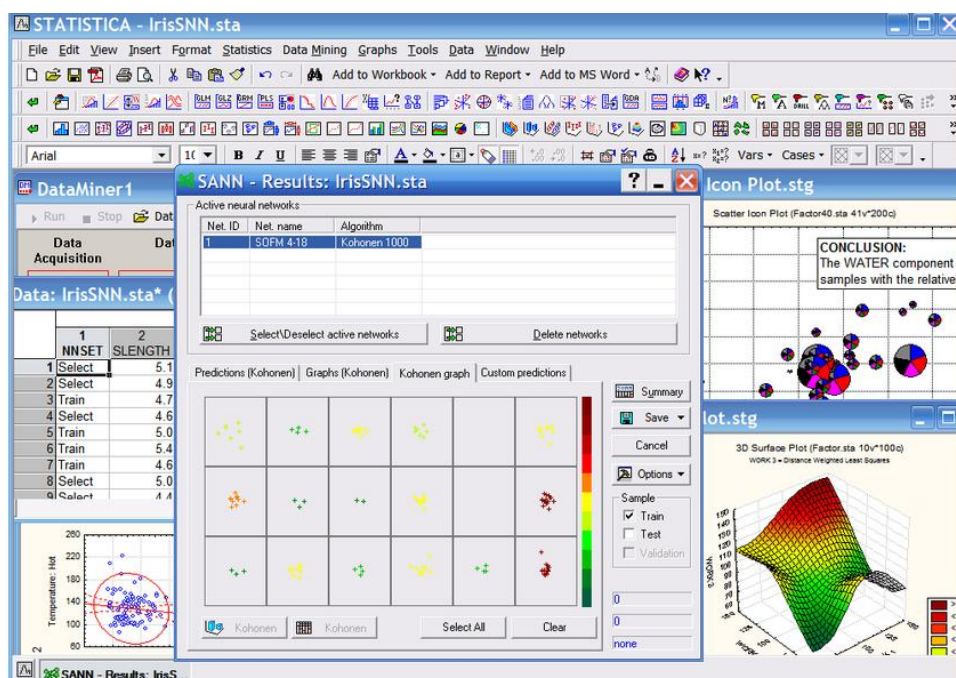


Рисунок 5.2 – Вікно програмного забезпечення Statistica

Користуючись даними таблиці 5.1 скористаємося програмним забезпеченням Statistica та зробимо огляд статистичних критеріїв, які занесемо до таблиці 5.2.

Таблиця 5.2 – Описова статистика результатів вимірювання

Variable	Descriptive Statistics (Spreadsheet12 in Accuracy)				
	Valid N	Mean	Confidence	Confidence	Geometric
D	30	0,014458	0,011418	0,017497	0,012495
	Harmonic	Median	Mode	Frequency	Minimum
	0,011064	0,008544	0,0085439	10	0,008178
	Maximum	Variance	Std.Dev.	Standard	
	0,025462	0,000066	0,008139	0,001486	

Побудуємо графік за таблицею 5.3, в якому ми можемо побачити, що є 2 фактори, які впливають на позицію координати виходу до «0» положення нашого обладнання АТПР800 за віссю «Х».

Таблиця 5.3 – Розрахунок критеріїв за Колмогоров-Смірнов

Variable: D, Distribution: Normal (Spreadsheet12 in Accuracy)				
Kolmogorov-Smirnov d = 0,27058, p < 0,05				
Chi-Square = 16,76015, df = 1 (adjusted) , p = 0,00004				
Observed	Cumulative	Percent	Cumul. %	Expected
19	19	63,33333	63,3333	10,88271
0	19	0,00000	63,3333	5,20762
0	19	0,00000	63,3333	5,00493
0	19	0,00000	63,3333	3,96790
11	30	36,66667	100,0000	4,93684
	Cumulative	Percent	Cumul. %	Observed-
19	10,88271	36,27571	36,2757	8,11729
0	16,09033	17,35874	53,6344	-5,20762
0	21,09527	16,68311	70,3176	-5,00493
0	25,06316	13,22632	83,5439	-3,96790
11	30,00000	16,45612	100,0000	6,06316

Також ми бачимо, що з 30 експериментальних даних до першого фактору, який впливає на систему відноситься 11 експериментальних значень, а до другого фактору – 19 значень. Все це можемо побачити на рис.5.3 з наших розрахованих даних.

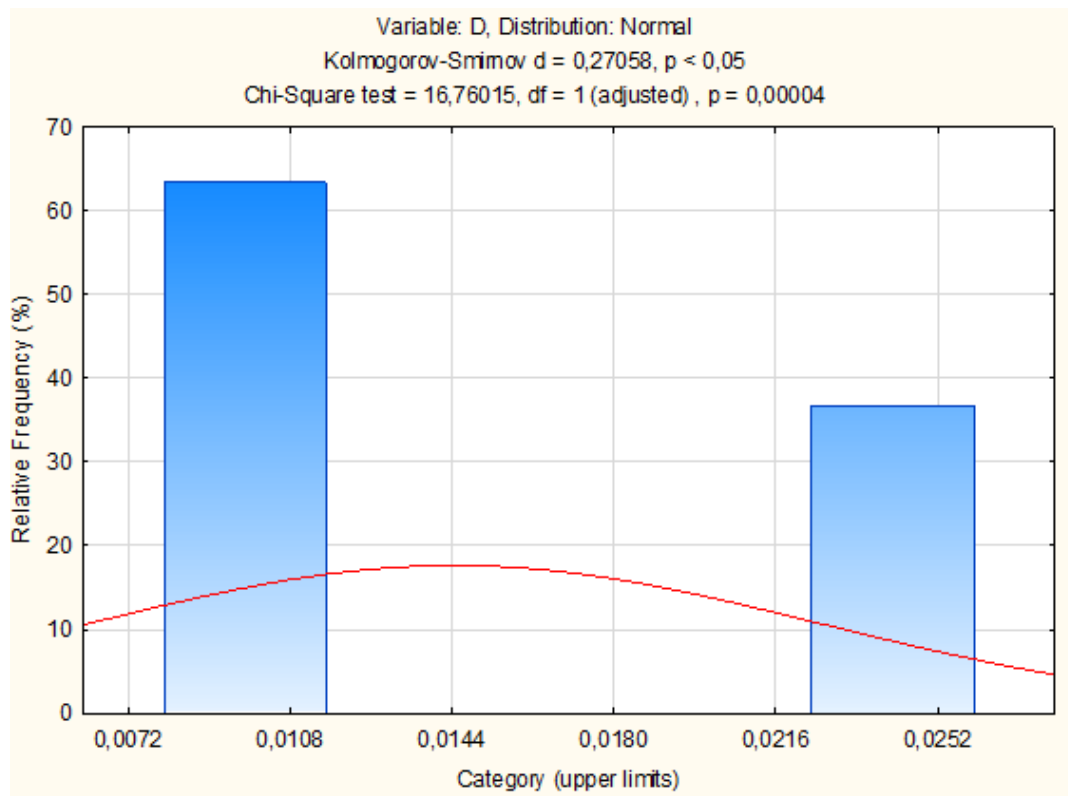


Рисунок 5.3 – Графік розподілу похибок

За даними графіку, робимо висновок, що на точність позиціонування верстата впливає декілька факторів, які непов'язані один з одним та мають значний вплив. Тому слід розглянути всі можливі фактори які можуть впливати на точність позиціонування, та визначити можливості їх усунення.

## 6 ФАКТОРИ, ЯКІ МОЖУТЬ ВПЛИВАТИ НА ТОЧНІСТЬ ВЕРСТАТУ

Як говорилося вище, необхідно визначити фактори, що найбільше впливають на точність позиціонування верстату, та розглянути можливі заходи по їх усуненню.

### 6.1 Вібрації

Цех розташований неподалік кузні, в якому присутні багатотонні преси, які дають вібрацію. Тому для усунення вібрації, як своєї так і сторонньої, верстат був встановлений на фундамент.

Машини при порівняно невеликій опорній поверхні станини мають зазвичай велику масу. Для того щоб машина не грузла в ґрунті, стояла рівно і міцно в процесі експлуатації, її спирають на тверду жорстку основу, влаштовують спеціальні опорні майданчики - фундаменти. Допускається встановлювати обладнання на бетонні подушки підлог і міжповерхові перекриття.

Фундаменти під обладнання повинні бути міцними, стійкими і довговічними. При їх проектуванні складають розрахункові схеми, що визначають величини і координати точок прикладання, що діють на них сил, потім встановлюють розміри фундаментів, після чого роблять їх перевіірочні розрахунки.

Конструкції фундаментів виготовляють за кресленнями, в яких містяться дані про матеріал, місці розташування фундаментів, проектні висотні відмітки. Опорна поверхня фундаменту повинна бути значно більше опорної поверхні обладнання, щоб забезпечувати їх стійке положення. Крім статичних

навантажень, фундамент сприймає і гасить невеликі коливання, що виникають під час роботи обладнання, тобто відчуває і динамічні навантаження. Це має особливе значення для обладнання, яке працює з великими ударними навантаженнями. Коливання гасяться за рахунок маси фундаменту, яка в кілька разів перевищує масу обладнання.

Вібрації всередині машини виникають через невірноваженості її обертових елементів (роторів, шківів ремінних передач, ріжучого інструменту і ін.) І при зворотньо-поступовому русі частин машин в момент зміни напрямку руху під дією сил інерції. Іноді вони можуть бути наслідком робочих навантажень (сил різання), невірноваженості оброблюваних заготовок (при обертальному русі, ударних навантаженнях і т. д.).

Вібрації негативно впливають на довговічність роботи машини. Вони поширюються через фундамент і ґрунт, впливають на сусідні машини, на конструкції будівель, викликаючи руйнування в них.

Головним чинником, що сприяє зменшенню інтенсивності вібрацій, є маса фундаменту: чим вона більше, тим менше амплітуди вібрації від виникаючих сил. Тому маса фундаментів під машини, при роботі яких виникають великі інерційні сили і сили від інших факторів, досягає іноді 100т і більше.

Фундаменти дуже різноманітні, як і обладнання, для якого вони призначені. За конструкцією їх поділяють на монолітні, блокові, каркасні, пальові, брускові; за формою - на стрічкові, прямокутні, ступінчасті, трапецієподібні, фасонні. Фундаменти можуть бути наземними, підземно-наземними, підземними та розміщуватися на міжповерхових перекриттях виробничих будівель.

Для спорудження фундаментів застосовують бетон, бутобетон, залізобетон, цеглу і дерево. На цегельні фундаменти встановлюють легке обладнання масою не більше 4т; цегляна кладка дозволяється тільки для фундаментів, що знаходяться вище рівня ґрунтових вод. Висота таких

фундаментів повинна бути не менше 0,5м. Силікатну цеглу для кладки застосовувати не можна.

Групові фундаменти являють собою єдине полотно товщиною 150 ... 250 мм під кілька одиниць обладнання (групу) і служать, як правило, тільки підставою для верстатів. В якості єдиного полотна використовують бетонні підлоги або підлоги іншої конструкції. На групові фундаменти встановлюють легкі і середні верстати нормальної точності, що працюють в спокійних режимах з переважаючими статичними навантаженнями і мають досить жорсткі станини (станина вважається жорсткою, якщо відношення її довжини до висоти не перевищує 2:1).

Індивідуальні фундаменти споруджують для точного середнього і важкого устаткування, що працює з помірними і підвищеними динамічними навантаженнями. Призначення індивідуальних фундаментів, крім забезпечення правильного положення обладнання та вібростійкості, ізоляція обладнання одне від іншого, щоб уникнути передачі вібрації через ґрунт, а також підвищення жорсткості станин.

Фундаменти машин і механізмів великих агрегатів роблять масивними, по можливості без швів в тих місцях, де буде встановлено обладнання. Окремі залізобетонні масиви, поділяють усадкових швами, наприклад, при спорудженні фундаментів прокатних станів, папероробних машин.

Укладання бетону в фундамент із застосуванням механічних вібраторів виконують не пізніше 1,5 години після його приготування. Глухі фундаментні болти встановлюють за допомогою кондукторів з отворами в них для болтів (діаметри отворів роблять більше діаметра фундаментного болта на 1 ... 2мм). Кондуктори з підвішеними болтами розкріплюють в опалубці перед бетонуванням фундаменту, вивіряють в плані і по висоті за допомогою геодезичних приладів. Такий спосіб установки болтів забезпечує зручність і точність їх розташування, незмінне їх положення при бетонуванні.

Для анкерних болтів в фундаменті роблять колодязі, влаштовуючи до бетонування опалубку або закладаючи дерев'яні пробки з урахуванням

проектних розмірів болтів і місць їх розташування. Після бетонування фундаменту і схоплювання бетону проба видаляють.

Великі і важкі фундаменти під встановленим обладнанням здатні протягом тривалого часу давати осадку, що досягає до 50мм і більше. Тому після закінчення виготовлення фундаменту необхідно вести спостереження за його осадкою при вивірці обладнання по реперам враховувати можливі відхилення в висотних відмітках.

Розміри фундаменту визначаються габаритними розмірами обладнання та його розміщенням, а глибина - довжиною фундаментних болтів, що кріплять обладнання, розташуванням каналів тунелів, масою встановлюваної на нього машини, інтенсивністю коливань, що викликаються її роботою, а також ґрунтовими умовами.

При пухкому ґрунті розміри фундаменту повинні бути значно більше, ніж при скельному і у всіх випадках відповідати кресленням і вимогам технічних умов на спорудження фундаменту. Фундаменти, на які обладнання встановлюється з подальшою підливою розчину (повинно бути вказано в кресленнях), здаються під монтаж забетонованими на 50 ... 60 мм нижче проектної позначки опорної поверхні обладнання, а в місцях розташування ребер жорсткості на підставі обладнання - на 50 .. .60 мм нижче позначки цих ребер. У разі встановлення обладнання без підливи фундаменти споруджують на повну проектну відмітку.

При використанні в якості фундаментів під обладнання сталевих конструкцій і залізобетонних елементів на них поширюються всі вимоги, що пред'являються до фундаментів.

Також під час проектування фундаменту необхідно врахувати вплив агресивних речовин, таких як: мастила, масло, ЗОР (змащуюча охолоджуюча рідина) та інші субстанції, які здатні руйнувати фундамент.

## 6.2 Код Грея

Датчики кутових переміщень змінюють механічні кутові переміщення в електричні сигнали. Датчики кутових переміщень знаходять широке застосування в вимірах кутових швидкостей, кутів, лінійних переміщень. Датчики кутових переміщень діляться на два види: інкрементальні датчики і датчики абсолютного положення.

Інкрементальні датчики створюють інформацію щодо стану і кута об'єкта у вигляді електричних імпульсів, які відповідають положенню вала. Коли вал нерухомий, передача імпульсів припиняється. Інкрементальні датчики переміщення мають основний робочий параметр - кількість імпульсів на обертання.

Інкрементальні датчики виробляють сигнал при зміні кутового положення вала відносно вихідного стану. Вихідний сигнал являє собою послідовність імпульсів прямокутної (рідше синусоїдальної) форми. Кількість імпульсів пропорційна зміні кутового положення вала і може сягати 5000 на один оборот. Кількість імпульсів на оборот називають також числом розбиття на оберт. Сигнали синусоїдальної форми дозволяють здійснювати їх інтерполяцію, що дозволяє забезпечити високу роздільну здатність датчика (до 36000 імпульсів на оберт). Зазвичай інкрементальні датчики виконуються дво- або трьохканальними. На двох виходах таких датчиків формуються послідовності імпульсів А і В, зсунутих по фазі на  $90^\circ$ , що дозволяє зовнішнім пристроям визначити напрямок обертання. На третьому виході формується нульовий імпульс, який видається один раз на оберт і служить для прив'язки до певного (вихідного) стану машини.

Датчики абсолютного положення на виході забезпечують інформацію про абсолютне кутовому положенні вала. Їх перевага полягає в тому, що ці датчики переміщення безпосередньо видають інформацію про поточне значення кута і його не потрібно обчислювати. Датчики кутових переміщень і лінійних

застосовуються для: визначення розмірів, форм і габаритів об'єкта, визначення наявності місця розташування і відстані до об'єктів, вимірювання швидкості обертання, підрахунку кількості об'єктів.

Датчики абсолютного положення забезпечують на виході інформацію про абсолютне кутове положенні вала. Перевага датчиків абсолютного положення полягає в тому, що вони безпосередньо видають інформацію про поточне значення кута і не потрібно обчислювати його. При зміні кутового положення вала в знеструмленому стані датчика нове положення може бути лічено безпосередньо відразу після включення живлення. Вихідний сигнал являє собою числовий еквівалент поточного значення кута. Число може бути представлено в двійковому коді або коді Грея.

Розрядність коду, або дозвіл датчика може досягати 14 біт. Існує 2 типу датчиків абсолютних кутів: одне - і багатооборотні. Багатооборотні датчики виробляють інформацію не тільки про поточне значення кута, але і про кількість обертів. Дозвіл таких датчиків по куту досягає 13 біт, число обертів - до 4096 (12 біт).

Енкодери є датчики кутових переміщень - вони перетворюють механічні кутові переміщення в електричні сигнали. Енкодери знаходять широке застосування для вимірювання кутових швидкостей, кутів, лінійних переміщень. Природно, для вимірювання лінійного переміщення його необхідно перетворити в обертальний.

Енкодери випускаються із суцільним і порожнистим валом. Енкодери з порожнистим валом дозволяють більш просту їх механічну стикування з приводом з меншою кількістю деталей. Тому, незважаючи на дещо вищу вартість, застосування енкодерів з порожнистим валом дозволяє в цілому зменшити витрати.

Код Грея — одна із систем кодування інформації, в якій два послідовні коди відрізняються значенням лише одного біта.

Використання кодів Грея засновано насамперед на тому, що він мінімізує ефект помилок при перетворенні аналогових сигналів у цифрові (наприклад, у багатьох видах датчиків).

Коди Грея часто застосовуються в датчиках-енкодерах. Їх використання зручно тим, що два сусідніх значення шкали сигналу відрізняються лише в одному розряді. Круговий енкодер з трибітним кодом Грея представлено на рисунку 6.1.

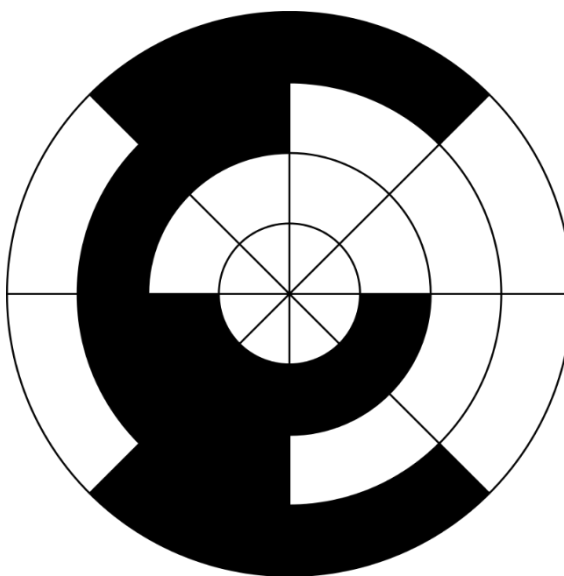


Рисунок 6.1 – Круговий енкодер з трибітним кодом Грея

Код Грея називається циклічним.

На рис. 6.2 наведені таблиця із записом чисел від 0 до 15 в чотири розрядному, двійковому натуральному коді та коді Грея, а також побудовані у повній відповідності до нього лінійні кодові маски. При цьому нулям в КК (кодова комбінація) відповідають темні, а одиницям - світлі ділянки маски. Елементи зчитування розташовуються впоперек кодових доріжок лінійної шкали. Наведена таблиця і кодуєчі маски дають змогу виділити такі характерні особливості коду Грея:

- кожна наступна КК завжди відрізняється від попередньої лише в одному розряді;

- змінюються значення розрядів коду при переході від одної КК до іншої рідше, ніж в натуральному двійковому коді. Це дає змогу забезпечити вищу точність кодування переміщення без зниження швидкодії;

- в коді Грея можна виділити осі симетрії, відносно яких спостерігається ідентичність елементів у деяких розрядах КК, наприклад, симетрія відносно осі між числами 7 і 8. Саме тому код Грея називається рефлексним[15].

У двійкових кодових шкалах при зміні цифр лише в одному молодшому розряді значення методичної похибки в АЦП переміщення знаходиться в межах кроку квантування, а при зміні цифр у великій кількості розрядів значення похибки може виявитися значно більшим і досягти максимального значення перетворюваного просторового переміщення. Наприклад, при переході від положення, кодованого двійковим числом 0111 (таблиця 6.1), до положення 1000, повинні одночасно змінитися значення цифр у всіх розрядах.

Таблиця 6.1 – Таблиця і маска двійкового коду та коду Грея

10-й код	2-й код	код Грея	$X_3$ $2^3$	$X_2$ $2^2$	$X_1$ $2^1$	$X_0$ $2^0$	$Y_3$ $2^3$	$Y_2$ $2^2$	$Y_1$ $2^1$	$Y_0$ $2^0$
0	0000	0000	█	█	█	█	█	█	█	█
1	0001	0001	█	█	█	□	█	█	█	□
2	0010	0011	█	█	□	█	█	█	□	█
3	0011	0010	█	█	□	□	█	█	□	█
4	0100	0110	█	□	█	█	█	□	█	█
5	0101	0111	█	□	█	□	█	□	█	█
6	0110	0101	█	□	□	█	█	█	█	□
7	0111	0100	█	□	□	□	█	█	█	█
8	1000	1100	□	█	█	█	□	□	█	█
9	1001	1101	□	█	█	□	□	□	█	□
10	1010	1111	□	█	□	█	□	□	□	█
11	1011	1110	□	█	□	□	□	□	□	█

Кінець таблиці 6.1

12	1100	1010								
13	1101	1011								
14	1110	1001								
15	1111	1000								

Якщо ж умова одночасності зміни порушується, то на границі розділу чисел 7 (0111) і 8 (1000) можуть виникнути будь-які КК:

- 0000 - цифри перших 3-х розрядів змінилися, а цифра 4-го старшого розряду затрималась;
- 0001 – цифри 2-го і 3-го розрядів змінилися, а 1-го і 4-го затримались;
- 1111 – цифра 4-го розряду змінилася, а 1-го, 2-го і 3-го затримались.

Можливість появи настільки великих похибок при зчитуванні результатів перетворення є суттєвим недоліком двійкових шкал, що виключає їх використання в чистому вигляді. Для усунення похибки зчитування застосовуються різні методи, серед яких найвідомішим є метод двійкової щітки. Однак реалізація цих методів призводить до значного ускладнення маски і схеми в зв'язку із збільшенням кількості доріжок маски і елементів зчитування.

У випадку використання коду Грея при зчитуванні не може одночасно змінитися декілька цифр і тому похибка від невизначеності зчитування на границях квантування не перевищує кроку квантування.

Однак недоліком коду Грея порівняно з двійковим кодом є його неваженість. Тому при необхідності арифметичних дій над результатами перетворення переміщення в код потрібне додаткове перетворення коду Грея в двійковий[14].

### 6.3 Зношування КГП (кульково-гвинтової передачі)

Кулькова гвинтова передача – найпоширеніша серед різновидів передач гвинт-гайка і є гвинтовою парою з проміжними тілами кочення. Функціонально кулькова-гвинтова передача служить для перетворення обертального руху в зворотньо-поступовий і навпаки, при цьому володіє всіма основними технічними перевагами передачі гвинт-гайка ковзання, і не має її головних недоліків, таких як підвищене тертя, швидке зношування, низький ККД.

Конструкція кулькової гвинтової передачі досить проста. Цей вузол складається з гвинта, яким переміщається гайка з гвинтовими канавками. Ці поглиблення виконують роль доріжок кочення для кульок, поміщених у простір між витками двох різьбових з'єднань. У цій системі кульки переміщуються нескінченною траєкторією – пробігши гвинтовими канавками до кінця і змістивши гайку, вони потрапляють в особливий перепускний канал, що повертає їх у вихідне положення (рис. 6.2) [16]. Для влаштування перепускних каналів вузол постачають вкладишами, що монтуються в отвори на гайці. Існують і багатозахідні вузли зі спеціальним різьбленням, для яких потрібні гайки з особливим виконанням.

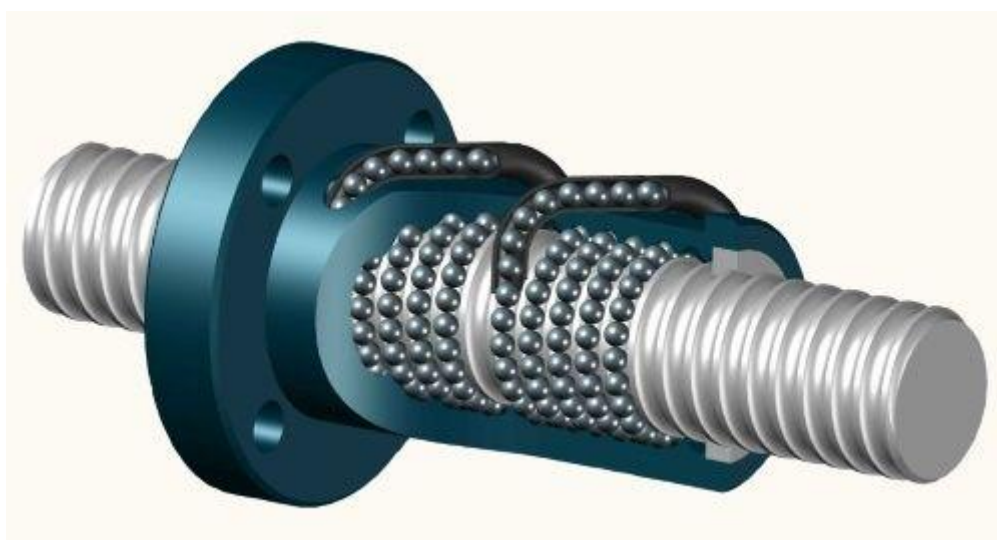


Рисунок 6.2 – Кулькова гвинтова передача

Виробники випускають КГП з різною кількістю робочих витків, найчастіше від 1 до 6. Рідше зустрічаються деталі з більшим їх числом - їх використовують в устаткуванні, що працює з великими навантаженнями, наприклад потужними металообробними верстатами. По конструктивним особливостям також відрізняють передачі двох типів: із зазором та з натягом. Для виготовлення КГП використовують катання чи шліфування. У першому випадку деталь роблять методом прокату, а в другому – використовуючи складне, багаторівневе шліфування заготовки [17]. Серед важливих особливостей гвинтових передач кочення варто відзначити такі:

- здатність передавати великі навантаження за скромних габаритів;
- низькі втрати енергії на тертя;
- плавний хід та відсутність ударів;
- безшумність;
- відмінні швидкісні характеристики;
- висока точність передачі руху.

Зрозуміло, мають кулькові гвинтові передачі ряд недоліків. Найбільш серйозним з них можна вважати складність пристрою гайки, що впливає на надійність вузла та його вартість. Також конструктори відносять до мінусів обмежену довжину гвинтової частини, яка не може бути збільшена нескінченно через те, що на кожен одиницю довжини деталі відбувається накопичення похибки. Швидкість передачі також може бути збільшена вище певної межі, оскільки чим швидше відбувається переміщення, тим більше вібрації у вузлі.

Найчастіше страждають доріжки, які стираються та зминаються, після чого ефективність вузла падає аж до повної його відмови.

Щоб продовжити термін служби гвинтових передач використовуються різні способи. Насамперед, багато проблем КГП покликане вирішити правильно підібране мастило, яке знижує коефіцієнт тертя і захищає робочі поверхні передачі від забруднень і дії вологи.

Також часто використовують і конструктивні елементи, що закривають деталь від зовнішніх впливів. Останніми роками, щоб продовжити термін

служби КГП, виробники застосовують фізико-хімічні методи. Найчастіше застосовують спеціальні покриття, що збільшують міцність зовнішнього шару елементів передачі чи обробку поверхонь: азотування, вплив СВЧ тощо.

Зношування кульково – гвинтової передачі впливає на координати як виходу до вихідного, так і на координати верстату при обробці деталі. У нашому випадку є проблеми саме з виходом у вихідне, тому ми можемо припустити, що є зношування КГП. Зношування гвинта, а саме ширини кроку, призводить до підвищення люфтів у КГП (рис. 6.3). Якщо гвинтова канавка розіб'ється, то кульки будуть люфтити, тим самим впливати на положення координати.

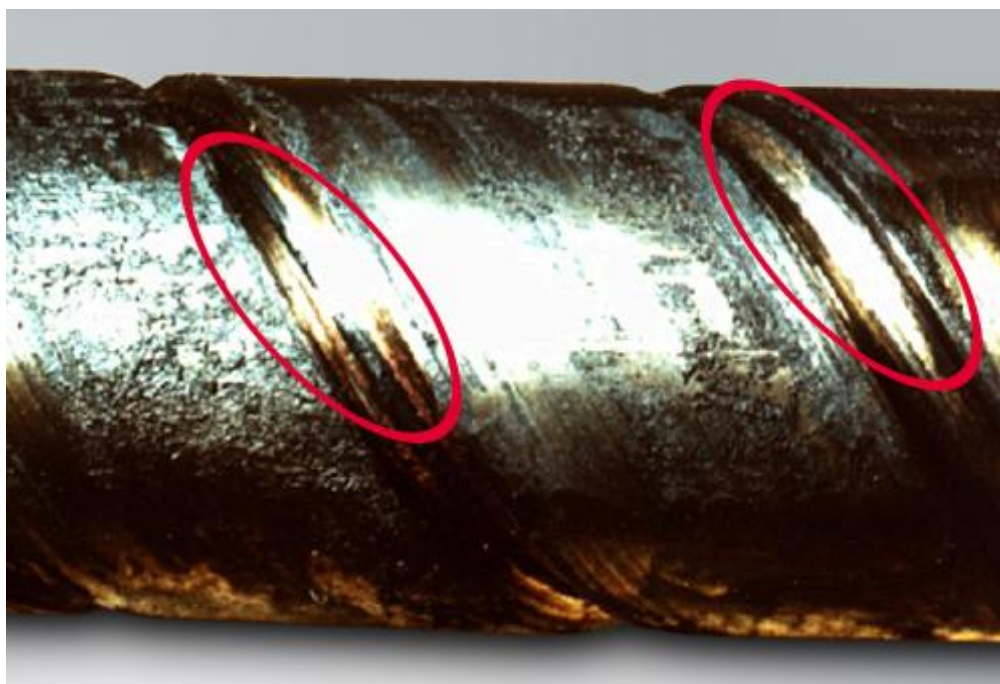


Рисунок 6.3 – Зношення валу КГП

Точність позиціонування кулькової гвинтової передачі визначається точністю кроку (допустимим відхиленням ходу), осьовим зазором в передачі, осьовою жорсткістю ходового гвинта та тепловими зсувами від нагріву гвинта. Точність кроку визначається класом точності гвинтової передачі. Європейські виробники кулькових гвинтових передач користуються стандартом на класи точності ISO 3408 та DIN 65051, японські – стандартом JIS B 1191 та JIS B

1192. Стандарт ISO передбачає 5 класів точності КГП: 3 класи для прецизійних передач – IT1, IT3, IT5, та 2 класи для передач транспортної групи – T5 та T7. Японський стандарт передбачає 5 класів прецизійних передач – C0, C1, C2, C3, C5 та 3 класи транспортних передач – C7, C8, C10. Допуски кроку на класи C3 та C5 за стандартом JIS відповідають допускам на класи IT3 та IT5 відповідно за стандартом ISO.

Наявність осьового зазору в гвинтовій передачі безпосередньо не впливає на точність позиціонування, але в разі зміни напрямку руху чи зміни напрямку дії сили різання, буде мати місце "мертвий" хід, точність встановлення робочого органу в визначену позицію буде знижуватися.

## 7 ОГЛЯД ТА ХАРАКТЕРИСТИКА ЛІНІЙНИХ ВИМІРЮВАЛЬНИХ СИСТЕМ

Для реєстрації положення у приводах подач робочих органів, що рухаються прямолінійно, застосовують лінійні вимірювальні системи. Однією з провідних у світі в галузі розробки та виробництва прецизійних вимірювальних систем та систем ЧПК є німецька компанія HEIDENHAIN, яка має представництва у 50 країнах світу.

Однією з основних складових вимірювальних приладів фірми HEIDENHAIN є прецизійні шкали з розподілами, переважно у вигляді штрихової сітки, період якої становить від 0,25 до 10 мкм (рис.7.1). Поділки наносяться спеціальним методом, розробленим фірмою HEIDENHAIN (наприклад, DIADUR або METALLUR), та є вирішальним чинником кінцевої точності вимірювальних приладів. Поділки складаються зі штрихів та зазорів, відстані між якими мають лише невеликі відхилення один від одного, а профіль яких має дуже рівні та чіткі краї. Вони стійкі до механічних та хімічних впливів, а також нечутливі до навантаження, вібрацій та поштовхів, крім того вони мають відомі термічні властивості.

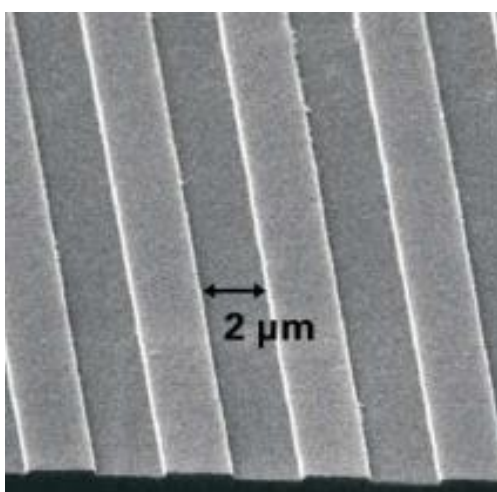


Рисунок 7.1 – Прецизійна шкала з висотою тримірної решітки близько 0,25 мкм

Розглянемо методи виконання прецизійної шкали та занесемо їх до таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Методи виконання прецизійних шкал

Метод	Опис методу
DIADUR	виготовляються шляхом нанесення дуже тонкого шару хрому на носій, в більшості випадків – це скло або склокераміка, причому точність поділів лежить в межах мікрометрів або вище
AURODUR	складається з рефлектуючих золотих штрихів та витравлених матових зазорів. Ділення типу AURODUR наносяться найчастіше на носії зі сталі
METALLUR	мають практично гладку поверхню завдяки особливій оптичній структурі із рефлектуючих золотих шарів. Завдяки цьому вони нечутливі до забруднень
Ділення з фазовою решіткою	за допомогою спеціальних виробничих процесів виготовляються тривимірні решітки, що мають особливі властивості. Ширина їх поділів лежить в межах від кількох мікрометрів до чверті мікрметра
SUPRADUR	зовні виглядають так як і тривимірні фазові решітки, але у них гладка поверхня і тому вони нечутливі до забруднень
MAGNODUR	як носій шкали використовується магнетизований сплав сталі. Спеціальною записуючою голівкою на нього наносяться сильні магнітні поля протилежної полярності. Таким чином, виходять штрихи позитивної та негативної полярності з періодом близько 400 мкм

Ділення типу DIADUR та AURODUR представлені на рисунку 7.2 на різних носіях.

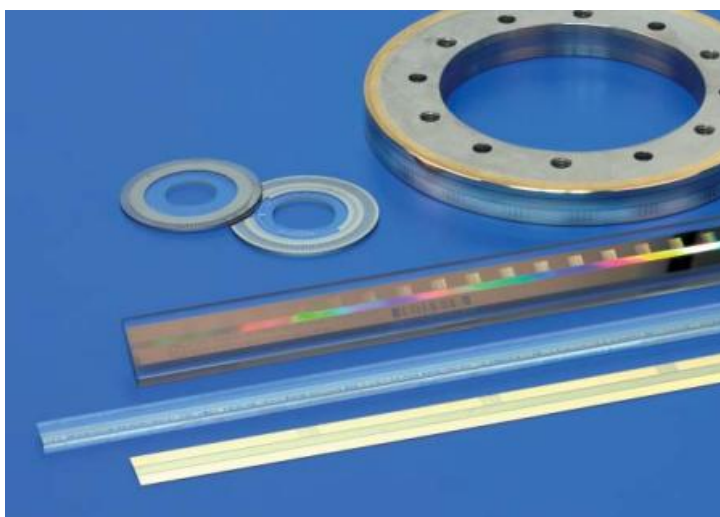


Рисунок 7.2 – Ділення типу DIADUR та AURODUR на різних носіях

Розглянемо датчики для виміру довжини та занесемо їх до таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Датчики виміру довжини

Найменування	Опис та параметри	
Тип датчику	закритий (рис.7.3)	відкритий (рис.7.4)
Використання	закриті датчики лінійних переміщень захищені від пилу, стружки та бризок і призначені для застосування на металообробних верстатах	відкриті датчики лінійних переміщень працюють без механічного контакту між головкою, що зчитує, і шкалою або вимірювальною стрічкою зі шкалою. Типовими областями застосування цих пристроїв є вимірювальні установки, компаратори та інші прецизійні пристрої, такі як виробниче та вимірювальне обладнання

Кінець таблиці 7.2

Найменування	Опис та параметри	
Клас точності	до +/- 2 мкм	до +/- 0,5 мкм та вище
Шаг виміру	до 0,005 мкм	до 0,001 мкм (1 нм)
Вимірювана довжина	до 30 м	до 30 м
Плюси датчиків	простий та швидкий монтаж	відсутнє тертя між голівкою, що зчитує та шкалою
	великі допуски для монтажу	невеликі розміри та маса
	стійкі до навантажень та прискорень	великі швидкості переміщення голівки, що зчитує
	захищені від забруднення	



Рисунок 7.3 – Закриті датчики лінійних переміщень

Закриті датчики лінійних переміщень поставляються у двох виконаннях: з великим профілем корпусу (висока стійкість до вібрацій, вимірювана довжина до 30 м), з дрібним профілем корпусу (обмежений

монтажний простір, вимірювана довжина до 1240 мм, з монтажною шиною або кріпильними елементами до 2040 мм).

У разі закритих датчиків лінійних переміщень фірми HEIDENHAIN алюмінієвий корпус захищає шкалу, що зчитує елемент і її напрямну від пилу, стружки та води. Ущільнення закриває корпус знизу. Зчитувальний елемент пересувається вздовж шкали без контакту із нею. Підвіска з'єднує зчитувальний елемент з корпусом головки, що зчитує, компенсуючи, таким чином, неспіввісність між шкалою та супортом верстата.



Рисунок 7.4 – Відкриті датчики лінійних переміщень

Датчики з великим профілем корпусу відрізняються стійкістю до вібрацій. Абсолютні датчики типу LC 100 визначають при включенні абсолютне значення положення. Додатково можуть видаватися інкрементальні сигнали. За габаритними розмірами та способом монтажу вони сумісні з інкрементальними датчиками типового ряду LS 100. Завдяки високій точності

та відомим термічним властивостям LC 100 та LS 100 (рис.7.6) призначені для застосування на верстатах з числовим програмним керуванням.

Інкрементальні датчики типу LF (рис.7.6) мають шкалу з малою відстанню між штрихами. Тому вони підходять для використання в тих випадках, коли потрібна висока повторюваність результатів виміру. Інкрементальні датчики типу LS 600 використовуються для вирішення простих завдань позиціонування, наприклад, верстатах без ЧПК. Для великих довжин виміру 30 м розроблено інкрементальні лінійні датчики типу LB (рис.7.5). У якості шкали у них використовується сталеві стрічка з решіткою типу AURODUR. Вона поставляється в рулоні та після монтажу елементів корпусу натягується під певним зусиллям і затискається на обох кінцях датчика[18].

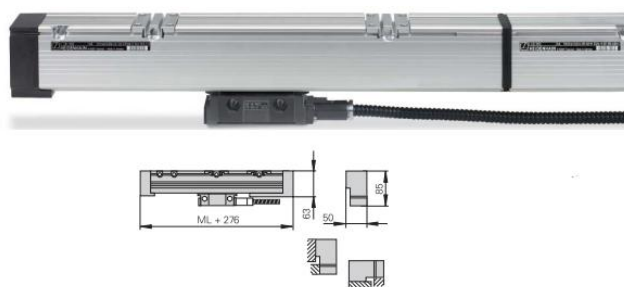


Рисунок 7.5 – Датчик типу LB382

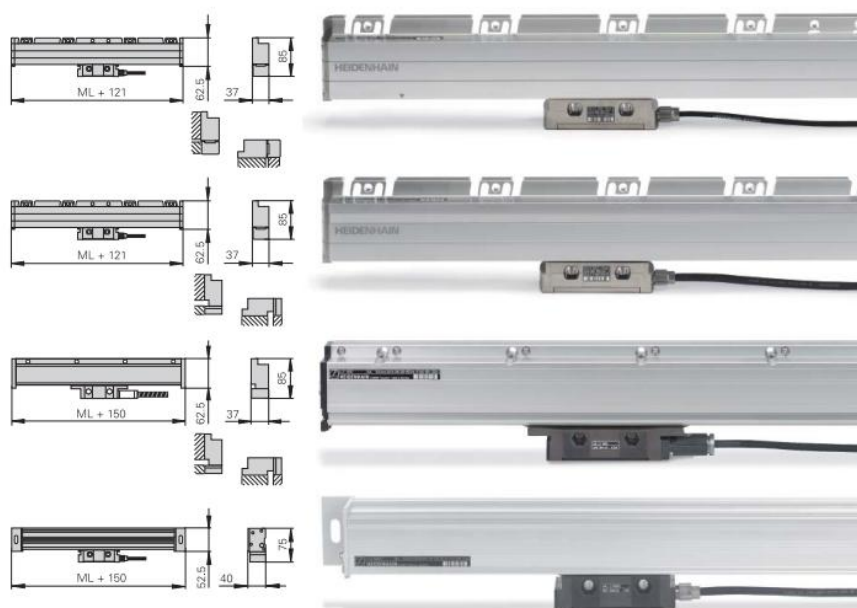


Рисунок 7.6 – Датчики LC100, LS187, LF183, LS600

Параметри закритих датчиків лінійних переміщень типу LC, LS, LF, LB з великопрофільним корпусом шкали занесені до таблиці 7.3.

Таблиця 7.3 – Параметри датчиків

	Абсолютний LC183 LC193 F/M	Інкремент. LF183	Інкремент. LS187 LS177	Інкремент. LS688C LS628C	Інкремент. LB382
Шкала	скляна шкала DIADUR	Фазова решітка DIADUR на сталі	скляна шкала DIADUR	скляна шкала DIADUR	сталъна стрічка AURODUR
Інкрем. вих.. сиг.	опція у LC183	1 Vss	LS187:1Vss LS177:TTL	LS688C:1Vss LS628C:TTL	1 Vss
Період сигналу	20 мкм	4 мкм	20 мкм LS177: 4мкм/2мкм	20 мкм	40 мкм
Інтерфейс передачі даних	EnDat2.2 (Fanuc/ Mitsubishi)	-			
Клас точності	+/-5мкм, +/-3мкм	+/-3мкм, +/-2мкм	+/-5мкм, +/-3мкм	+/-10 мкм	+/-5мкм
Шаг виміру	0,05 до 0,005 мкм	від 1 до 0,1 мкм	від 1 до 0,1 мкм	LS688C: до 1 мкм LS628C: 5 мкм	від 10 до 0,1 мкм
Довжина виміру ML	від 140 до 4240 мм	від 140 до 3040 мм		від 170 до 3040 мм	від 440 до 30040 мм
Референтна мітка	-	одна або кодована, кодована			

Лінійні датчики з дрібнопрофільним корпусом шкали використовуються насамперед у випадках обмеженого монтажного простору.

Абсолютні датчики типу LC 400 (рис.7.7) визначають при абсолютному вмиканні абсолютне значення положення. Додатково можуть видаватися інкрементальні сигнали. Завдяки високій точності та відомим термічним властивостям вони, як і інкрементальні лінійні датчики типового ряду LS 400 (рис.7.7) застосовуються на верстатах з числовим керуванням.

Інкрементальні датчики групи виробів LF (рис.7.7) відрізняються малою відстанню між штрихами, тому вони підходять для використання у випадках, що вимагають високої повторюваності результатів вимірів.

Інкрементальні датчики типу LS 300 (рис.7.7) використовуються для вирішення простих завдань позиціонування, наприклад, верстатах без ЧПК.

Перевагою дрібнопрофільних датчиків є можливість їх монтажу за допомогою монтажної шини. Монтажна шина закріплюється ще при збиранні верстата. Лише при кінцевому монтажі на неї закріплюється лінійний датчик. У разі сервісного обслуговування він може бути легко замінений. При цьому лінійки, встановлені на монтажній шині, показують більш високі прискорення при переміщенні головки, що зчитуєр[18].



Рисунок 7.7 – Датчики LC400, LS487, LF481, LS300

Параметри закритих датчиків лінійних переміщень типу LC, LS, LF з дрібнопрофільним корпусом шкали занесені до таблиці 7.4[18].

Таблиця 7.4 – Параметри датчиків

	Абсолютний LC483 LC493 F/M	Інкремент. LF481	Інкремент. LS487 LS477	Інкремент. LS388C LS328C
Шкала	скляна шкала DIADUR	Фазова решітка DIADUR на сталі	скляна шкала DIADUR	скляна шкала DIADUR
Інкрем. вих.. сиг.	опція у LC483	1 Vss	LS487:1Vss LS477:TTL	LS388C:1Vss LS328C:TTL
Період сигналу	20 мкм	4 мкм	20 мкм LS477: 4мкм/2мкм	20 мкм
Інтерфейс передачі даних	EnDat2.2 (Fanuc/ Mitsubishi)	-		
Клас точності	+/-5мкм, +/-3мкм	+/-5мкм, +/-3мкм	+/-5мкм, +/-3мкм	+/-10 мкм
Шаг виміру	0,05 до 0,005 мкм	від 1 до 0,1 мкм	від 1 до 0,1 мкм	LS388C: до 1 мкм LS328C: 5 мкм
Довжина виміру ML	від 70 до 2040 мм	від 50 до 1220 мм	від 70 до 2040 мм	від 70 до 1240 мм
Референтна мітка	-	одна або кодована		кодована

## ВИСНОВКИ

У магістерській роботі ми провели дослід з позиціонування верстату, а саме виходом у вихідне за віссю «X» та зробили висновки, що для більш точного виходу та обробки деталей самого лише енкодера, який встановлений у двигуні Siemens не достатньо. Потрібно додатково встановити лінійну вимірювальну систему, яка надасть змогу не тільки контролювати положення за віссю, але й допоможе витягувати мінімальні люфти кульково - гвинтової передачі.

Також привели приклади, які саме фактори можуть впливати на верстат, а саме на його позиціонування: вібрації, код Грея, зношування кульково гвинтової передачі.

Так як сучасне виробництво визначається дотриманням все більш жорстких допусків та вимог міжнародних стандартів якості, а це означає, що експлуатаційні характеристики обробного обладнання стають як ніколи важливими, то доцільно встановити лінійні вимірювальні системи компанії HEIDENHAIN, які нададуть змогу підвищити як продуктивність обладнання так і точність позиціонування.

Закриті датчики лінійних переміщень з дрібнопрофільним корпусом та наявністю референтної мітки добре підійдуть до нашого верстату АТПР800.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

1. Електронний ресурс [<https://ternopoliany.te.ua/biznes-ta-finansy/82320-tokarni-verstaty-z-chpk-vydy-ta-osoblyvosti-vyboru>]
2. Електронний ресурс [[https://volgaelectroservice.ru/pages/catalog/siemens\\_motor\\_repair\\_1ft6\\_1fk7.html](https://volgaelectroservice.ru/pages/catalog/siemens_motor_repair_1ft6_1fk7.html)]
3. Електронний ресурс [[https://dnaop.com/html/75732\\_17.html](https://dnaop.com/html/75732_17.html)]
4. Посібник з експлуатації верстата АТПР800 72001.068.00.000 ПЕ
5. Карташов М. В. Імовірність, процеси, статистика – Київ: ВПЦ Київський університет, 2007. – 504 с.
6. В. М. Бочков, Р. І. Сіпін, О. В. Гаврильченко. Металорізальні верстати/За ред. Р. І. Сіпіна. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2009. 268 с.
7. ГОСТ 18097-93 Станки токарно-винторезные и токарные. Основные размеры. Нормы точности
8. ГОСТ 8—82 Станки металлорежущие. Общие требования к испытаниям на точность
9. ГОСТ 22267—76 Станки металлорежущие. Схемы и способы измерений геометрических параметров
10. Боженко Л.І. Стандартизація, метрологія та кваліметрія у машинобудуванні: Навчальний посібник. – Львів: Світ, 2003. – 328 с.
11. Теоретичні основи машинобудування. Навчальний посібник. Гевко Б.М., Матвійчук А.В., Артюхов А.М., Павельчук А.Ф. – Тернопіль, Крок, 2011. – 205 с.
12. Ромакін В.В. Комп'ютерний аналіз даних. Миколаїв : Вид-во МДГУ ім. Петра Могили, 2006. – 144 с.
13. Бахрушин В.Є. Методи аналізу даних. Запоріжжя : КПУ, 2011. - 268 с.

14. Жураковський Д.П., Полторак В.П. Теорія інформації та кодування.: Підручник. – К.: Вища шк., 2001. – 255 с.: іл.

15. Березюк Н.Т., Андрущенко А.Г., Моцицький С.С. та ін.. Кодування інформації (двійкові коди). – Харків, видавництво «Вища школа», 1978. – 252 с.

16. THK. General catalog. Linear motion systems. Catalog No. 500-1E. – 1901 p.

17. Precision Machine Components NSK Linear Guides Ball Screws Monocarriers. Cat. No E3162c 2013. – 553 p.

18. Електронний ресурс [http://www.maleks.odessa.ua/partn2/heiden/208\_864-r02]