

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: Модернізація токарно-лобового верстату з ЧПК для підвищення  
точності позиціонування.

(назва теми)

Виконав: студент II курсу, групи М-222м

Спеціальності 133 Галузеве машинобудування

(код і найменування спеціальності)

Освітня програма (спеціалізація)

Металорізальні верстати та системи

КОВАЛЬЧУК О.І.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Керівник ТАНЧЕНКО С.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

Рецензент ГОНЧАР Н.В.

(ПРИЗВИЩЕ та ініціали)

2023

Форма № 25

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Національний університет «Запорізька політехніка»

Факультет МашинобудівнийКафедра Металорізальних верстатів та інструментівСтупінь вищої освіти магістрСпеціальність 133 Галузеве машинобудування

(код і найменування)

Освітня програма (спеціалізація) Металорізальні верстати та системи

(назва освітньої програми (спеціалізації))

**ЗАТВЕРДЖУЮ**Завідувач кафедри ФРОЛОВ М.В.« 10 » листопада 2023 року

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

КОВАЛЬЧУК Олександр Іванович

(ПРІЗВИЩЕ, ім'я, по батькові)

1.Тема проекту (роботи) Модернізація токарно-лобового верстату з ЧПК для підвищення точності позиціонування.керівник проекту (роботи) старший викладач ТАНЧЕНКО Сергій Віталійович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «10» листопада 2023 року №4302.Строк подання студентом проекту(роботи) 15.12.2023р3. Вихідні дані до проекту (роботи) верстат моделі АТПр-800.4.Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) технічний опис верстата, огляд існуючих та перспективних систем контролю переміщення інструменту, опис встановленої на верстаті системи контролю переміщення інструменту, модернізація встановленої системи контролю переміщення супорта порівняння оптичних лінійок.5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, кількість слайдів, плакатів). Презентація: 12 аркушів.

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	ПРИЗВИЩЕ, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	прийняв виконане завдання
1	ТАНЧЕНКО С. В. ст. викл.	04.09.2023р	15.09.2023р
2	ТАНЧЕНКО С. В. ст. викл.	15.09.2023р	28.09.2023р
3	ТАНЧЕНКО С. В. ст. викл.	28.09.2023р	13.10.2023р
4	ТАНЧЕНКО С. В. ст. викл.	13.10.2023р	15.11.2023р
5	ТАНЧЕНКО С. В. ст. викл.	15.11.2023р	01.12.2023р
Нормоконтроль	ОГЛУЗДІНА Л. С. ст. викл.		

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

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту ( роботи )	Примітка
1	Технічний опис верстата	15.09.2023р	
2	Огляд існуючих та перспективних систем контролю переміщення інструменту	28.09.2023р	
3	Опис встановленої на верстаті системи контролю переміщення інструменту	13.10.2023р	
4	Модернізація встановленої системи контролю переміщення супорта порівняння оптичних лінійок	15.11.2023р	
5	Порівняння оптичних лінійок	01.12.2023р	
6	Оформлення пояснювальної записки	04.12.2023р	
7	Оформлення презентації	06.12.2023р	

**Студент**

(підпис)

**Олександр КОВАЛЬЧУК**

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

**Керівник проекту (роботи)**

(підпис)

**Сергій ТАНЧЕНКО**

(Ім'я ПРИЗВИЩЕ)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту: 62 стор., 22 рис., 8 табл.

ВЕРСТАТ, КОНСТРУКЦІЯ ВЕРСТАТУ, ЕЛЕКТРОДВИГУН, СИСТЕМА ЧПУ, ПРИВІД, ЕНКОДЕР, ОСНАЩЕННЯ, ОПТИЧНІ ЛІНІЙКИ, КЕРУЮЧА ПРОГРАМА.

Завданням на курсовий проект є модернізація верстата АТПр-800. В результаті виконання курсового проекту необхідно вирішити такі задачі:

- проаналізувати конструкцію верстата;
- встановити яким чином виконується контроль переміщення інструменту;
- запропонувати та порівняти методи контролю;

Головною метою модернізації є підвищення контролю точності переміщення інструмента.

## ABSTRACT

Explanatory note to the diploma project: 62 p., 22 figs., 8 tables.

MACHINE TOOL, MACHINE DESIGN, ELECTRIC MOTOR, CNC SYSTEM, DRIVE, ENCODER, TOOLING, OPTICAL RULERS, CONTROL PROGRAMME.

The assignment for the course project is to modernise the APr-800 machine tool. As a result of the course project, the following tasks need to be solved:

- analyse the design of the machine;
- determine how the tool movement is controlled;
- propose and compare control methods;

The main purpose of the modernisation is to improve the control of tool movement accuracy.

## ЗМІСТ

	С.
ВСТУП.....	7
1. ТЕХНІЧНИЙ ОПИС ВЕРСТАТА .....	8
1.1 Призначення та сфера застосування .....	8
1.2 Технічні характеристики.....	9
1.3 Система ЧПУ верстата .....	11
2. ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТА ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ПЕРЕМІЩЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ. ....	13
2.1 Використання крокових двигунів.....	14
2.2 Використання енкодерів .....	16
2.3 Використання оптичних лінійок .....	17
2.4 Привод подач верстата АТПр800 .....	19
3. ОПИС ВСТАНОВЛЕНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПЕРЕМІЩЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ .....	22
3.1 Поділ енкодерів за принципом дії .....	23
3.2 Поділ за принципом формування сигналу .....	24
4. МОДЕРНІЗАЦІЯ ВСТАНОВЛЕНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПЕРЕМІЩЕННЯ СУПОРТА.....	32
4.1 Оптичні лінійки. Загальна характеристика .....	32
4.2 Способи монтажу оптичних лінійок .....	36
5. ПОРІВНЯННЯ ОПТИЧНИХ ЛІНІЙОК.....	46
5.1 Оптичні лінійки серії DC11 .....	46
5.2 Оптичні лінійки серії MLC 410 .....	48
5.3 Абсолютна оптична лінійка ЛІР-ДА7М.....	49
5.4 Порівняння оптичних лінійок.....	50
5.5 Перевірка оптичних лінійок на верстатах з ЧПУ.....	55
ВИСНОВКИ .....	58
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	59

## ВСТУП

Для обробки коротких заготовок великого діаметра в одиничному виробництві та ремонтних майстернях застосовують лобові токарні верстати. На них виконують такі операції: обточення зовнішніх циліндричних та конічних поверхонь, підрізання торців, проточення канавок, розточення внутрішніх отворів тощо. У лобових верстатів порівняно із карусельними мала довжина та великий діаметр планшайби. Обробка зазвичай проводиться в напівавтоматичному режимів для деталей типу дисків, фланців або кільцеподібних заготовок, одночасно за двома координатами. На верстатах можлива обробка зовнішніх, торцевих та внутрішніх поверхонь по замкнутому автоматичному циклу в один або кілька проходів.

Для верстатів обладаних системою ЧПК актуальна проблема – точність позиціонування. Для забезпечення точності позиціонування використовують встановлення вимірювальних систем (датчиків, енкодорів, оптичних лінійок).

Актуальною проблемою є вибір типу вимірювальної системи з огляду на конструкцію верстата, економічність та технологічні можливості.

# 1 ТЕХНІЧНИЙ ОПИС ВЕРСТАТА

## 1.1 Призначення та сфера застосування

АТПр-800 (рис.1.1) є сучасним верстатом, призначеним для обробки металевих деталей. Він має ряд особливостей і функціональних можливостей, які роблять його ефективним і універсальним інструментом у промисловості.

Основною особливістю верстата АТПр-800 є його конструкція, яка забезпечує високу точність обробки і стабільну роботу. Верстат складається з масивної стійкої рами, яка забезпечує стійкість і відсутність вібрацій під час обробки. На рамі розміщені різні функціональні блоки, які забезпечують рухи і обробку деталей [1].



Рисунок 1.1 – Верстат токарно-лобовий АТПр-800

Верстат оснащений системою керування, яка дозволяє програмувати рухи і обробку деталей. Це дозволяє автоматизувати процес обробки і

забезпечити високу точність і повторюваність рухів. Система управління може працювати з різними форматами програмного забезпечення і використовувати різні методи керування, такі як ЧПУ (числове програмування) [2].

Верстат оснащений широким набором інструментів і пристосувань, які розширюють технологічні можливості обробки заготовок. Наприклад, він може бути оснащений фрезерним інструментом, свердлильним, токарним тощо. Це дозволяє виконувати фрезерування, свердління, розточування тощо.

Верстат АТПр-800 має велику робочу поверхню і високу жорсткість. Це дозволяє обробляти великі деталі і забезпечує довговічність верстата. Також, верстат може мати додаткові функції, такі як автоматична зміна інструментів, системи охолодження та змащення, системи відведення стружки тощо, які поліпшують продуктивність і надійність роботи верстата.

В загальному, верстат АТПр-800 є потужним і універсальним верстатом, який забезпечує високу якість обробки металевих деталей. Технічні характеристики верстата наведені в таблиці 1.1.

## 1.2 Технічні характеристики

Таблиця 1.1 – Технічні характеристики верстата АТПр-800

Параметр	Значення
Найбільший діаметр встановлюваного виробу	-
- над станиною	1000 мм
- над супортом	200 мм
Найбільша довжина обробки	200 мм
Найбільше переміщення супорта	

Кінець таблиці 1.1

- в повздовжньому напрямку	525 мм
- в поперечному напрямку	705 мм
Межі робочих повздовжніх і поперечних подач	1-2000 мм/хв
Прискорене повздовжнє і поперечне переміщення	10000 мм/хв
Потужність приводів подач	
- повздовжнього руху	4.0 кВт
- поперечного руху	4.0 кВт
Потужність приводу головного руху	30 кВт
Межі частот обертання шпинделя	2-320 об/хв
Кількість діапазонів обертів шпинделя	2
Кінець шпинделя за ГОСТ 12595-2003	2-ЧМ
Найбільший допустимий крутний момент на шпинделі	12000 Нм
Найбільше зусилля різання	25000 Н
Зусилля затиску інструменту	менше 50 кН
Кількість інструментів, що встановлюються на верстаті	13 шт
Крок переміщення	
- по координаті Х	0.001 мм
Повторюваність виходу супорта у позицію	
- по координаті Х	0.005 мм
- по координаті Y	0.005 мм
Точність обробки	
- по діаметру	0.025 мм
- по довжині	0.035 мм
Шорсткість оброблюваних поверхонь	2.5 мкм
Габарити верстата (ДхШхВ)	4110х3030х1960 мм
Маса верстата	12000 кг

### 1.3 Система ЧПУ верстата

Верстат моделі АТПр-800 під управлінням ЧПУ SINUMERIK 802C Base Line (рис.1.2) 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 кілька проходів із сталей, титанових та легованих сплавів [3].

Геометричні координати в системі задаються адресами X та Z. Дискретність переміщень становить: по осі X -  $\Delta X = 0,001$  мм, по осі Z -  $\Delta Z = 0,001$  мм.

Обробка проводиться за двома координатами за програмою, записаною в пам'яті ЧПУ (обсяг 120кБ) або за «нескінченною програмою», що вноситься через порт RS232 від DNC-сервера [4]. Управління верстатом здійснюється за допомогою верстатної клавіатури MSTT панелі оператора (надалі MSTT), що входить до складу системи ЧПУ SINUMERIK 802C Base Line, встановлених на двері електрошафи.

За допомогою цієї системи ЧПУ можна реалізувати наступні основні функції обробки:

- розробка та адаптація програм деталі;
- виконує 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.



Рисунок 1.2 – Система ЧПУ SINUMERIK 802C Base Line

## 2 ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ ТА ПЕРСПЕКТИВНИХ СИСТЕМ КОНТРОЛЮ ПЕРЕМІЩЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ

На токарно-лобовому верстаті принцип переміщення інструменту включає два основних типи руху: поздовжнє (вздовж осі обробки деталі) і поперечне (перпендикулярно до осі обробки).

Поздовжнє переміщення інструменту: цей тип руху відповідає за здійснення обробки деталі вздовж її осі. Поздовжнє переміщення інструменту на токарно-лобовому верстаті здійснюється шляхом руху головного шпинделя із закріпленою деталю. Інструмент може виконувати різні операції обробки, такі як зняття шару матеріалу, нарізання різьби або позиціонування різця для розточування [5].

Поперечне переміщення інструменту: цей тип руху відповідає за переміщення інструменту в поперечному напрямку, перпендикулярному до осі обробки деталі. Поперечне переміщення інструменту на токарно-лобовому верстаті забезпечується рухом хрестового супорта, який контролює положення інструменту в поперечному напрямку. Цей рух використовується для створення певної форми деталі, такої як обробка кулястої поверхні або проточування пазів [6].

Обидва типи руху, поздовжнє і поперечне переміщення, контролюються і програмуються за допомогою числового програмного управління (ЧПУ). Це означає, що рух інструменту може бути точно контрольованим і налаштованим відповідно до вимог обробки деталі. Такий принцип переміщення інструменту на токарно-лобовому верстаті дозволяє досягти високої точності та якості обробки деталей у виробничих процесах.

Для забезпечення переміщення робочих органів відповідно управляючій програмі, на верстаті передбачено використання крокових двигунів. Розглянемо особливості даних двигунів .

## 2.1 Використання крокових двигунів

Використання крокових двигунів (рис.2.1) у верстатах ЧПУ (числово-програмованого управління) є важливою складовою сучасного виробництва.

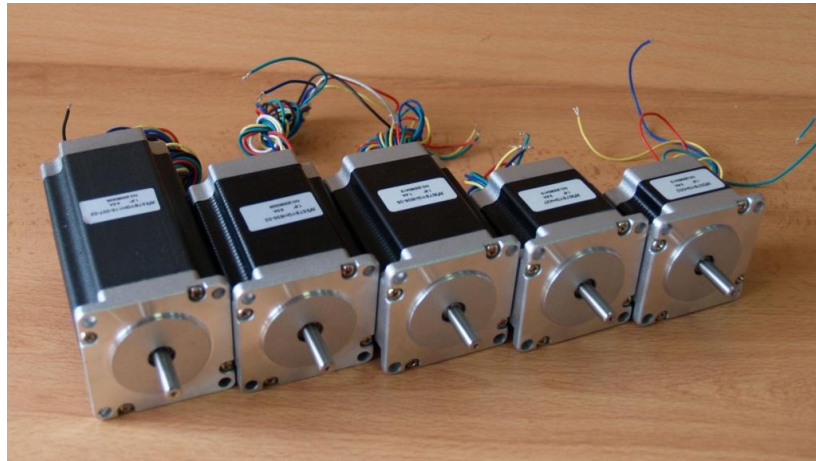


Рисунок 2.1 – Крокові двигуни

Ці двигуни забезпечують точне переміщення та позиціонування інструментів під час обробки матеріалів. Завдяки їх високій точності, верстати можуть виготовляти деталі високої якості. Програмування крокових двигунів відбувається легко, дозволяючи автоматизувати процеси виробництва.

Однією з особливостей є низька швидкість обертання, що робить їх ідеальними для багатьох завдань верстатів. Крокові двигуни також відзначаються простотою управління та низькою інерцією, що сприяє точному управлінню рухом та швидкому зупинянню. Їхній надійний дизайн і легкість утримання роблять їх популярними в різних виробничих галузях, де потрібна автоматизація процесів та висока якість виробів [7].

Існують деякі недоліки використання системи переміщення інструменту за допомогою крокових двигунів на токарно-лобових верстатах:

- обмежена швидкість руху: крокові двигуни мають певну максимальну швидкість переміщення, що може бути обмеженою для деяких вимог обробки. Це може призвести до затримок у виробничих процесах та обмеження продуктивності верстата;
- обмежена точність: крокові двигуни мають певний крок або кроковий кут, що впливає на точність переміщення інструменту. Це може призводити до відхилень інструменту від заданого положення, особливо при високих вимогах до точності обробки;
- вібрація та шум: крокові двигуни можуть створювати вібрацію та шум під час руху, особливо при високих швидкостях. Це може впливати на якість обробки та комфорт роботи оператора;
- обмежені можливості прискорення: крокові двигуни можуть мати обмежені можливості прискорення, що може обмежити швидкість зміни напрямку руху або пришвидшення і сповільнення інструменту;
- складність програмування: використання крокових двигунів для керування рухом інструменту може потребувати складного програмування ЧПУ, особливо для складних рухів та обробок. Це може потребувати додаткових навичок і зусиль від оператора верстата.

Використання системи переміщення інструменту за допомогою крокових двигунів на токарно-лобових верстатах виявляє ряд переваг:

- крокові двигуни в верстатах ЧПУ вирізняються високою точністю позиціонування, що робить їх ідеальними для виготовлення деталей високої якості. Легкість програмування дозволяє ефективно автоматизувати виробничі процеси та здійснювати швидкі зміни завдань.
- низька швидкість обертання забезпечує стабільність та безпеку в роботі, особливо при обробці різних матеріалів. Простота управління і низька інерція сприяють точному контролю руху та забезпечують ефективне зупинення.

Враховуючи всі ці переваги та недоліки, для досягнення більшої швидкості, точності та продуктивності крокові двигуни для верстатів серії

АТПр-800 були замінені на асинхронні двигуни проте у поєднанні з енкодерами .

## 2.2 Використання енкодерів

Однією з важливих переваг є висока точність вимірювань, що дозволяє досягати високого ступеня якості виготовлених деталей. Це особливо важливо в прецизійних виробничих процесах, де кожен міліметр може мати значення. Енкодери (рис.2.2) також гарантують стабільну і точну позицію верстата, сприяючи уніфікації та прискоренню виробничих операцій.



Рисунок 2.2 – Енкодер E40S8-20-3-T-24

Загалом використання енкодерів у верстатах з ЧПУ визначає новий стандарт у точності та ефективності оброблювальних систем, що дозволяє підприємствам досягати високих стандартів якості та підвищувати ефективність виробничих процесів.

Недоліки використання системи переміщення інструменту за допомогою асинхронних двигунів з енкодером на токарно-лобових верстатах можуть включати:

- висока складність установки: установка та налагодження системи з асинхронними двигунами та енкодерами може вимагати спеціалізованого знання та технічних навичок. Це може призводити до затримок у виробничих процесах та вимагати додаткового часу та зусиль для встановлення;
- висока вартість: використання асинхронних двигунів з енкодерами може бути дорожчим у порівнянні з іншими системами переміщення. Це пов'язано з високою вартістю самого обладнання та потребою в додатковому обладнанні для керування та зчитування еncoderів.
- складність обслуговування: асинхронні двигуни з енкодерами можуть вимагати регулярного обслуговування, калібрування та перевірки, щоб забезпечити їх правильну роботу. Це може вимагати додаткового зусилля та технічного обладнання для проведення обслуговування;
- обмежені можливості управління швидкістю: асинхронні двигуни можуть мати обмежені можливості управління швидкістю та точністю переміщення. Це може обмежувати продуктивність та якість обробки на верстаті;
- вплив зовнішніх факторів: асинхронні двигуни можуть бути більш чутливими до зовнішніх факторів, таких як перепади напруги або електромагнітні перешкоди. Це може призводити до непередбачуваних помилок або збоїв у роботі системи переміщення [9].

### 2.3 Використання оптичних лінійок

Для забезпечення точних переміщень за координатами під час обробки і зменшення похибок встановлювальних рухів верстат можна модернізувати встановленням оптичних лінійок (рис.2.3) на кожну з керованих осей.



Рисунок 2.3 – Оптична лінійка

Недоліки використання системи переміщення інструменту з оптичною лінійкою на токарно-лобових верстатах можуть включати:

- вразливість до забруднень: оптична лінійка може бути чутливою до забруднень, які можуть впливати на її точність та працездатність. Наявність сторонніх матеріалів на лінійці може спричинити неправильне читання та вимагати регулярного очищення;
- вимоги до установки та калібрування: для досягнення точності інструментального переміщення з оптичною лінійкою необхідна правильна установка та калібрування. Це може вимагати додаткового часу та фахових навичок для налагодження системи.

Переваги оптичних лінійок:

- висока точність: система з оптичною лінійкою може забезпечувати високу точність переміщення інструменту на токарно-лобовому верстаті. Це дозволяє досягати високої якості обробки деталей та точність виконання операцій;

- екологічність: використання оптичної лінійки не вимагає використання додаткових ресурсів або матеріалів, що зменшує вплив на середовище та забезпечує екологічність робочого процесу;
- менша схильність до зношування: оптичні лінійки мають довгий термін служби та меншу схильність до зношування порівняно з іншими системами переміщення. Це дозволяє забезпечити стабільну та тривалу роботу верстата без необхідності частої заміни або обслуговування;
- швидкість та реакція: система з оптичною лінійкою може забезпечувати швидкість і точну реакцію на зміни позиції інструменту. Це важливо для забезпечення ефективного виконання операцій та зменшення часу циклу обробки [10].

Варто зазначити, що вибір системи контролю переміщення залежить від конкретних потреб та умов роботи, і перед використанням будь-якої системи необхідно провести аналіз, зважаючи на її переваги та недоліки, а також врахувати технічні та фінансові можливості.

#### 2.4 Привод подач верстата АТПр800

У токарно-лобовому верстаті АТПр-800 з ЧПУ використовується компонування хрестового супорта, яке включає основу, каретку та повзун. Хрестовий супорт (рис.2.4) виконує функцію забезпечення переміщення інструмента верстата по горизонтальній (поздовжній) і вертикальній (поперечній) осі.



Рисунок 2.4 – Супорт верстата АТПр-800

Для здійснення цих типів переміщення використовуються приводи подач. У конкретному випадку згадуються крокові двигуни 1РК7063`5 та кулькові пари. Крокові двигуни є особливим типом електродвигуна, який здатний переміщатися на певну кількість кроків за кожен сигнал, що надходить до нього. Кулькові пари використовуються для передачі руху від двигуна до хрестового супорта.

Ці приводи подач забезпечують точне та контрольоване переміщення інструмента відповідно до програми, яка задана у системі ЧПУ. Для досягнення необхідної точності робочих та установчих переміщень за координатами, слід забезпечити встановлення систем контролю переміщень за осями з відповідною точністю та дискретністю [11].

Привід подач на токарно-лобовому верстаті АТПр-800 має ряд особливостей, які відрізняють його від приводів подач на інших верстатах:

- висока точність і дискретність переміщення. Крокові двигуни 1РК7063`5 забезпечують високу точність і дискретність переміщення. Це дозволяє виконувати точні та якісні операції токарної обробки;

- низький коефіцієнт тертя. Кулькові пари, які використовуються для передачі руху від крокових двигунів до хрестового супорта, мають низький коефіцієнт тертя. Це означає, що при переміщенні інструменту по осях не виникає додаткових похибок, викликаних тертям;

- простота обслуговування. Привід подач на токарно-лобовому верстаті АТПр-800 має просту конструкцію, що дозволяє легко його обслуговувати.

Недоліки приводу подач на токарно-лобовому верстаті АТПр-800:

Привід подач на токарно-лобовому верстаті АТПр-800 має ряд недоліків, які слід враховувати при його експлуатації:

- висока вартість. Крокові двигуни 1РК7063`5 є відносно дорогими. Це підвищує вартість верстата.

- необхідність використання системи контролю переміщень. Для забезпечення високої точності обробки необхідно використовувати систему контролю переміщень. Це підвищує вартість верстата та ускладнює його експлуатацію.

Привід подач на токарно-лобовому верстаті АТПр-800 має ряд переваг, які дозволяють виконувати точні та якісні операції токарної обробки.

### 3 ОПИС ВСТАНОВЛЕНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПЕРЕМІЩЕННЯ ІНСТРУМЕНТУ

Залежно від конкретної моделі та виробника, верстат АТПр-800 може бути оснащений різними вимірювальними системами. Основними типами вимірювальних систем, які можуть використовуватися на верстатах, являються енкодери різних типів. Енкодери створені для роботи в металорізальних верстатах для досягнення високої точності позиціонування та керування різальними інструментами. Вони дозволяють вимірювати і передавати інформацію про положення рухомих частин верстата з високою роздільною здатністю і точністю.

Енкодер складається з наступних основних вузлів (на зображенні наведено зображення на основі оптичного абсолютного енкодера):

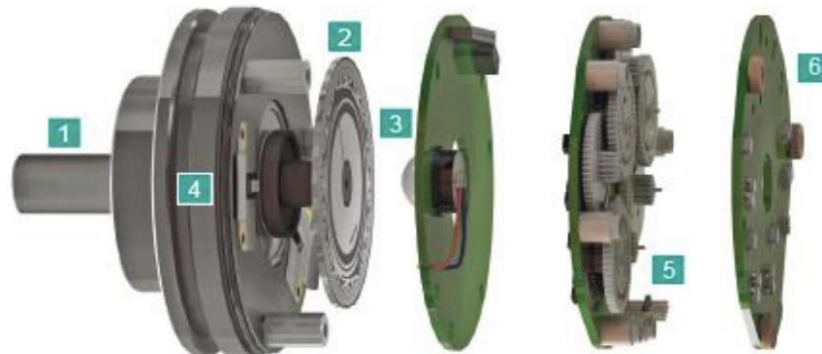


Рисунок 3.1-Конструкція енкодера

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

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

Основне визначення енкодера – це датчик механічного руху, який генерує цифрові сигнали у відповідь на рух. енкодери можуть надавати користувачам системи керування рухом інформацію щодо положення, швидкості та/або напрямку. У складі сучасного енкодера присутні 3 основних елементи: джерело світла, диск що обертається з рисками (мітками), і приймач -детектор світлового сигналу.

Принцип дії енкодера полягає в перетворенні механічного руху в електричний сигнал. Зазвичай використовуються два типи енкодерів: інкрементальний та абсолютний.

### 3.1 Поділ енкодерів за принципом дії

За принципом дії розрізняють енкодери:

1) Оптичні енкодери: Використовують оптичні сенсори та світлодіоди для вимірювання переміщень. Зазвичай використовують фотодіоди або фототранзистори для сприйняття світла, яке відбивається від шкали або кодового диска. Зміна позиції приводить до зміни світлового сигналу, що дозволяє визначити кількість кроків або переміщення. Вони є економічно ефективним галузевим стандартом, який забезпечує точність, але може бути більш чутливим до факторів навколишнього середовища, таких як тепло, удари, проникнення пилу/бруду. Оптичні кодери доступні в абсолютних, інкрементних і комутаційних конфігураціях.

2) Магнітні енкодери: Використовують магнітні сенсори та магніти для вимірювання переміщень. Зазвичай магніт розміщений на обертаючій осі, а магнітний сенсор знаходиться в неподвіжній частині енкодера. Зміна магнітного поля, що спричинена обертанням, дозволяє виміряти кількість

кроків або кутове переміщення. Магнітні кодери більш надійні, можуть працювати в умовах потрапляння бруду, пилу, масла та інших факторів навколишнього середовища, але не забезпечують такої високої роздільної здатності, як їхні оптичні аналоги. Магнітні кодери доступні як у поворотній, так і в лінійній конфігураціях.

3) Магніторезисторні енкадери: Використовують магніторезистори для вимірювання змін магнітного поля. Магнітні полюси змінюють положення, впливаючи на опір магніторезисторів. Зміна опору дозволяє виміряти кількість кроків або переміщення.

Таблиця 3.1 Порівняння енкадерів за принципом дії

Характеристика	Оптичні енкадери	Магнітні енкадери	Магніторезисторні енкадери
Принцип роботи	Використовує оптичні сенсори та світлодіоди для вимірювання переміщень	Використовує магнітні сенсори та магніти	Використовує магніторезистори для вимірювання змін магнітного поля
Точність	Дуже висока	Висока	Висока
Роздільна здатність	Висока	Висока	Висока
Відгук	Швидкий	Швидкий	Швидкий
Витримка	Відносно низька	Висока	Висока
Вартість	Середня	Висока	Висока
Вплив зовнішніх магнітних полів	Вразливий	Вразливий	Вразливий
Робоча температура	Обмежена	Широкий діапазон	Широкий діапазон
Механічна міцність	Середня	Висока	Середня

### 3.2 Поділ за принципом формування сигналу

1) Інкрементальні енкадери (рис.3.2): вимірюють лише зміну положення відносно вихідної точки. Вони надають інформацію про зміну

положення, але не зберігають абсолютне значення. Ці енкодери зазвичай мають два канали: канал А (фаза) та канал В (передування фази). Зміна сигналу на цих каналах дозволяє визначити напрямок руху та кількість кроків.



Рисунок 3.2– Односторонній інкрементальний поворотний енкодер

Інкрементальний поворотний енкодер також називають квадратурним енкодером. Цей тип енкодера використовує датчики, які використовують оптичний, механічний або магнітний підрахунок індексу для вимірювання кута.

Одиничний вихідний канал зазвичай використовується в застосуваннях, де напрямок руху не має важливого значення, схоже на те, як це працює в тахометрі. У випадках, коли важливий визначення напрямку руху, використовується двоканальний вихід, квадратурний вихід. Два канали, А та В, зазвичай розміщені на електричні 90 градусів відносно один одного, і

електронні компоненти визначають напрямок на основі фазового відношення між двома каналами.

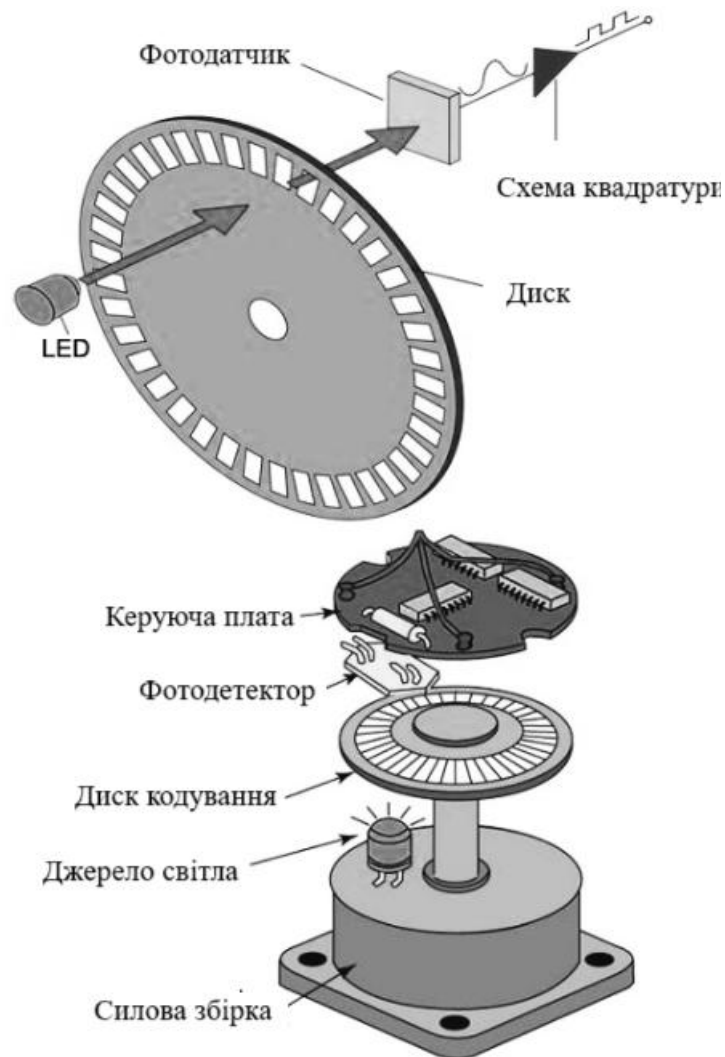


Рисунок 3.3 – Компоненти інкрементального оптичного енодера

Положення інкрементального енодера розраховується шляхом додавання всіх імпульсів лічильника. Знаючи, скільки імпульсів конкретний енодер видає за оберт, остаточне значення, поділене на кількість імпульсів на оберт, визначить кількість обертів, виконаних двигуном.

Недолік інкрементального енодера - це втрата лічильника, яка виникає під час втрати живлення. При відновленні живлення, обладнання повинно бути налаштовано до нульової позиції для повторної ініціалізації лічильника.

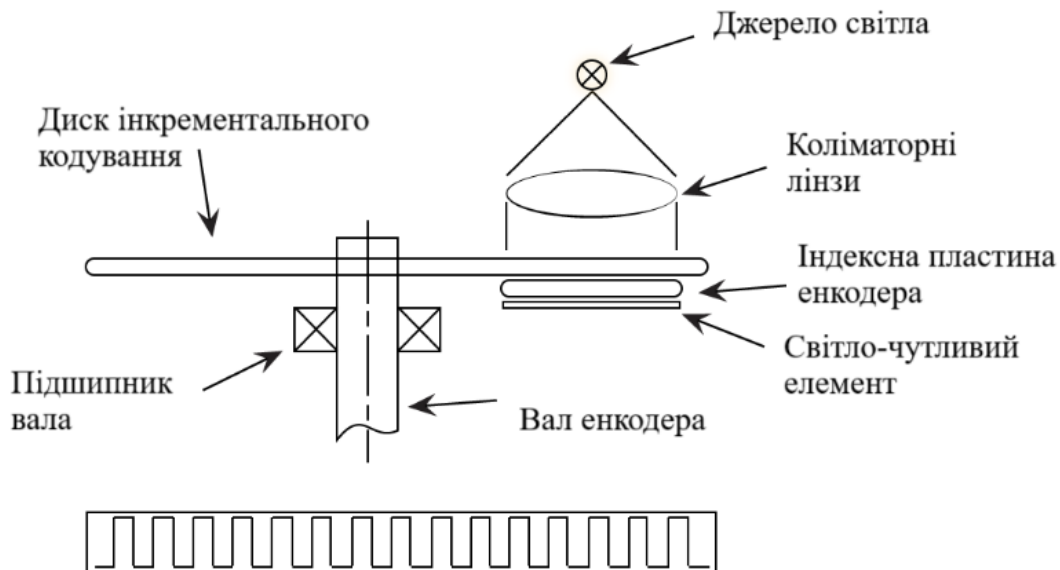


Рисунок 3.4 – Послідовність імпульсів, створена інкрементним енодером

2) Абсолютні енодери: Надають інформацію про абсолютне положення відносно початкової позиції. Вони зазвичай використовують додаткову шкалу або кодовий диск для визначення точного положення.

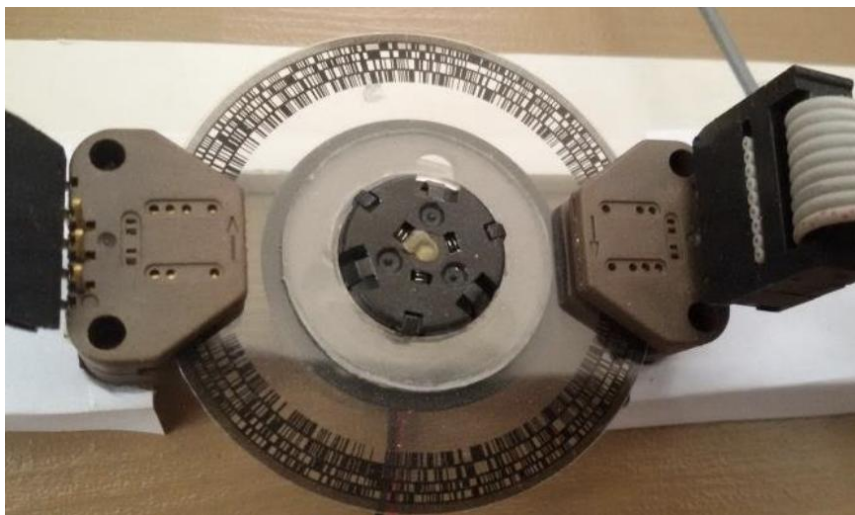


Рисунок 3.5 – Кодовий диск із двома приєднаними модулями абсолютного енодера

Абсолютний енкадер містить компоненти, подібні до тих, що знаходяться в інкрементальних енкадерах. Він використовує фотодетектор та світлодіодне джерело світла, але замість диска із рівномірно розташованими лініями, абсолютний енкадер використовує диск із концентричними кільцевими решітками.

Вихідний сигнал, генерований абсолютним енкадером, є в цифрових бітах, які відповідають унікальному положенню. Конфігурація бітів створюється світлом, яке отримує фотодетектор під час обертання диска. Отримана конфігурація світла перекладається у код. В результаті кожне положення має свою власну унікальну конфігурацію бітів.

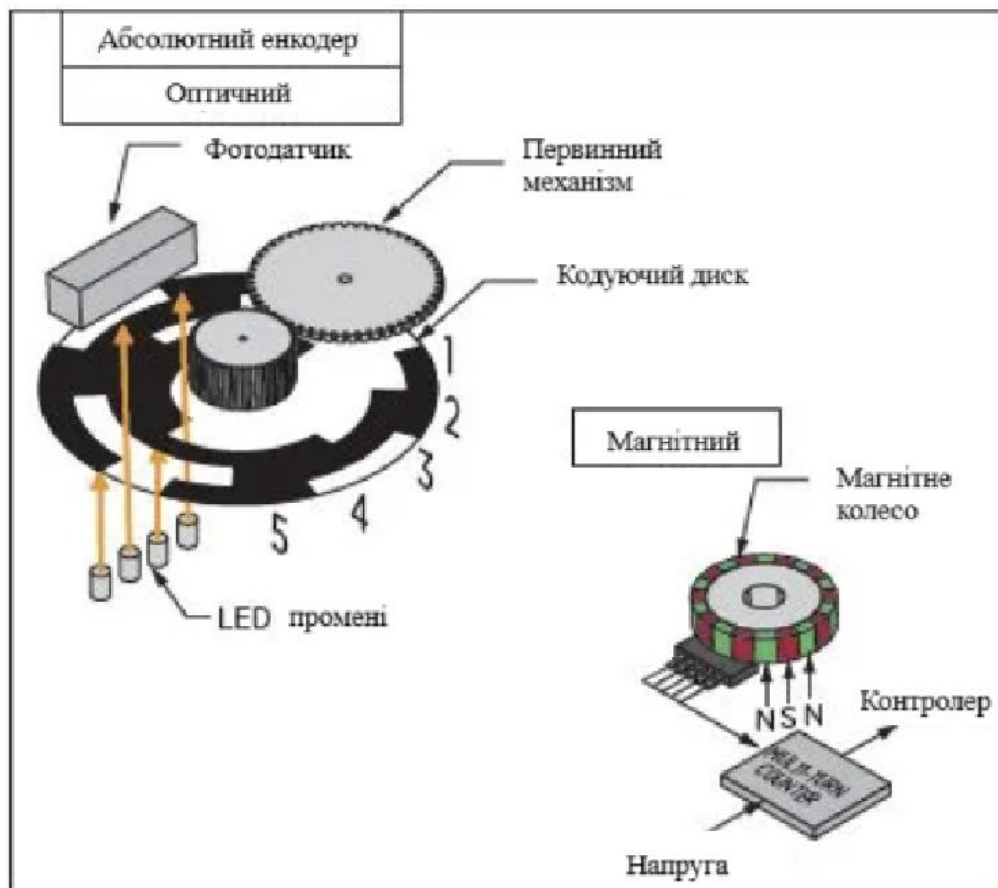


Рисунок 3.6 – Принцип абсолютного оптичного і магнітного енкадера

Це виконується шляхом сканування положення закодованого елемента, де всі положення відповідають конкретному коду. Навіть рухи, які

відбуваються під час вимкнення системи, перекладаються в точне значення положення, коли система знову вмикається. Ці енкодери можуть бути однооборотні або багатооборотні. Одно оборотні енкодери вимірюють відхилення руху за один оберт від початкового положення на 360 градусів, тоді як багатооборотні енкодери вимірюють тим же способом, але з додатковим відстеженням загальної кількості обертів. Це здійснюється за допомогою унікального коду, призначеного для кожного положення валу [12].

Оскільки абсолютні енкодери надають унікальні значення положення в момент увімкнення машини, немає потреби у зовнішніх датчиках, що економить гроші на додаткових компонентах, проводці та обслуговуванні.

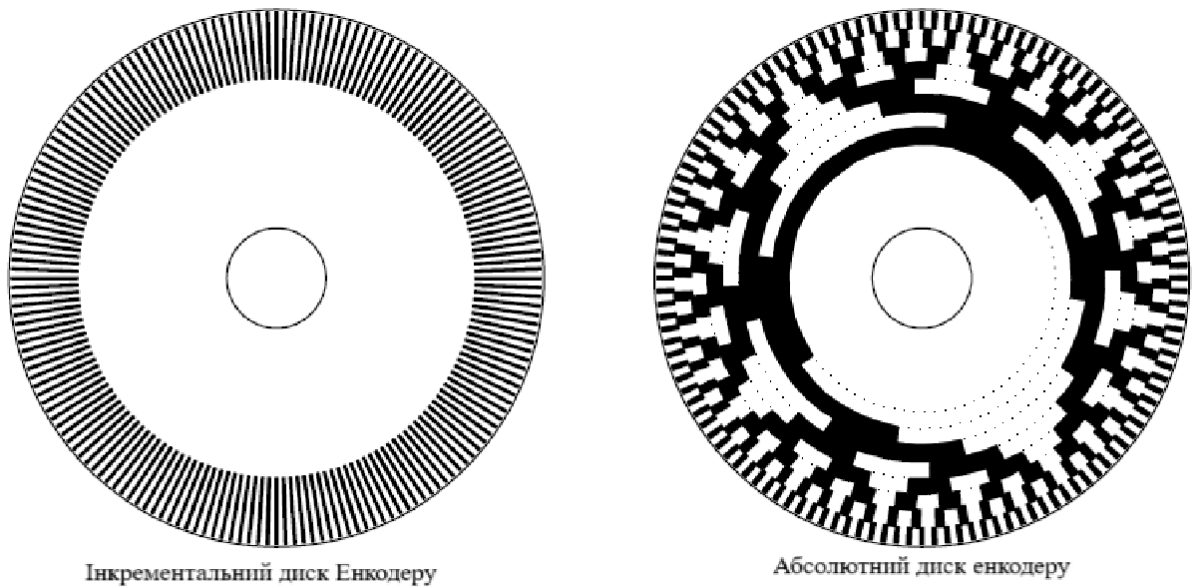


Рисунок 3.7 – Порівняння абсолютного та інкрементального енкодерів

Таблиця 3.2 – Порівняння енкодерів за принципом формування сигналу

Характеристика	Інкрементальні енкодери	Абсолютні енкодери
Вимірювана величина	Відносне положення	Абсолютне положення
Втрата позиції	Відсутня	Можлива
Завантаження	Низьке	Високе
Пам'ять	Не потрібна	Вимагається
Інформаційний обсяг	Нижче	Вище
Кількість каналів	Зазвичай два (А, В)	Залежить від моделі
Інтерфейс	Часто двосторонній (диференційний)	Часто односторонній (послідовний)
Вартість	Зазвичай нижча	Зазвичай вища
Використання	Застосування вимагає визначення початкової позиції та відслідковування руху	Застосування, де важливе точне знання абсолютного положення
Помилка зчитування	Можлива	Відсутня

Переваги використання енкодерів:

- компактність конструкції, габарити якої не залежать від довжини переміщення робочого органа при вимірюванні лінійних переміщень;
- відносно невисока вартість.

Недоліки:

- відносно невисока точність вимірювання лінійних переміщень робочих органів, оскільки вимірюванням не охоплюються проміжні ланки приводу подач і не враховуються температурні деформації базових деталей верстата в процесі його роботи. Оптичні енкодери складаються зі спеціального оптичного диску, світло-випромінюючого діода та фотодетектора. Диск з нанесеною оптичною шкалою (прозорих і непрозорих ділянок) жорстко закріплюється на валу. При обертанні об'єкта спеціальний датчик зчитує інформацію та перетворює її в імпульси.

## 4 МОДЕРНІЗАЦІЯ ВСТАНОВЛЕНОЇ СИСТЕМИ КОНТРОЛЮ ПЕРЕМІЩЕННЯ СУПОРТА

### 4.1 Оптичні лінійки. Загальна характеристика

Оптичні лінійки зазвичай використовують різновиди фотоелектричного сканування, що базуються на відбитті або дифракції світла для визначення положення.



Рисунок 4.1 – Приклад оптичної лінійки

Шкала, виготовлена із тонких ліній, що називаються решітками, має період в кілька мікрон. Скануюча сітка, яка є частиною зчитувальної головки, також має решітки з аналогічним інтервалом, як і шкала.

Під час сканування світлодіодне джерело передає світло через скануючу сітку. Коли скануюча сітка та шкала рухаються одна відносно

одної, світло піддається модуляції. Якщо зазори в решітках вирівнюються, світло проходить; однак, якщо лінії сітківки збігаються з проміжками шкали (і навпаки), світло не пройде. Фотоелектричні комірки виявляють ці перепади світла і перетворюють їх на електричні сигнали для відстеження руху.

Щодо інтерференційного сканування, воно застосовується, як правило, для періодів решітки в діапазоні від 5 мкм і менше, використовуючи тривимірні структури на шкалі, що ґрунтуються на дифракції та інтерференції світла. Проходячи крізь сітку, світло розсіюється на три часткові хвилі, і коли ці хвилі досягають шкали, 3D-решітки на ній дифракують хвилі. Зміна інтенсивності світла виникає внаслідок переміщення сітки та шкали відносно одна одної, і цю зміну контролюють фотоелектричні елементи, перетворюючи її на електричні сигнали.

Лінійні енкодери з оптичною шкалою широко використовуються у високоточній обробці, зокрема на шліфувальних та токарних верстатах для обробки оптичних та аерокосмічних деталей. Вони дозволяють вимірювальним пристроям, таким як координатні вимірювальні машини (КВМ), ефективно виконувати завдання контролю за виготовленими деталями. Оптичні енкодери мають високу роздільну здатність та менший коефіцієнт теплового розширення порівняно з магнітними, що сприяє стабільності вимірювань. Але їх використання залишається спеціалізованим, обумовленим необхідністю та вимогами конкретних застосувань [6].

В оптичних лінійках рухомою частиною є зчитувальна головка, яка переміщується вздовж скляної шкали з обох сторін. Сучасні конструкції зчитувальних головок стали більш продуманими порівняно з попередніми. Порівняно із минулим, коли для встановлення оптичної лінійки потрібно було витратити багато часу та використовувати різноманітні пристосування для налаштування необхідних зазорів, процес установки значно спростився.

У конструкції головки використовується принцип шарнірного з'єднання, що не вимагає жорстких вимог при установці головки щодо самої лінійки. Плюсом до цього, в сучасних оптичних лінійках зчитувальна головка

має завжди однаковий зазор відносно скляної шкали. Це досягається за рахунок застосування в конструкції головки 5-ти підшипників, які забезпечують рух головки по склу, будучи однаково притиснутою з усіх боків. Це забезпечує створення необхідних зазорів.

Після встановлення оптичної шкали важливо надати захист від забруднення. Магнітні лінійки, як правило, чутливі лише до магнітного забруднення, тоді як оптичні енкодери чутливі до будь-якого сміття, яке може заважати пропусканню світла. Це актуальне питання, оскільки оптичні лінійки встановлюються на рухомих осях, де відбувається робота, і, отже, можливе потрапляння стружки, рідини та інших домішок.

У минулому використовувалися оптичні лінійки відкритого типу, де оптична шкала не мала захисту металевим корпусом. Проте зараз використання таких лінійок є малопродуктивним через їхню недостатню захищеність від пилу та бруду. У сучасних оптичних лінійках конструкція корпусу виготовлена з суцільно-тягнутого дюралюмінієвого профілю, що забезпечує високий рівень захисту і геометричної стабільності [13].

Датчики лінійних переміщень призначені для використання в металообробному обладнанні з ЧПК для точного вимірювання лінійних переміщень робочих органів. Висока точність досягається за рахунок виключення зі схеми вимірювання проміжних механічних елементів. Такий датчик лінійного переміщення визначає сумарну похибку механічних переміщень, яка компенсується у пристрої ЧПК. Цей метод вимірювання дозволяє уникнути ряду похибок, пов'язаних із проміжними ланками приводу верстата:

- похибка, спричинена наявністю зазорів у проміжних ланках приводу (наприклад, у шарико-гвинтовій передачі).
- похибка, обумовлена пружними деформаціями елементів приводу від навантажень, що виникають під час роботи.
- кінематична похибка, викликана відхиленнями кроку різі шарико-гвинтової передачі.

– похибка позиціювання, породжена нагріванням шарико-гвинтової передачі та базових деталей верстата.

Оптичні лінійні вимірювальні системи (рис.4.1) для верстатів з ЧПК використовують закриті датчики, які в основному розташовані у корпусах з алюмінію. Це забезпечує захист шкали та зчитуючого елемента від пилу, стружок та інших негативних впливів навколишнього середовища. Також можливе додаткове забезпечення захисту за допомогою підключення стисненого повітря до лінійки, що запобігає потраплянню бруду між корпусом шкали та зчитуючою головкою. Загальна конструкція та компоненти оптичної лінійки наведені на рисунку 4.2.

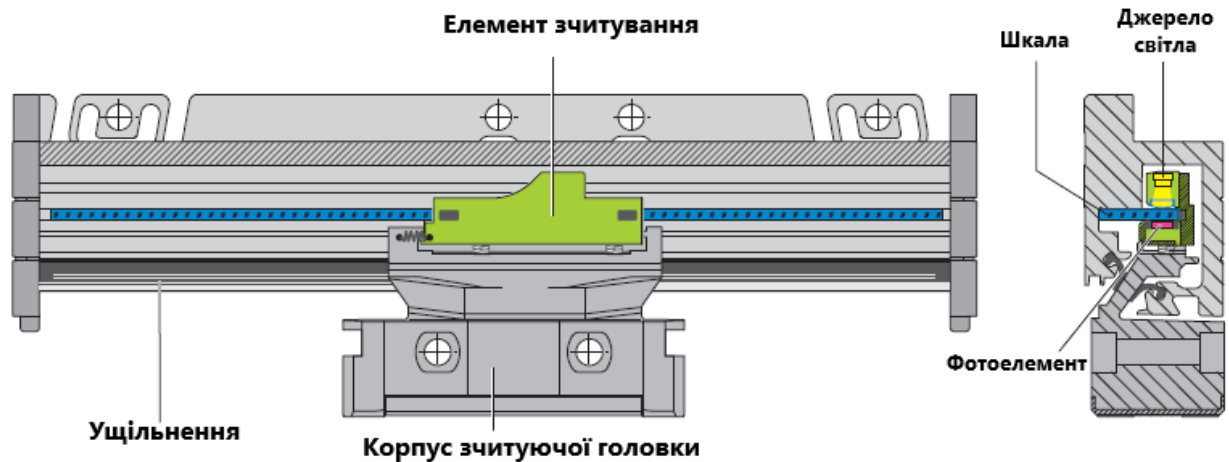


Рисунок 4.2- Конструкція оптичної лінійки

Основні вимоги до лінійних датчиків:

1. Висока точність вимірювання.
2. Стабільність вихідного сигналу при забрудненні та легких пошкодженнях (подряпинах).
3. Високий рівень захисту від забруднень.
4. Відповідність термічних властивостей датчиків термічним властивостям матеріалів об'єктів вимірювань.
5. Висока жорсткість у напрямку вимірювання.

6. Збереження високої точності вимірювань при значних швидкостях переміщення робочих органів верстатів.
7. Висока надійність.
8. Висока довговічність.
9. Легкість монтажу на верстаті (включаючи обмежений простір).
10. Конструктивна можливість вимірювання великих переміщень з високою точністю вимірювань.
11. Доступна вартість.

#### 4.2 Способи монтажу оптичних лінійок

Монтаж оптичних лінійок на верстаті може бути здійснений через кілька етапів. Спочатку важливо забезпечити чистоту та рівність поверхні для установки лінійок. Після цього слід маркувати місце установки, дотримуючись вимог точності. Під час вирівнювання можна використовувати відповідні вимірювальні інструменти та рівні.

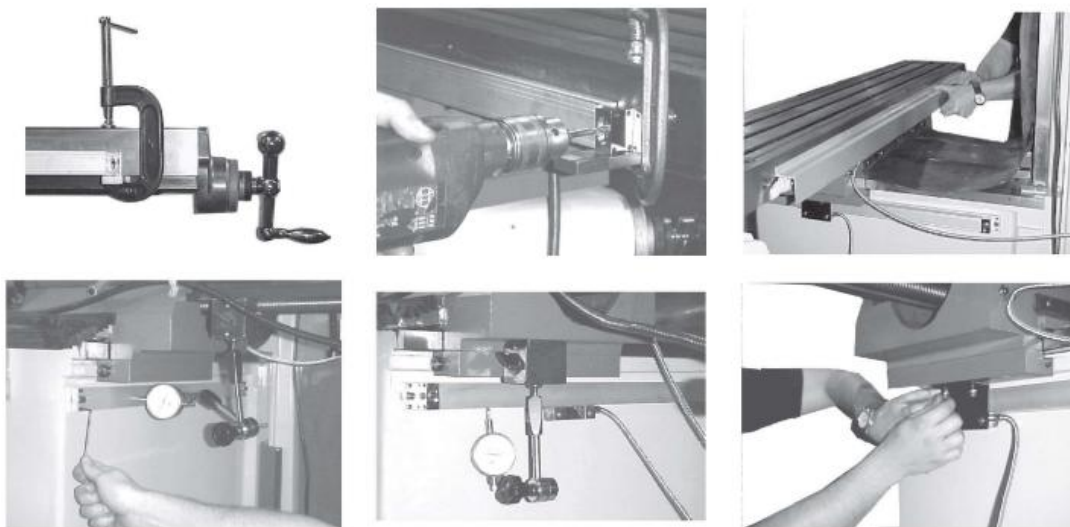


Рисунок 4.3 - Монтаж оптичної лінійки

Для вирівнювання при встановленні оптичних лінійок на верстати застосовують різноманітні вимірювальні інструменти з метою забезпечення точності та правильного положення лінійок.

Сам монтаж включає фіксацію лінійок на місці, враховуючи необхідну стійкість та жорсткість.

Після установки проводиться налаштування лінійок відповідно до вимог виробника та конкретних вимог обладнання. Калібрування забезпечує точність вимірювань.

Калібрування оптичних лінійок після їх встановлення на верстат має свої обґрунтовані причини, пов'язані з необхідністю забезпечення точності та надійності вимірювань. Одна з основних причин полягає у можливих похибках виробництва, які можуть виникнути під час виготовлення оптичних лінійок. Дрібні невідповідності чи непередбачені варіації під час виробництва можуть впливати на їхню точність.

Крім того, температурні коливання можуть впливати на розширення або стискання матеріалів лінійок, що також може призводити до змін у їхньому розмірі. Калібрування враховує ці температурні впливи та допомагає компенсувати їх, забезпечуючи стабільність вимірювань.

Узагальнюючи, калібрування оптичних лінійок на верстатах після їхнього встановлення є необхідним кроком для усунення можливих невідповідностей та забезпечення найвищої точності та надійності вимірювань в промислових та виробничих умовах.

Далі важливо перевірити роботу лінійок та провести тестові вимірювання. Якщо це необхідно, можна застосувати захисні елементи для запобігання забрудненням та пошкодженням лінійок. При монтажі слід дотримуватися конкретних рекомендацій та інструкцій виробника.

**Прямий монтаж** оптичних лінійок є простим і прямолінійним методом, що використовується для фіксації лінійок на поверхні верстату або іншого обладнання. Цей метод застосовується там, де не вимагається складних конструкцій, і важлива простота та пряме вимірювання.

Перш за все, важливо підготувати поверхню, на яку будуть закріплюватися лінійки. Це може включати в себе очищення поверхні від забруднень, перевірку рівності та гладкості.

Далі, визначається точне місце монтажу лінійок. Це може вимагати вимірювань та маркування для забезпечення точності встановлення. Лінійки потім прямо закріплюються на визначеному місці.

Фіксація лінійок може відбуватися за допомогою різних методів, таких як кріпильні елементи або клей. Важливо враховувати стійкість та жорсткість фіксації, оскільки це може впливати на точність вимірювань.

Однією з важливих частин прямого монтажу є вирівнювання лінійок. Вони повинні розташовуватися рівномірно та вирівняно для забезпечення точності вимірювань. Вимірювальні інструменти та рівні можуть використовуватися для досягнення правильного вирівнювання.

Після встановлення лінійок проводяться тестові вимірювання та перевірка для переконання в тому, що оптичні лінійки працюють коректно та відповідають вимогам точності.

Хоча прямий монтаж може бути ефективним для простих застосувань, важливо враховувати вимоги конкретного виробничого середовища та вимірювань, оскільки для деяких випадків може бути вигідніше використовувати інші методи монтажу.

Лінійки прямо монтується на верстат безпосередньо на поверхні, яку слід вимірювати. Цей метод може використовуватися там, де необхідно просте і пряме вимірювання без складних конструкцій.

Простий монтаж оптичних лінійок може бути використаний на верстатах для різноманітних цілей, таких як вимірювання, позначення, навігація і контроль.

**Монтаж з використанням спеціальних кріплень.** Монтаж оптичних лінійок з використанням спеціальних кріплень є важливим етапом в роботі з верстатами та обладнанням для забезпечення точних вимірювань та контролю. Розглянемо деталізований процес цього монтажу:

Початковим етапом є підготовка обладнання. Забезпечте, щоб поверхня верстата, на яку будуть встановлені оптичні лінійки, була чистою, рівною і вільною від будь-яких забруднень або перешкод.

Потім важливо вибрати або виготовити спеціальні кріплення, які відповідають конкретним характеристикам оптичних лінійок та вимогам верстата. Ці кріплення повинні забезпечувати надійність та точність утримання лінійок.

Після цього необхідно позначити місце установки лінійок, враховуючи вимоги точності та відповідності особливостям верстата. Маркування допомагає правильно розташувати кріплення та лінійки.

Перевірте оптичні лінійки на відсутність пошкоджень і правильне функціонування. Перед фіксацією кріплень переконайтеся, що вони надійно фіксуються до верстата та надають стійкість лінійкам під час роботи.

Встановіть оптичні лінійки на кріплення, слідкуючи за інструкціями виробника. Впевніться, що лінійки розташовані стійко та без зайвого напруження.

Використовуйте вимірювальні інструменти та рівні для вирівнювання лінійок. Важливо, щоб вони були розташовані точно та паралельно до напрямку вимірювань.

Якщо передбачено, зафіксуйте лінійки на місці за допомогою додаткових елементів кріплення чи затягніть болти/гайки для забезпечення додаткової стійкості.

Проведіть тестові вимірювання та перевірку, щоб забезпечити коректну роботу лінійок та їх відповідність вимогам точності.

Якщо потрібно, захистіть лінійки від зовнішніх впливів, наприклад, застосувавши захисні кришки або обтяжки.

В результаті виконання цих кроків ви отримаєте готові до використання оптичні лінійки, надійно закріплені та готові до забезпечення точних вимірювань і контролю на верстаті. Лінійки можуть бути закріплені за

допомогою спеціальних кріплень або державок, які дозволяють точно фіксувати їх на верстаті та легко вирівнювати.

**Вбудований монтаж** оптичних лінійок представляє собою метод, при якому лінійки встановлюються всередині конструкції верстата чи обладнання, забезпечуючи інтеграцію із самими елементами машини. Цей процес важливий для забезпечення надійності, точності і захисту лінійок від зовнішніх факторів. Розглянемо деталізований процес вбудованого монтажу без використання списків.

#### 1. Аналіз конструкції:

Спочатку проводиться детальний аналіз конструкції верстата або обладнання. Це включає вивчення його основних елементів, можливих просторів та конфігурації, щоб визначити, де можливо і доцільно вбудувати оптичні лінійки.

#### 2. Визначення оптимальних місць для розташування:

З урахуванням аналізу конструкції визначаються оптимальні місця для вбудованого розташування оптичних лінійок. Це може бути внутрішня частина рами, області рухомих частин або інші позначені точки.

#### 3. Підготовка внутрішнього простору:

Якщо конструкція не має вбудованих просторів для лінійок, може бути потрібно створити внутрішні жолоби чи канали. Це може включати в себе фрезерування або обробку внутрішніх областей для створення необхідних каналів.

#### 4. Розміщення лінійок:

Після визначення місць для розташування лінійок проводиться їх розміщення всередині конструкції. Це може включати точне встановлення у вбудовані канали або фіксацію на внутрішніх поверхнях.

#### 5. Фіксація та стійкість:

Забезпечення надійності зазвичай включає в себе фіксацію лінійок всередині конструкції. Це може виконуватися за допомогою спеціальних

деталей, що вбудовані в конструкцію, або інших засобів для забезпечення стійкості.

#### 6.Контроль вирівнювання:

Важливим етапом є контроль вирівнювання лінійок всередині конструкції для забезпечення правильності їх положення та високої точності вимірювань.

#### 7.Тестування та валідація:

Завершальний етап включає широкий спектр випробувань та перевірок всієї оптичної системи, а також валідацію правильності вбудованого монтажу. Цей етап вкладений для забезпечення високої робочої надійності та точності оптичних лінійок всередині верстата чи обладнання.

Тестування включає в себе аналіз реакції системи на різні умови експлуатації, такі як температурні зміни, вологість, забруднення та механічні впливи. Валідація правильності монтажу фокусується на відповідності геометричних параметрів та функціональних характеристик лінійок проектним вимогам.

Оптичні лінійки інтегруються в конструкцію верстата під час виробництва, що визначається їхньою стійкістю та високою точністю вимірювань. Широкий спектр випробувань дозволяє переконатися, що система може ефективно функціонувати в реальних умовах експлуатації. Такий комплексний підхід до тестування та валідації сприяє не лише впевненості в надійності та точності оптичних лінійок, але і оптимізації їхнього використання у конкретних умовах роботи.

**Магнітний монтаж** оптичних лінійок є інноваційним методом кріплення, в основі якого лежить використання магнітних сил для надійного утримання лінійок на верстаті чи іншому обладнанні. Цей підхід визначається декількома ключовими етапами.

Початковий етап — це вибір відповідних магнітів для монтажу. Важливо враховувати їх потужність та властивості. Магніти повинні бути достатньо сильними, щоб надійно утримувати лінійки, але в той же час не

настільки потужними, щоб викликати ускладнення при їх встановленні та видаленні.

Далі слід відзначити важливий етап — підготовку поверхні. Перш ніж встановлювати магніти, необхідно підготувати поверхню, на яку вони будуть закріплюватися. Це означає, що поверхня повинна бути ретельно очищена від забруднень, рівною та гладкою для забезпечення ефективного контакту з магнітами.

Після підготовки поверхні переходиться до непосредственного встановлення магнітів. Дотримання правильного розташування та взаємного відстаню магнітів дозволяє створити стійку та надійну основу для кріплення оптичних лінійок.

Після встановлення магнітів можна переходити до фіксації оптичних лінійок на верстаті. Цей процес дозволяє забезпечити їхню стійкість та

Узагальнюючи, магнітний монтаж оптичних лінійок є вдосконаленим рішенням для забезпечення швидкого, ефективного та стійкого кріплення на верстатах та обладнанні.

Лінійки можуть бути магнітно прикріплені до верстату за допомогою магнітів. Це дозволяє швидко встановлювати та знімати лінійки для обслуговування або заміни.

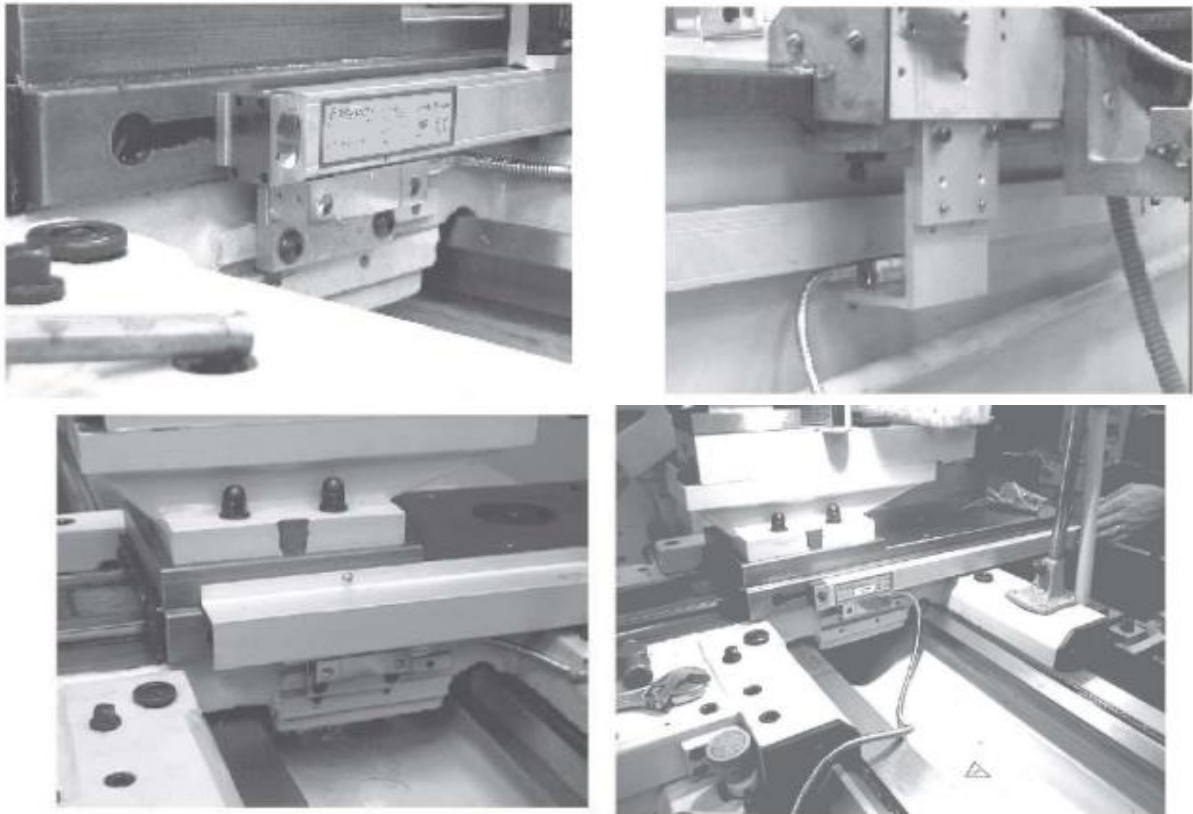


Рисунок 4.4 – Приклад встановленої оптичної лінійки

**Плаваючий монтаж** оптичних лінійок – це метод кріплення, який використовує гнучкі елементи чи подушки для дозволу лінійкам певною мірою плавати або компенсувати деякі невеликі рухи частин верстата чи обладнання. Цей підхід є особливо корисним в умовах, де можуть виникати невеликі коливання чи вібрації.

Основна ідея полягає в тому, щоб вбудувати гнучкі елементи або подушки, що амортизують рухи, в систему кріплення лінійок. Це може бути досягнуто за допомогою гумових або інших еластичних матеріалів, які здатні адаптуватися до невеликих коливань і утримувати лінійки у відносно стабільному положенні.

Один з аспектів плаваючого монтажу – це гнучкість конструкції, що дозволяє лінійкам рухатися у визначеному діапазоні. Це особливо корисно в

ситуаціях, де верстат чи обладнання може дещо коливатися або піддається вібраціям в процесі роботи.

Додатковим плюсом плаваючого монтажу є його здатність до компенсації теплового розширення матеріалів, що може виникати при зміні температури в робочому середовищі. Гнучкі елементи можуть певною мірою поглиблювати або компенсувати такі зміни розмірів, забезпечуючи стабільніше положення лінійок.

Плаваючий монтаж може бути вигідним у виробничих сферах, де важлива стабільність вимірювань, а також при використанні обладнання, яке викликає вібрації або рухи. Цей метод спрямований на оптимізацію точності та надійності вимірювань в умовах, коли інші методи можуть бути менш ефективними.

Лінійки можуть бути закріплені таким чином, що дозволяє їм трохи рухатися, щоб уникнути займання або деформації внаслідок теплового розширення.

Вибір конкретного методу монтажу залежить від вимог застосування, особливостей верстату і технічних характеристик оптичних лінійок. При виборі слід враховувати точність, стійкість до впливу зовнішніх факторів, можливість обслуговування та інші важливі параметри.

Плаваючий монтаж оптичних лінійок – це метод кріплення, який використовує гнучкі елементи чи подушки для дозволу лінійкам певною мірою плавати або компенсувати деякі невеликі рухи частин верстата чи обладнання. Цей підхід є особливо корисним в умовах, де можуть виникати невеликі коливання чи вібрації.

Основна ідея полягає в тому, щоб вбудувати гнучкі елементи або подушки, що амортизують рухи, в систему кріплення лінійок. Це може бути досягнуто за допомогою гумових або інших еластичних матеріалів, які здатні адаптуватися до невеликих коливань і утримувати лінійки у відносно стабільному положенні.

Один з аспектів плаваючого монтажу – це гнучкість конструкції, що дозволяє лінійкам рухатися у визначеному діапазоні. Це особливо корисно в ситуаціях, де верстат чи обладнання може дещо коливатися або піддається вібраціям в процесі роботи.

Додатковим плюсом плаваючого монтажу є його здатність до компенсації теплового розширення матеріалів, що може виникати при зміні температури в робочому середовищі. Гнучкі елементи можуть певною мірою поглиблювати або компенсувати такі зміни розмірів, забезпечуючи стабільніше положення лінійок.

Плаваючий монтаж може бути вигідним у виробничих сферах, де важлива стабільність вимірювань, а також при використанні обладнання, яке викликає вібрації або рухи. Цей метод спрямований на оптимізацію точності та надійності вимірювань в умовах, коли інші методи можуть бути менш ефективними.

Оптичні лінійки дозволяють величезний діапазон можливостей у сфері металообробки, деревообробки та інших виробничих галузях. Вони забезпечують точні вимірювання та контроль, що є ключовим для досягнення високої якості та ефективності виробничих процесів.

## 5. ПОРІВНЯННЯ ОПТИЧНИХ ЛІНІЙОК

### 5.1 Оптичні лінійки серії DC11

Оптичні лінійки виробництва компанії Ditrone вигідно поєднують в собі надійність і невисоку вартість. Спеціально спроектований алюмінієвий профіль особливої форми, з гумовими губками, захищає шкалу та електроніку від пошкоджень та попадання змашувально-охолоджуючої рідини. Водонепроникність та захист від пилу відповідають IP55.

Зчитуюча головка перетворювачів переміщається по напрямляючих корпусу лінійки на шарикопідшипникових опорах, що забезпечує низький коефіцієнт тертя, високу чутливість та тривалий термін експлуатації.

Для моделей DC11 (рис 5.1) відмінною особливістю є тонкий корпус, перерізом 20,5x31 мм., що дозволяє встановлювати ці лінійки на обладнанні з обмеженим простором, а також простота установки. Монтаж корпусу здійснюється за допомогою двох торцевих опор. Транспортвальна планка може залишатися на перетворювачі до закінчення монтажу.



Рисунок 5.1 – Оптичний перетворювач лінійних переміщень DC11-800

Діапазон довжини виміру від 50 до 1100 мм.

Дискретність моделей DC11 – 1 мікрон.

Поставляється з екранованим кабелем завдовжки 3 метри. Захищений від промислових перешкод та може експлуатуватися на електроерозійних верстатах.

Може використовуватися як пристрій зворотного зв'язку, що повідомляє про лінійне переміщення робочого органу верстата.

Пристрій цифрової індикації з комплектом правильно підібраних перетворювачів лінійних переміщень дозволяє в короткий термін і мінімальними витратами переобладнати всі види середніх та малих універсальних верстатів на верстата підвищеної точності.

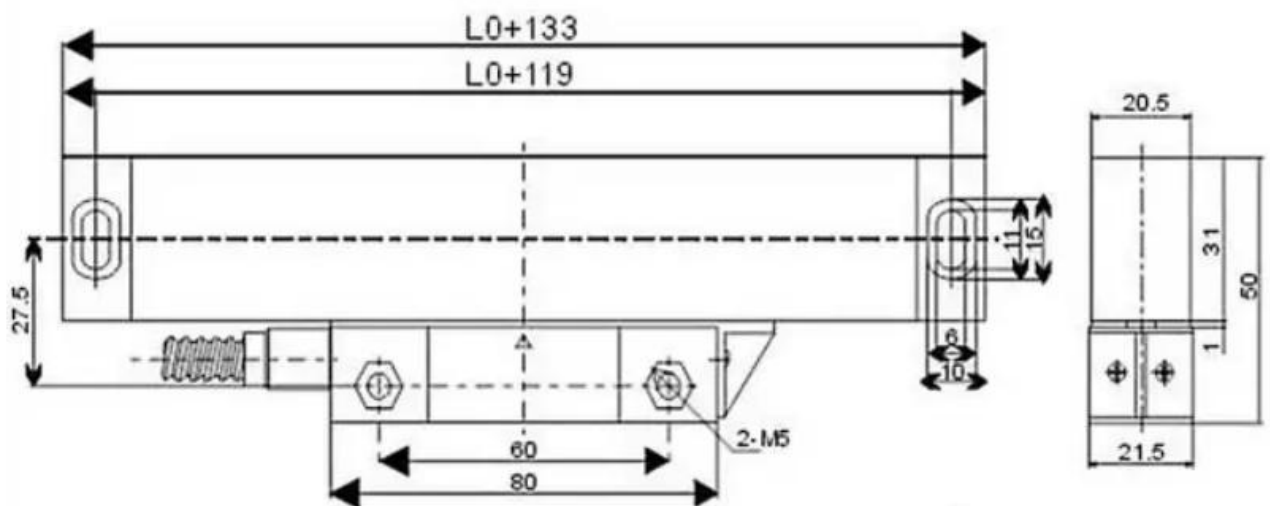


Рисунок 5.2 – Габаритні розміри DC11-800

Принцип дії – фотоелектричний, інфрачервоний випромінювач із довжиною хвилі 880 нанометрів. Референтні мітки: через 20 мм (рис 5.2).

Швидкість переміщення максимальна: 60 м/хв.

## 5.2 Оптичні лінійки серії MLC 410

Інкрементальна лінійка MLC 410 (рис 5.3), розрахована на роботу у діапазоні вимірювань до 2000 мм. У каталозі є варіація за довжиною 800 мм. Рекомендується для застосування в умовах високих швидкостей та вібрації, а також при обмеженому просторі для монтажу. Спеціальна конструкція точок кріплення мінімізує вимірювальну похибку через зміни температури. Крім того, MLC 410 містить спеціальну основу, яка сприяє покращенню характеристик в умовах вібрації.

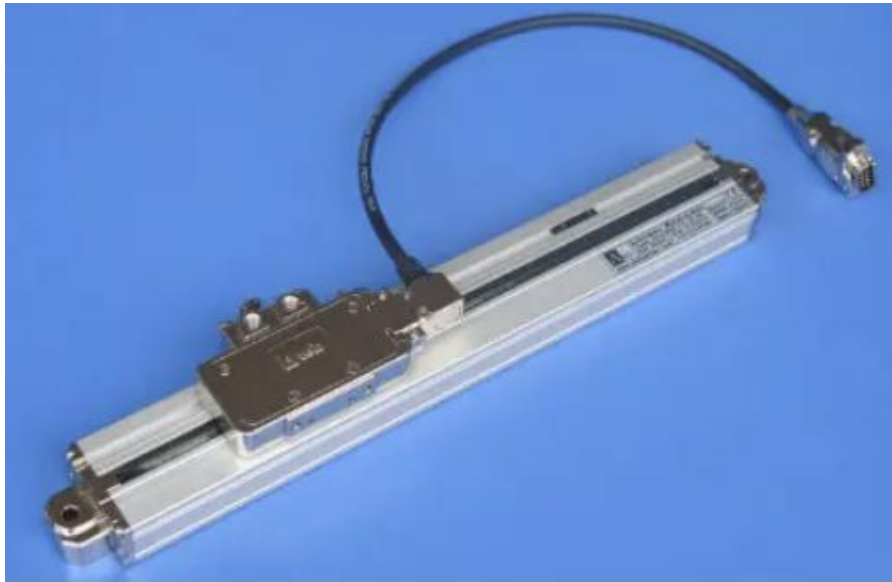


Рисунок 5.3 – Оптичний перетворювач лінійних переміщень MLC 410

На зчитувальній головці лінійки розташований кабельний вихід. Лінійка поставляється у зборі. Магнітна стрічка і головка, що зчитує, з'єднані з алюмінієвими напрямними, які можуть кріпитися безпосередньо на верстат.

Особливості даної оптичної лінійки:

- 1 висока стабільність сигналів
- 2 безконтактна зносостійка система
- 3 надійний екранований металевий корпус

- 4 ступінь захисту IP67
- 5 захищена від попадання бруду, пилу, вологи
- 6 стійкість до вібрацій та ударних навантажень
- 7 одинарна референсна точка
- 8 отвір для стисненого повітря в кінцевих блоках
- 9 подвійний захист напрямних.

### 5.3 Абсолютна оптична лінійка ЛІР-ДА7М

Оптична лінійка (рис.5.4) з роздільною здатністю до 0,1 мкм побудована ґрунтуючись на сучасній елементній базі та розрахований на вимірювання довжин до 730 мм. Видає унікальний двійковий код положення відразу після подачі напруги живлення, процедура референціювання (пошуку вихідного положення, виїзду в нуль) не потрібна. Інформація про досконале переміщення збережеться навіть при вимкненому живленні. Забезпечує надійну роботу у широкому діапазоні температур, ступінь захисту від зовнішніх впливів – IP53.



Рисунок 5.4 – Абсолютна оптична лінійка ЛІР-ДА7М

Конструктивне виконання із захисними ущільненнями забезпечує захист шкали та електроніки від пошкоджень, попадання мастильних матеріалів, охолоджувальної рідини та інших забруднювачів. Матеріал профілю – алюміній. Головка, що зчитує, уніфікована для всього модельного ряду. У стандартному виконанні поставляється з кабелем довжиною 1,5 або 3 метри, можливе виконання з кабелем у металевій гофрі. Монтаж корпусу за дві торцеві опори та наявність транспортувальної планки забезпечують простоту в установці.

Електричні параметри, вихідні інтерфейси, роздільна здатність

Має напругу живлення 5В. Вибір роздільної здатності лінійного енодера до 0,1 мкм, кількість розрядів – до 30 біт. Інтерфейс вихідного сигналу – SSI, Fanuc a, Fanuc ai, BiSS-C.

#### 5.4 Порівняння оптичних лінійок

Вибір оптичної лінійки є важливим завданням, оскільки від нього залежить точність і надійність вимірювань. При виборі оптичної лінійки необхідно враховувати наступні фактори:

- довжина виміру оптичної лінійки - це параметр, який визначає максимальну відстань, яку можна виміряти за допомогою лінійки. Довжина виміру оптичних лінійок зазвичай становить від 50 до 1000 мм.

Вибір довжини виміру оптичної лінійки залежить від конкретних потреб застосування. Для точних вимірювань рекомендується використовувати лінійки з максимальною довжиною виміру. Це дозволить вимірювати відстані без необхідності переміщення лінійки.

Для токарного верстата АТПР-800 рекомендується використовувати оптичну лінійку з довжиною виміру не менше 600 мм. Це забезпечить можливість вимірювання відстаней, необхідних для виконання таких завдань,

як визначення точності обробки, налаштування верстата та контроль якості деталей.точність. Це один з найважливіший фактор, який необхідно враховувати при виборі оптичної лінійки;

- дискретність. Дискретність оптичної лінійки - це параметр, який визначає мінімальну відстань, яку можна виміряти за допомогою лінійки. Чим менша дискретність лінійки, тим точніше будуть вимірювання.

Для токарного верстата АТПР-800 рекомендується використовувати оптичну лінійку з дискретністю не більше 1мм. Це забезпечить високу точність вимірювань, необхідну для виконання таких завдань, як визначення точності обробки, налаштування верстата та контроль якості деталей.

Таким чином, дискретність оптичної лінійки є важливим параметром, який слід враховувати при виборі лінійки для токарного верстата АТПР-800.;

- відстань референтних точок в оптичних лінійках є важливим параметром, який визначає точність вимірювань. Відстань між референтними точками - це відстань між двома точками на лінійці, які використовуються для визначення положення точки на лінійці

Оптичні лінійки з меншою відстанню між референтними точками забезпечують більш високу точність вимірювань. Це пов'язано з тим, що при меншій відстані між референтними точками помилка вимірювання положення точки буде меншою.

- тип оптичної лінійки залежить від конкретних вимог до точності вимірювань. Для точних вимірювань рекомендується використовувати інкрементальну оптичну лінійку.

Для токарного верстата АТПр-800 рекомендується використовувати інкрементальну оптичну лінійку. Це забезпечить високу точність вимірювань, необхідну для виконання таких завдань, як визначення точності обробки, налаштування верстата та контроль якості деталей;

- клас захисту оптичної лінійки - це параметр, який визначає її стійкість до впливу зовнішніх факторів, таких як пил, вода та струм.

Класи захисту оптичних лінійок зазвичай позначаються літерами IP, за якими слідує два числа. Перше число означає ступінь захисту від проникнення твердих частинок, а друге - ступінь захисту від проникнення води;

- вартість. Оптичні лінійки мають широкий діапазон цін. При виборі лінійки необхідно враховувати фінансові можливості виробництва.

Алгоритм обрання оптичної лінійки за сформованими критеріями, з оглядом на вимоги замовника (табл. 5.2).

Таблиця 5.1 – Моделі оптичних систем для порівняння

	Пропозиція №1	Пропозиція №2	Пропозиція №3
Фірма	Ditron	АТЕК Sensor Technologies	Skbis
Модель	DC11-800	ЛІР-ДА7М	MLC 410

Таблиця 5.2 – Критерії оптимізації для конкурентних пропозицій

Довжина виміру, дискретність, відстань референтних точок, абсолютний чи інкрементальний тип первинно вимірювального перетворення, максимальна швидкість переміщення, клас захисту, ціна.								
№ критерію	Критерії оптимізації	Вимоги замовника	Пропозиція №1/ Оцінка критеріїв		Пропозиція №2/ Оцінка критеріїв		Пропозиція №3/ Оцінка критеріїв	
1	Довжина виміру	800 мм	до 1100 мм	1,4	до 2000мм	2,5	до 1240мм	1,5
2	Дискретність	1мкм	1мкм	1	5мкм	0,2	1мкм	1
3	Відстань референтних точок	через 20 мм	20мм	1	100мм	0,2	-	-
4	Абсолютний / інкрементальний	Інкремент.	Інкр.	1	Інкр.	1	Абс.	0
5	Максимальна швидкість переміщення	1.7 м/с	2 м/с	1,2	2 м/с	1,2	3 м/с	1,8



Далі використаємо ранжування критеріїв оптимізації - це процес визначення важливості різних критеріїв, які необхідно враховувати при виборі рішення.

Ранжування критеріїв може бути проведено за допомогою різних методів. Одним із найпростіших методів є метод експертних оцінок. При цьому методі експерти присвоюють кожному критерію певну кількість балів, які відображають його важливість.

Таблиця 5.4 – Ранжування критеріїв оптимізації

№ критерію	Критерії Оптимізації від замовника	Стратегія	Оцінка критерію
1	Довжина виміру	0.15	Важливий
2	Дискретність	0.26	Головний
3	Відстань референтних точок	0.19	Важливий
4	Абсолютний / інкрементальний	0.19	Важливий
5	Максимальна швидкість переміщення	0.09	Корельований
6	Клас захисту	0.06	Корельований
7	Ціна	0.06	Корельований
Загалом		1.0	

Визначивши характеристики та критерії обчислемо матрицю вибору вимірювальних систем.

Таблиця 5.5 – Матриця вибору оптичних вимірювальних систем

Критерій оптимізації	Пропозиція №1/ Ditron	Пропозиція №2/ АТЕК Sensor Technologies	Пропозиція №3/ Skbis
1	$0.15 * 1.4 = 0.21$	$0.15 * 2.5 = 0.38$	$0.15 * 1.5 = 0.23$
2	$0.26 * 1 = 0.26$	$0.26 * 0.2 = 0.05$	$0.26 * 1 = 0.26$
3	$0.19 * 1 = 0.19$	$0.19 * 0.2 = 0.04$	-
4	$0.19 * 1 = 0.19$	$0.19 * 1 = 0.19$	$0.19 * 0 = 0$

Кінець таблиці 5.5

5	$0.09 \cdot 1.2 = 0.01$	$0.09 \cdot 1.2 = 0.01$	$0.09 \cdot 1.8 = 0.16$
6	$0.06 \cdot 1 = 0.06$	$0.06 \cdot 1.3 = 0.06$	$0.06 \cdot 0 = 0$
7	$0.06 \cdot 1.9 = 0.12$	$0.06 \cdot 0.6 = 0.04$	$0.06 \cdot 1 = 0.06$
Загалом	1.04	0.77	0.71

### 5.5 Повірка оптичних лінійок на верстатах з ЧПУ

Оптичні лінійки, що використовуються в системах ЧПУ токарно-лобових верстатів, підлягають ретельній перевірці для забезпечення їхньої надійної та точної роботи.

Методи перевірки включають в себе:

1. Вимірювання з використанням високоточних приладів: одним з основних методів перевірки є використання мікрометрів, калібрів та інших високоточних вимірювальних інструментів (рис. 5.5).

2.

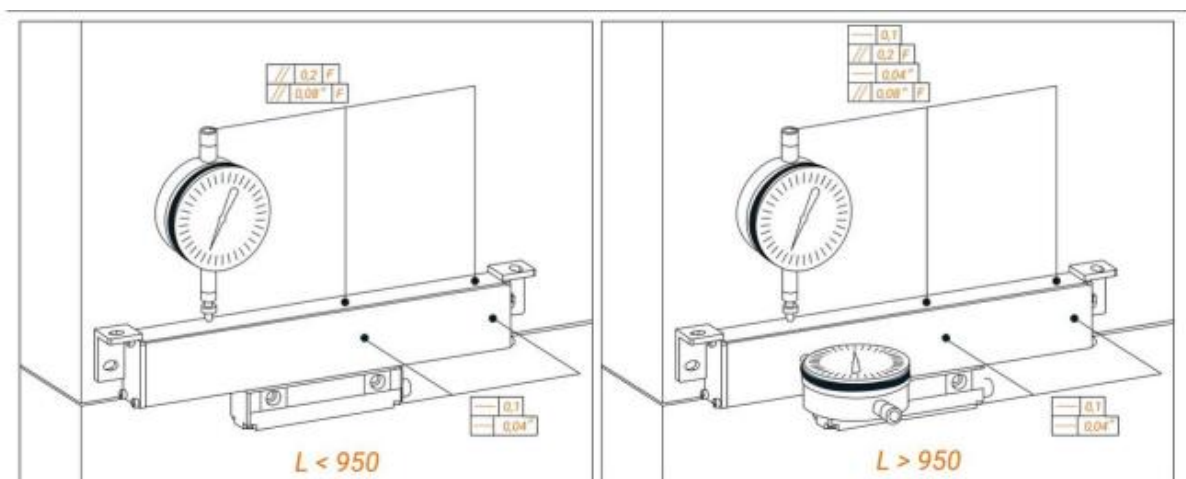


Рисунок 5.5 – Повірка похибок експлуатації

Ці прилади дозволяють вимірювати розміри та відхилення з високою точністю, що необхідно для перевірки робочої ефективності оптичних лінійок;

3. Тестування стабільності сигналу: Спеціалізовані електронні пристрої використовуються для аналізу сигналів, що генеруються оптичною лінійкою. Це включає в себе моніторинг частоти, амплітуди та інших параметрів сигналу для виявлення будь-яких аномалій або відхилень;

4. Візуальна інспекція: Регулярна візуальна перевірка оптичної лінійки допомагає виявляти забруднення, пошкодження або ознаки зношення. Це може включати в себе перевірку на наявність подряпин, пилу, масла або інших забруднень, які можуть впливати на її точність;

5. Діагностичні засоби в системі ЧПУ: Сучасні системи ЧПУ можуть мати вбудовані діагностичні функції, які надають інформацію про стан оптичних лінійок. Це дозволяє операторам моніторити стан системи в реальному часі і виявляти проблеми або відхилення, які можуть виникнути під час роботи;

6. Калібрування системи: Регулярне калібрування оптичних лінійок є важливим для забезпечення їхньої відповідності вимогам точності. Цей процес включає в себе порівняння вимірювань оптичної лінійки з відомими стандартами та коригування налаштувань за потреби. вимірювання з використанням високоточних приладів, таких як мікрометри та калібри. Важливо також періодично перевіряти паралельність і перпендикулярність рухомих елементів, адже правильна орієнтація зчитувальної головки відносно оптичної шкали визначає точність роботи верстата.

Сучасні системи ЧПУ також можуть мати вбудовані діагностичні засоби для моніторингу стану оптичних лінійок і виявлення можливих проблем. Використання таких засобів дозволяє ефективно вирішувати та усувати неполадки в роботі верстата.

Ці методи дозволяють забезпечити не лише високу точність роботи верстата, але й продовжити термін його служби шляхом своєчасного виявлення та усунення можливих проблем.

## ВИСНОВКИ

В ході проекту проведено аналіз конструкції верстату мод. АТПр-800. Даний верстат має технологічно проблему – похибка позиціонування при виході в «нуль». Було проаналізовано встановлені вимірювальні системи для контролю переміщень. В якості вирішення проблеми похибки позиціонування запропоновано встановити лінійні вимірювальні системи. Було розглянуто особливості конструкції та монтажу різних типів лінійних оптичних систем.

Зважаючи на вимоги замовника було обрано 3 пропозиції лінійних вимірювальних систем різних фірм виробників. Для визначення найоптимальнішого варіанту було складено матрицю парних порівнянь характеристик систем і матриця порівня в залежності від вимог замовника.

За результатами аналізу матриць, оптимальною вимірювальною системою є модель DC11-800 фірми «Ditron».

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Кочергин А.И. Конструирование и расчет металлорежущих станков и станочных комплексов: Курсовое проектирование: Учеб. Пособие для машиностроительных спец. вузов.- Минск,:Вышейш. шк., 1991. - 388 с.
2. Металлорежущие станки: учебник. В 2 т. / В.В. Бушуев, А.В. Еремин, А.А. Какойло и др.; под ред. В.В. Бушуева. Т. 2. - М.: Машиностроение, 2011. — Т. 1 – 608 с., Т. 2 - 586 с.
3. Тексти (конспект) лекцій з дисципліни “Обладнання для новітніх технологій” для студентів спеціальності 133 “Галузеве машинобудування” спеціалізація “Металорізальні верстати та системи” та студентів спеціальності 131 “Прикладна механіка” спеціалізації “Технологія машинобудування” усіх форм навчання /Укл. В.В. Солоха. - Запоріжжя: НУ «ЗП», 2022. - 136 с.
4. Стискін Г.М. Технологічні основи програмування обробки деталей на верстатах з числовим програмним керуванням / Г.М. Стискін, М.П.
5. Металлорежущие системы машиностроительных производств: Учебное пособие для ВУЗов / Под ред. О.В. Татарынова. 2-е изд., доп. и перераб. – М.: МГИУ, 2006. – 488 с.
6. Alejandro I., Artes M. Machine tool errors caused by optical linear encoders //Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part B: Journal of Engineering Manufacture. – 2004. – Т. 218. – №. 1. – С. 113-122.
7. Сучасне металорізальне обладнання з ЧПК та інструментальні системи: Навч посібник/Під ред.. Грицяя І.Є. – Львів: Видавництво «Растр-7», 2008.-240с.
8. Берлинер Э.М. ПОВЫШЕНИЕ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ ЗАГОТОВОК НА СТАНКАХ С ЧПУ [Текст]/Берлинер Э.М.// Горный информационно-аналитический бюллетень (научно-технический журнал) – 2012. – С.219-222

9. Ткачук А.А. ОЦЕНКА ТОЧНОСТИ ПОЗИЦИОНИРОВАНИЯ СТАНКОВ С ЧПУ МОД. 16K20Ф3 И 6P13Ф3 [Текст]/А.А. Ткачук.// Наука и техника Казахстана. – 2008. - №2. – С.51-56

10. Точность и качество обработки на современных станках [Электронный ресурс]. - <https://infofrezer.ru/stati/tochnost-i-kachestvo-obrabotki-nasovremennykh-frezernykh-stankakh-s-chpu/>

11. Тексти (конспект) лекцій з дисципліни «Вимірювальні системи та сертифікація» для студентів спеціальності 133 «Галузеве машинобудування» усіх форм навчання / Укл.: С.В. Танченко – Запоріжжя: НУ «Запорізька політехніка», 2021. – 84 с. /

12. How do magnetic linear encoders differ from optical versions? [Електронний ресурс]. - <https://www.linearmotiontips.com/how-do-magnetic-linear-encoders-differ-from-optical-versions>

13. Оптические линейки [Электронный ресурс]. - <http://stankoservis.by/index.php/stati/171-st-3>

14. Комплектні рішення для верстатів з ПЧПК [Електронний ресурс]. - <https://cnc-srs.com.ua/ua/p1111057398-mkm-750-fotoelektricheskij.html>

15. Конспект лекцій з дисципліни «Управління якістю». Для студентів спеціальностей: 133 Галузеве машинобудування - освітня програма «Металорізальні верстати та системи»; 131 Прикладна механіка - освітня програма «Технології машинобудування» усіх форм навчання / Укл.: М.В.Фролов, С.І. Дядя. – ЗНТУ, 2018. – 154 с.