

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
(повне найменування закладу вищої освіти)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки  
(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій  
(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## Пояснювальна записка


до кваліфікаційної роботи


магістр


(ступінь вищої освіти)

на тему Модернізація системи керування електроприводом головного руху токарного верстата з ЧПК та дослідження режимів його роботи

Виконав: студент б курсу, групи 601МЕ  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»  
(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Шкицький О.С.   
(прізвище та ініціали)


Керівник Леві Л.І.   
(прізвище та ініціали)

Рецензент Білас М.В.   
(прізвище та ініціали)

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»  
Інститут Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і  
робототехніки  
Кафедра Автоматики, електроніки та телекомунікацій  
Ступінь вищої освіти Магістр  
Спеціальність 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка»

### ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри автоматки,  
електроніки та телекомунікацій

  
\_\_\_\_\_ О.В. Шефер  
“ 04 ” 09 2023 р.

## З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ Шкицькому Олександрю Сергійовичу

1. Тема проекту (роботи) **«Модернізація системи керування електроприводом головного руху токарного верстата з ЧПК та дослідження режимів його роботи»**  
керівник проекту (роботи) Лєві Леонід Ісаакович, д.т.н., професор  
затверджена наказом вищого навчального закладу від “04” 09 2023 року № 986-фа
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 13.12.2023 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технологічна документація токарного верстату ТПК125ВН2.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Технологічна частина проектування. Модернізація приводу головного руху. Модернізація системи керування. Модернізація приводу головного руху та системи керування. Модернізація системи керування та дослідження її роботи. Розробка керуючої програми та її випробування. Висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
- 1) Верстат токарний ТПК125ВН2 загальний вид
  - 2) Схема кінематична верстату ТПК125ВН2
  - 3) Привод головного руху станка ТПК125ВН2
  - 4) Креслення оброблюваної деталі
  - 5) Висновки

6. Дата видачі завдання 02.10.2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН


Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітки (плакати)
		Дата	Категорія	Відсоток	
1	Технологічна частина проектування	11.10.23		15%	Пл. 1
2	Модернізація приводу головного руху	18.10.23	I	30%	Пл. 2
3	Модернізація системи керування. Установка, підключення і опис програмованих параметрів перетворювача частоти	25.10.23		40%	Пл. 4
4	Дослідження точності позиціонування	14.11.23		50 %	Пл. 5
5	Обробка деталі-представника	21.11.23	II	60%	Пл. 6
6	Розрахунок режимів різання на операції	28.11.23		70%	Пл. 7
7	Розробка керуючої програми для програмного забезпечення Mach3/Fanuc 21i	06.12.23		90%	Пл. 8
8	Оформлення магістерської роботи	13.12.23	III	100%	Пл. 9

Магістрант

  
( підпис )

Шкицький О.С.  
( прізвище та ініціали )

Керівник роботи

  
( підпис )

Леві Л.І.

( прізвище та ініціали )

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	6
ВСТУП.....	7
1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ПРОЄКТУВАННЯ.....	9
1.1. Призначення і область застосування верстата.....	9
1.2. Основні технічні характеристики верстата.....	11
1.3. Загальні вимоги до електроприводів токарних верстатів.....	12
1.4. Привід головного руху.....	14
1.5. Привід подач.....	16
1.6. Обґрунтування тематики проектування.....	16
1.7. Висновки за розділом.....	17
2. МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ ТА СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ.....	19
2.1. Спосіб модернізація приводу головного руху.....	19
2.2. Розрахунок поліклінової передачі.....	20
2.3. Розрахунок шпиндельного вузла на жорсткість.....	25
2.4. Уточнений розрахунок опор шпинделя.....	32
2.5. Електрообладнання базового станка.....	32
2.6. Модернізація електроприводів.....	37
2.7. Система керування станка на базі CNC-контролера.....	43
2.8. Висновки за розділом.....	45
3. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЇЇ РОБОТИ.....	47
3.1. Установка, підключення і опис програмованих параметрів перетворювача частоти.....	47
3.2. Дослідження точності позиціонування.....	49
3.3. Висновки за розділом.....	64
4. РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ТА ЇЇ ВИПРОБУВАННЯ.....	65
4.1. Розрахунок режимів різання на операції.....	65

4.2. Розробка керуючої програми для програмного забезпечення Mach3/Fanuc 21i.....	67
4.3. Висновки за розділом.....	73
ВИСНОВКИ.....	74
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	75
Додаток А.....	77
Додаток Б.....	87
Додаток В.....	98

## ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ПК – персональний комп'ютер

ОС – операційна система

ЧПК – числове програмоване керування

Linux CNC - програмна система для числового програмного керування машин та верстатів

Mach3 – програмне забезпечення для керування верстатом з ЧПК.

## ВСТУП

У навчальних закладах та на промислових підприємствах знаходиться велика кількість верстатів з числовим програмним управлінням, непрацездатних через несправність або моральне старіння систем ЧПК.

В контексті наведеної ситуації, важливим стає вдосконалення та оновлення парку верстатів з ЧПК, які знаходяться в освітніх та промислових установах. Значна частка цих верстатів, виготовлених у період з 70-х по 90-ті роки, втратила свою функціональність через технічну застарілість або відмову систем ЧПК

Однак оснащення промисловими системами типу Fanuc, Sinumeric і т.д. потребує значних фінансових вкладень. Вартість нового верстата з ЧПК складає від 800 тис. гривень. Заміна системи ЧПК - від 200 тис. гривень. Враховуючи вік та залишковий ресурс механічної частини обладнання, такі вкладення мають певний ризик.

У зв'язку з цим модернізація верстатів з ЧПК 70-х – 90-х років випуску доцільна із застосуванням комп'ютерного керування.

Для керування верстатами від персонального комп'ютера застосовується спеціалізоване програмне забезпечення Linux CNC, Mach3 тощо. У цих системах використовуються мови програмування сумісних із промисловими системами ЧПК.

Для сполучення персонального комп'ютера з приводами верстата використовуються CNC-контролери, призначені для керування синхронними кроковими та серводвигунами, а також допоміжними пристроями верстатів – револьверними головками, маніпуляторами тощо.

Базовий верстат оснащений двигуном подач ШД-5Д1МУ3. Даний двигун є 12 полюсним з пасивним ротором, у якого напруга живлення становить 48 вольт. Однак аналіз літературних джерел показав, що сучасні контролери розраховані на керування дво-, чотири-, шести-полюсними двигунами, тому застосування базових двигунів виявилось неможливим.

Замість базового був обраний двигун GB23H282-30-4B, що має приблизно такий самий крутний момент. При цьому його габарити суттєво менші.

Для керування була обрана плата марки HY-TB3DV-N 3 Axis, яка служить для керування двигунами та підключення до ПК із встановленим програмним забезпеченням Mach3 або LinuxCNC.

Привід головного руху керування від персонального комп'ютера необхідно модернізувати через підключення CNC-контролера до тиристорного перетворювача через узгоджуючий перетворювач напруги. Також можлива заміна на частотно-регульований привід головного руху.

Ці заходи мають на меті не лише продовження експлуатації існуючих верстатів, а й підняття їхньої ефективності та придатності до сучасних виробничих вимог. Модернізація з використанням персональних комп'ютерів та CNC-контролерів стає обґрунтованим та перспективним шляхом апгрейду промислового обладнання, зменшуючи витрати та забезпечуючи високий рівень автоматизації.



## 1. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА ПРОЄКТУВАННЯ

### 1.1 Призначення і область застосування верстата

Верстат токарний патронний високої точності ТПК125ВН2 (Рисунок 1.1) з числовим програмним керуванням (ЧПК) призначений для патронної обробки деталей за програмою управління.



Рисунок 1.1 – Токарний верстат ТПК125ВН2

На верстаті можна проводити розточування і обточування циліндричних, конічних і фасонних поверхонь, нарізування різьблення кріплення, підрізування торців, проточку канавок.

На верстаті змонтований роботизований технологічний комплекс, що складається з магазину та робота пневматичного РП-901, призначеним для захоплення заготовлі з магазину, переміщення та встановлення в токарний патрон, а після обробки захоплення обробленої деталі в патроні, переміщення та укладання її в той же магазин.

Для забезпечення високої точності обробки та збільшення часу зберігання точнісних параметрів верстата рекомендовано глибину різання встановлювати не більше, ніж 0,5 мм на сторону. Програмне управління верстатом дозволяє обробляти деталі складного профілю з великою кількістю переходів в

автоматичному режимі, що є економічно вигідним для багатомоделного серійного та дрібно серійного виробництва.

У режимі автоматичного управління верстат може працювати одночасно по двох координатах з автоматичною зміною інструмента.

Верстат оснащується системою ЧПК H22-1TM1. Для керування верстатом від системи, що складається з CNC-контролера та персонального комп'ютера, необхідна заміна двигунів приводу подачі і приводу головного руху.

У системі ЧПК H22-1TM1 програма визначає координати опорних точок кривої, вздовж якої рухається робочий орган верстата; пристрій апроксимує відрізки між опорними точками методом лінійної або кругової інтерполяції та видає управляючі сигнали на привод. Крім інформації про геометричне переміщення, у програмі зазначають швидкість обробки та технологічні команди, які управляють автоматикою верстата, а також відомості про режим роботи пристрою. Програміст технолог визначає відстань, напрямок руху, швидкість подачі та технологічні команди щодо креслення деталі та технології обробки.

Кінематична схема верстата наведена на рисунку 1.2.

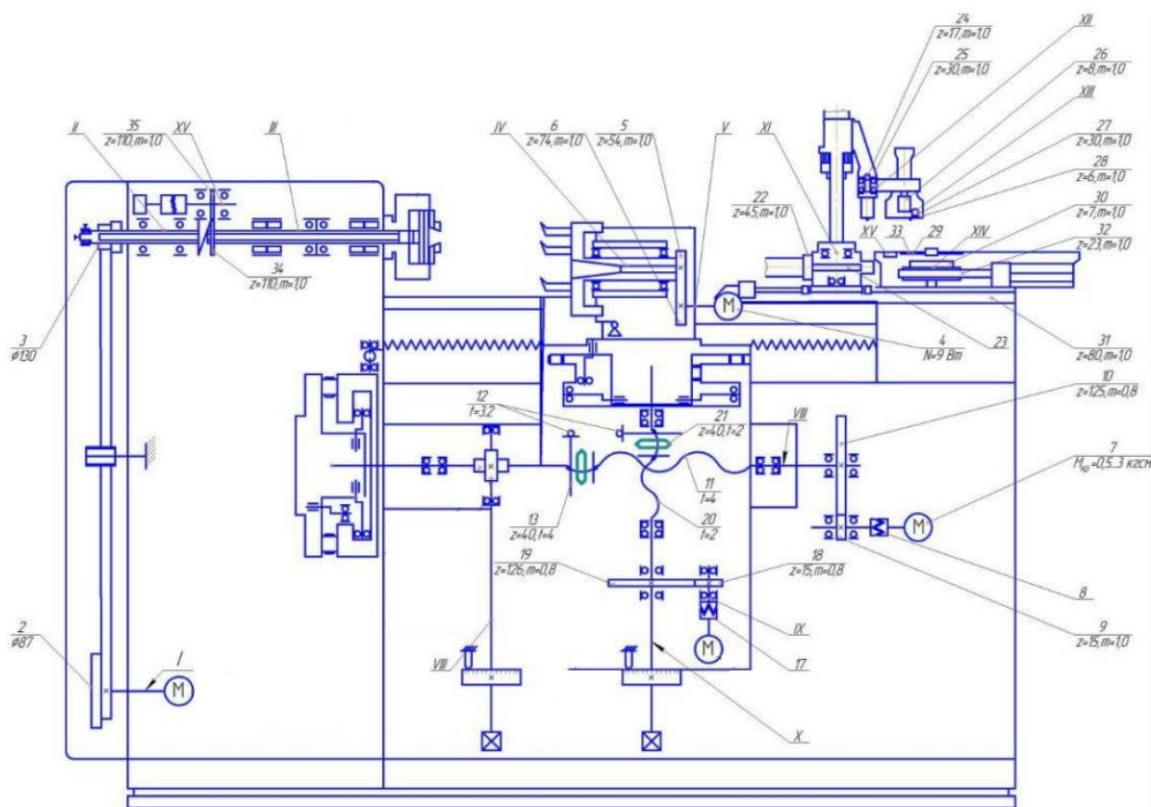


Рисунок 1.2 – Кінематична схема верстату ТПК125ВН2

## 1.2 Основні технічні характеристики верстата

Технічні характеристики та основні параметри верстату ТПК125ВН2 наведено в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1.

Найменування параметра	ТПК-125ВН2
Основні параметри верстату	
Клас точності по ГОСТ 8-82	В
Найбільший діаметр заготовки, мм	125
Рекомендований діаметр обробки, мм	125
Найбільший діаметр обробки при автоматичному завантаженні, мм	60
Найменший діаметр обробки при автоматичному завантаженні, мм	5
Діаметр отворів в шпинделі	
Найбільша довжина виробів встановлених в патроні, мм	100
Найбільша довжина виробів при автоматичному завантаженні, мм	50
Найменша довжина виробів при автоматичному завантаженні, мм	4
Висота різця, встановленого в різцетримачі, мм	12
Кількість одночасно керованих координат	2
Допустима маса заготовки із сталі, кг	0,25
Шпиндель	
Діапазон чисел обертів шпинделя, об/хв	30..3000
Подачі	
Дискретність завдання перемещення поздовжнього (Z)/ поперечного (X), мм	0,002 / 0,001
Нестабільність автоматичної зупинки поздовжнього (Z)/ поперечного (X), мм	0,002 / 0,001
Точність позиціонування поздовжнього (Z) и поперечного (X), мм	±0,01

Шерховатість поверхні при обробці виробів із сталі, мкм	1,25
Шерховатість поверхні при обробці виробів из кольорових металів, мкм	0,32
Найбільше переміщення супорта: поздовжнє (Z)/ поперечне (X), мм	180 / 110
Діапазон швидкостей поздовжніх подач, мм/хв (мм/об)	6..180
Діапазон швидкостей поперечних подач, мм/хв (мм/об)	3..90
Швидкість швидких повздовжніх/ поперечних ходів, мм/хв	800 / 400
Кількість позицій на поворотному різцетримачу (число інструментів в револьверній головці)	6
Електрообладнання і привод верстату	
Напруга живлення верстату	~220 В
Напруга кола керування, В	~24 В
Напруга кола освітлення, В	~24 В
Електродвигун головного приводу, кВт	2
Електродвигун подач	ПБСТ–32
Габарити і маса верстату	
Габаритні розміри верстата с ЧПК (довжина, ширина, висота), мм	1680 * 920 * 1520
Маса верстата з ЧПК, кг	2100

### 1.3 Загальні вимоги до електроприводів токарних верстатів

На токарних верстатах застосовуються електроприводи головного руху, подач та допоміжні.

Головний привод повинен мати функцію реверсу, для забезпечення нарізання правої чи лівої різьби.

Регулювання швидкості шпинделя повинно здійснюватися в діапазоні  $D \leq (100 \div 125)$  і вище з коефіцієнтом регулювання рівним 1,06 та 1,21 приблизно при постійній потужності, чого вимагає технологічний процес.

В усталених режимах електропривод повинен забезпечувати жорсткі механічні характеристики в усьому діапазоні регулювання швидкості зі статизмом не більше 10% при зміні навантаження від холостого ходу до максимального. У перехідних процесах бажано здійснити плавний пуск і гальмування для уникнення небезпечних стрибків струму, а також для виключення різких ударів в передачах коробки швидкості. Для більш інтенсивної зупинки необхідно мати можливість примусового гальмування головного привода.

Привод подачі виконується реверсивним, для забезпечення подачі в будь-яку сторону та здійснювати підведення та відведення інструмента.

В процесі обробки виробів необхідно підтримувати сталість швидкості різання та подачі. Відхилення від вибраної швидкості викликає погіршення якості обробки та зниження продуктивності. Причиною можливої зміни швидкості можуть бути зміна навантаження і напруги мережі, нагрівання привода при тривалій роботі та інше. Електропривод повинен підтримувати сталість частоти обертання механізмів при наявності впливу цих факторів.

Схема автоматичного керування токарного верстата повинна забезпечувати керування електроприводами для здійснення усіх технологічних режимів верстата. Крім основної роботи у ній передбачені налагоджувальні режими головного привода, подачі з малими швидкостями. У схемі керування необхідно використовувати простий електричний захист двигунів і апаратів, блокування, забороняючі пуск головного привода при недостатній циркуляції мастила в системі змащування, нефіксованому положенні ручки механізму коробки швидкості та блокуванні, забороняючі та обмежуючі переміщення суппорта і т.і.

В схемі повинні бути передбачені світлова чи звукова індикація, наприклад для контролю стану системи змащування. Керування електроприводами верстата повинно здійснюватися дистанційно і зосереджуватися в зручному для обслуговування місці.

### 1.4 Привід головного руху

Роздільний привід головного руху виконується так, що шпиндельний вузол розташовується в окремому корпусі, а коробка швидкостей у вигляді приставного або окремого вузла з ручним або автоматичним управлінням.

Безступінчаста зміна частот обертання шпинделя забезпечується регулюванням частоти обертання вихідної ланки: двигуна.

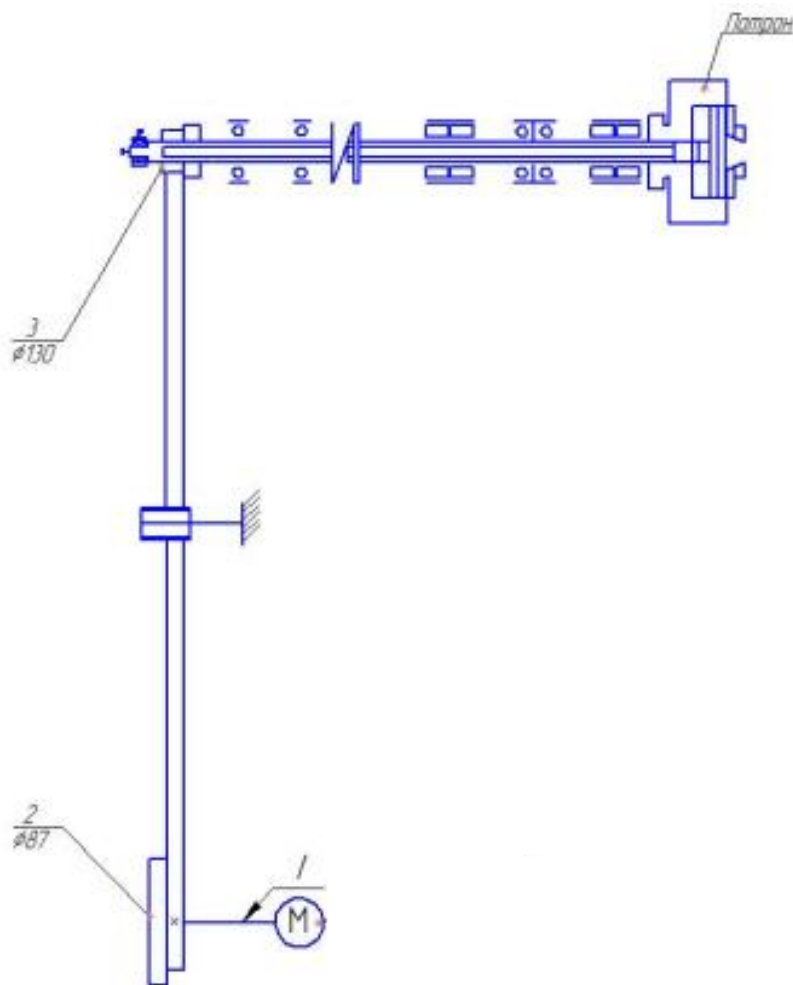


Рисунок 1.3 – Схема шпиндельного вузла з приводом головного руху верстату ТПК125ВН2.

Приводом головного руху верстата ТПК125ВН2 є двигун постійного струму, що працює спільно з тиристорним перетворювачем, обертання передається шпинделю за допомогою поліклинової передачі.

Діапазон регулювання частот обертання двигуна  $n_{дв} = 45 \dots 3000$  об/хв.

Передавальне відношення ремінної передачі приводу головного руху визначаємо за формулами:

$$i_1 = \frac{d}{D};$$

$$i_2 = \frac{D}{d}$$

де  $d$  – діаметр меншого шківа;

$D$  – діаметр більшого шківа.

$$i_1 = \frac{87}{130} = 0,67;$$

$$i_2 = \frac{130}{87} = 1,494$$

Визначаємо діапазон частот обертання шпинделя:

$$n_{1\text{шп max}} = 3000 \cdot 0,67 = 2007 \text{ об/хв};$$

$$n_{1\text{шп min}} = 45 \cdot 0,67 = 30,15 \text{ об/хв}.$$

$$n_{2\text{шп max}} = 3000 \cdot 1,494 = 4482 \text{ об/хв};$$

$$n_{2\text{шп min}} = 45 \cdot 1,494 = 67,23 \text{ об/хв}.$$

По отриманим значенням будемо графік частот обертання:

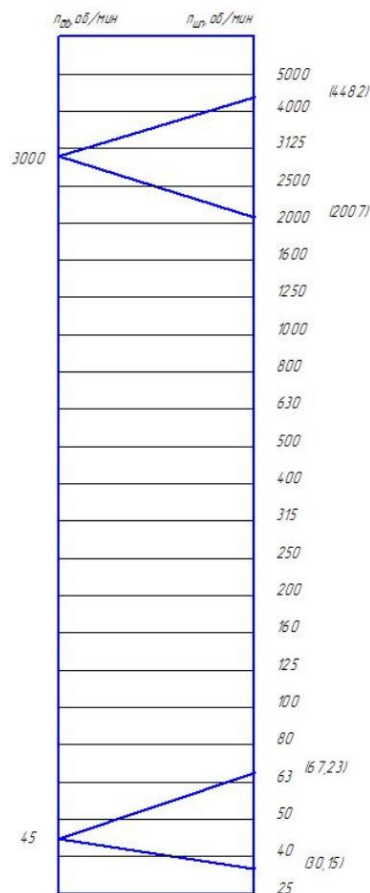


Рисунок 1.4 – Графік частот обертання приводу головного руху і шпинделя верстату ТПК125ВН2

## 1.5 Привід подач

Переміщення поздовжнього і поперечного супортів здійснюється від крокових електродвигунів 16 і 7 через зубчасті редуктори з передавальним відношенням  $i = 15 / 126$  і ходові гвинти 11 і 20. Відповідно гвинт 11 поздовжньої подачі з кроком  $t = 4$  мм і гвинт 20 поперечної подачі з кроком  $t = 2$  мм.

Діапазон робочих та прискорених подач забезпечується безступінчастим регулюванням частоти проходження імпульсу на обмотки крокових двигунів.

Привід робота.

Приводами для переміщення всіх виконавчих механізмів робота є пневматичні циліндри.

Поворот кронштейна із закріпленою на ньому головкою з приводом на  $100^\circ$  у горизонтальній площині до магазину та від магазину здійснюється від пневмоциліндра через шток-рейку 22 та шестерню 23, жорстко встановлену на валу XI.

Поворот головки з приводом на  $90^\circ$  забезпечується двома односторонніми пневмоциліндрами через загальну для обох циліндрів шток-рейку 24 та шестерню 25, посаджену на шпонці на валу XII, в отворі якого встановлюється головка з приводом.

Переміщення кулачків головки забезпечується пневмоприводом головки і пружиною від тристоронньої рейки 26 сектора 27 вільно сидять на осях XIII, і повзунів 28, на яких кріпляться кулачки.

Переміщення супутників у замкнутому жолобі магазину здійснюється від пневмоциліндра через шток-рейку 32, зчеплену з вільно посадженим на валу XIV сектор 31, і собачку 29, рухомо встановлену на секторі осі XV. Собачка 29 при висуванні шток-рейки 32 зчіпляється з храповиком 30, встановленим на шпонці на валу XIV, і повертає на  $1/7$  обороту зірочку 33, яка переміщує супутник.

## 1.6 Обґрунтування тематики проектування

Метою магістерської роботи є модернізація токарного патронного верстату високої точності ТПК125ВН2 з числовим програмним керуванням. Верстат розроблено у 1974 році, практика його експлуатації при дотриманні правил



експлуатації та системи поточно-планових ремонтів довела надійність його механічних частин.

У зв'язку з цим модернізація верстатів з ЧПК 70-х – 90-х років випуску доцільна із застосуванням комп'ютерного керування.

Для керування верстатами від персонального комп'ютера застосовується спеціалізоване програмне забезпечення Linux CNC, Mach тощо. У цих системах використовуються мови програмування сумісних із промисловими системами ЧПК.

Для сполучення персонального комп'ютера з приводами верстата використовуються CNC-контролери, призначені для керування синхронними кроковими та серводвигунами, а також допоміжними пристроями верстатів – револьверними головками, маніпуляторами тощо.

Базовий верстат оснащений двигуном подач ШД-5Д1МУ3. Даний двигун є 12-полюсним з пасивним ротором, у якого напруга живлення становить 48 вольт. Однак аналіз літературних джерел показав, що сучасні контролери розраховані на керування дво-, чотири-, шести-полюсними двигунами, тому застосування базових двигунів виявилось неможливим.

Враховуючи все вище наведене, можна зробити висновок, що тематика магістерської роботи є актуальною та має наукову та практичну цінність.

### **1.7. Висновки за розділом**

Розділ "Технологічна частина проектування" визначив основні аспекти та вимоги до розробленого токарного верстата, призначеного для точної та продуктивної токарної обробки металевих деталей.

Область застосування верстата охоплює виробничі потреби, а його технічні характеристики визначаються максимальним діаметром та довжиною оброблюваних деталей, швидкістю головного шпинделя та точністю обробки. Загальні вимоги до електроприводів та обрані приводи головного руху та подачі спрямовані на забезпечення енергоефективності та високої якості обробки.

Обрана тематика проектування виходить із виклику модернізації застарілих токарних верстатів, зазначаючи необхідність підняття їхньої ефективності та придатності до сучасних виробничих стандартів.

Керування через ПК дозволяє операторам легко програмувати та змінювати параметри обробки, що робить верстат більш гнучким та готовим до вирішення різноманітних завдань виробництва.

Застосування персональних комп'ютерів управління дозволяє використовувати сучасне програмне забезпечення, таке як Linux CNC, Mach3, що сумісне з індустріальними стандартами та об'єднує в собі передові технологічні рішення.

Висновки з цього розділу визначають технічний фундамент для подальшого розроблення та модернізації токарного верстата, забезпечуючи його відповідність високим стандартам продуктивності та точності виробничих процесів.

## 2 МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРИВОДУ ГОЛОВНОГО РУХУ

### 2.1 Спосіб модернізація приводу головного руху

Модернізація полягає в заміні базового електродвигуна постійного струму, тому керування ним неможливе від CNC контролера. CNC контролер дозволяє керувати приводом головного руху за допомогою реле (ввімкнення – вимкнення), аналогового вихідного сигналу – напруга 0–10 В та за протоколом ModBus. Таким чином, для керування приводом головного руху необхідно використовувати сучасний перетворювач, що підтримує завдання частоти обертання двигуна за допомогою одного з описаних способів. Для цього вибираємо перетворювач VFD 037 E43A та двигун АДЧР90L4.

Верстат був оснащений базовим двигуном постійного струму із незалежним збудженням ПБСТ–32. Замість нього був встановлений асинхронний двигун низьковольтний з короткозамкненим ротором АДЧР90L4.

Таблиця 2.1. - Порівняння показників електродвигунів приводу головного руху

Характеристики	ПБСТ–32	АДЧР90L4
Номінальна потужність, кВт	1,75	2,2
Номінальна частота обертання, об/хв	1500	1500
Максимальна частота обертання, об/хв	3000	4500
Напруга живлення, В	220	380
ККД, %	80	78
Обертовий момент, Нм	10	14,8

За наведеними характеристиками можна зробити висновок, що новий двигун має великий обертовий момент та більшу максимальну частоту обертання.

Нижче наведено графіки механічних характеристик двигунів:

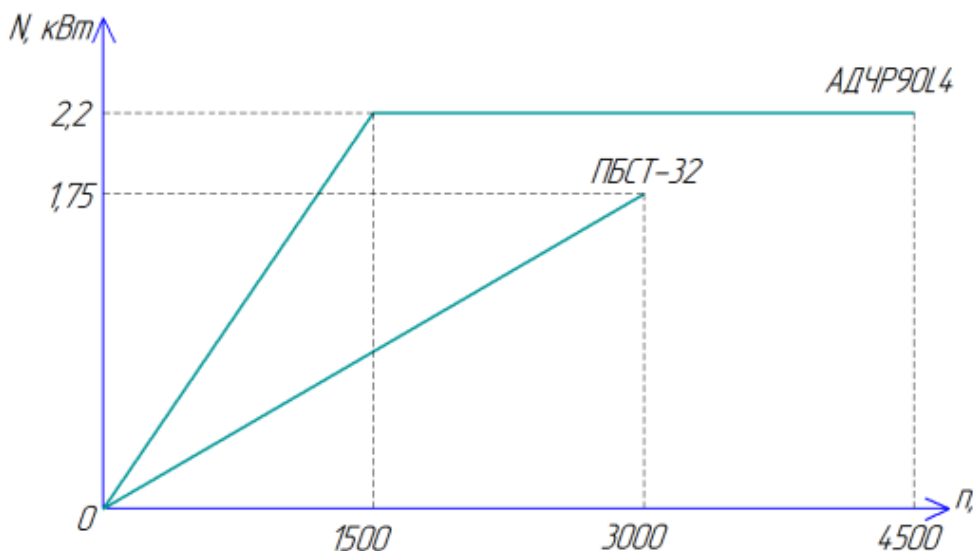


Рисунок 2.1 – Графік залежності потужності від частоти обертання двигунів

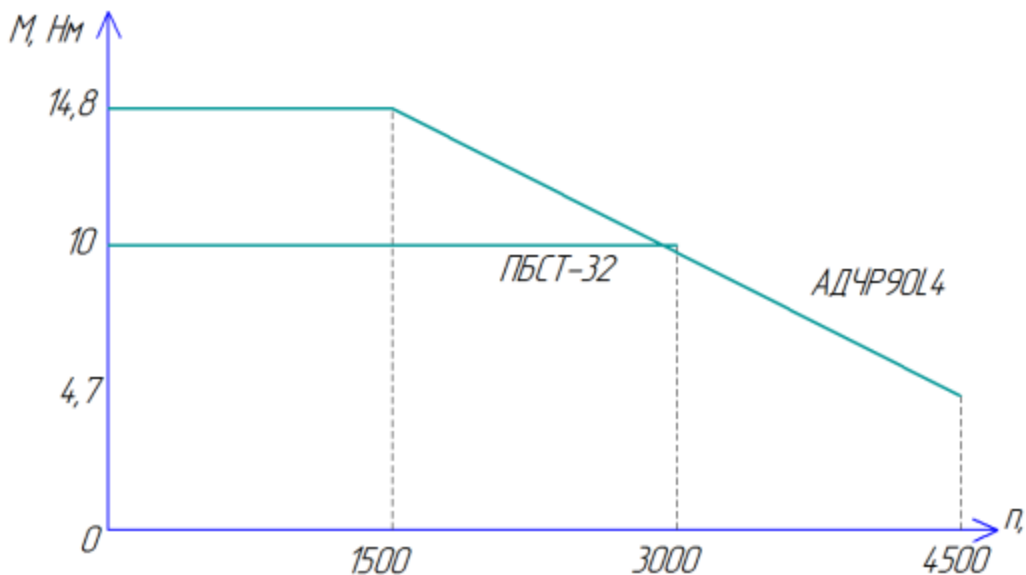


Рисунок 2.2 – Графік залежності обертового моменту від частоти обертання двигунів

Оскільки двигун АДЧР90L4 має великий обертовий момент, необхідно виконати розрахунок поліклинової передачі, шпindelного вузла на жорсткість і витончений розрахунок опор шпинделя для збільшеного крутного моменту.

## 2.2 Розрахунок поліклинової передачі

Розрахунок поліклинової передачі полягає у визначенні числа клинів ременю та у визначенні попереднього натягу поліклинового ременю, які залежать від потужності електродвигуна, що передається, на шпindel верстата.

При відомих величинах потужності  $P_1$  на провідному шківі та частоті обертання ведучого валу  $n_1$  розрахунок виконується в наступному порядку:

1. Вибираємо переріз ремня за величиною  $P_{1P}$ , яка визначається як:

$$P_{1P} = P_1 \cdot C_P,$$

де  $C_P$  – коефіцієнт, що враховує динамічність навантаження передачі та режим її роботи, що визначається за таблицею 15. Приймаємо  $C_P = 1,4$ .

Потужність електродвигуна приводу головного руху верстата  $P_1 = 2$  кВт.

$$P_{1P} = 2 \cdot 1,4 = 2,8 \text{ кВт}$$

За діаграмою для вибору поліклинового ремню (Рисунок 2.3) приймаємо перетин ремня К.

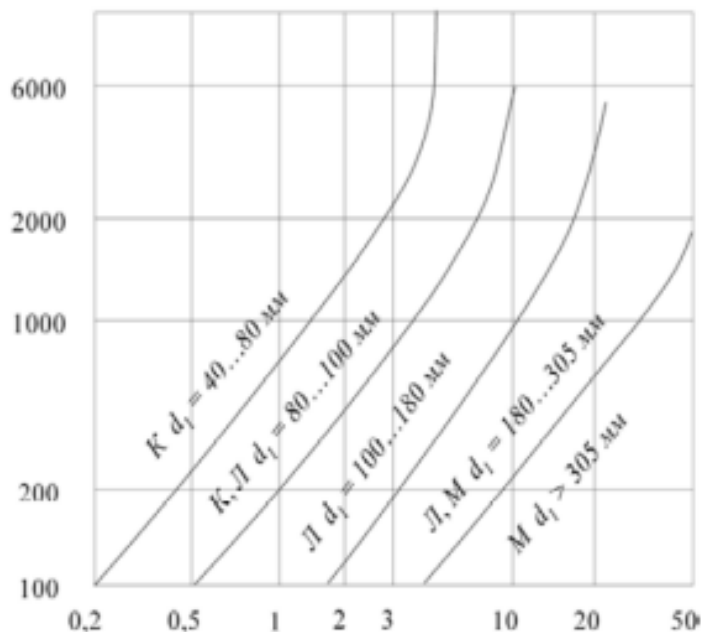


Рисунок 2.3 – Діаграма для вибору поліклинового ремню

2. Уточнюємо значення передавального відношення

$$i = \frac{d_2}{d_1 \cdot (1 - \xi)}$$

де  $\xi = 0,01 \dots 0,02$  – коефіцієнт пружного скочження. Приймаємо  $\xi = 0,015$ .

$$i_{max} = \frac{130}{87 \cdot (1 - 0,015)} = 1,517$$

$$i_{min} = \frac{87}{130 \cdot (1 - 0,015)} = 0,679$$

3. Визначаємо швидкість ремню:

$$v_1 = \frac{\pi * d_i * n}{60}, \text{ м/с}$$

где  $d_i$  – діаметр шківів на валу електродвигуна, мм

$n$  – максимальна частота обертання валу електродвигуна, об/с

$$v_1 = \frac{3.14 * 0.087 * 3150}{60} = 14.342 \text{ м/с}$$

$$v_2 = \frac{3.14 * 0.130 * 3150}{60} = 21.430 \text{ м/с}$$

4. Визначаємо міжосьову відстань:

$$a = \frac{L - \pi * d_{cp}}{4} + \frac{1}{4} * \sqrt{(L - \pi * d_{cp})^2 - 8 * \Delta^2}$$

де  $L$  – довжина ременю, мм приймається з таблиці 30.

$d_{cp}$  – середній діаметр, мм

$$d_{cp} = \frac{d_1 + d_2}{2}$$

$$\Delta = \frac{d_2 - d_1}{2}$$

$$d_{cp} = \frac{87 + 130}{2} = 108.5 \text{ мм};$$

$$\Delta = \frac{130 - 87}{2} = 21.5 \text{ мм}$$

Приймаємо  $L = 2000$  мм.

$$a = \frac{2000 - 3.14 * 108.5}{4} + \frac{1}{4} * \sqrt{(2000 - 3.14 * 108.5)^2} = 829.376 \text{ мм}$$

Приймаємо  $a = 829$  мм.

5. Визначаємо кут обхвату ременем великого шківів  $\alpha_1$ :

$$\alpha_1 = 180^\circ - \gamma^\circ,$$

де  $\gamma$  – кут між гілками ременю в радіанах.

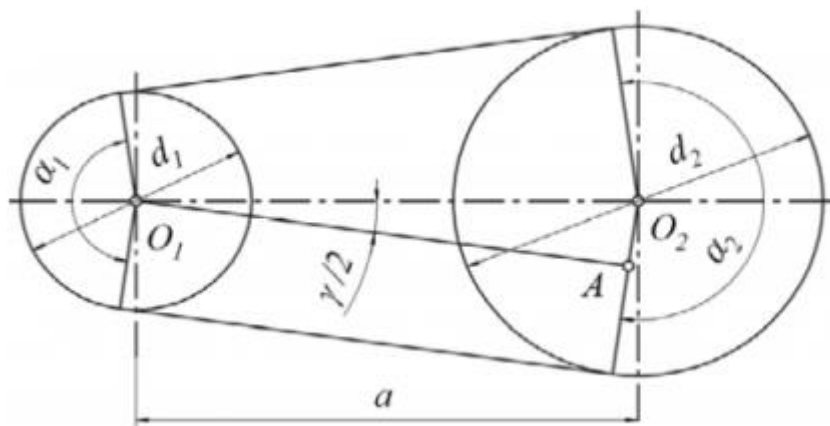


Рисунок 2.4 – Геометричні параметри ремінної передачі

$$\gamma \approx \frac{2\Delta}{a},$$

$$\gamma = \frac{2 * 21.5}{829} = 0.0523 \text{ рад}$$

Виражаємо  $\gamma$  в градусах:

$$\gamma = \frac{0.0523 * 180^\circ}{\pi} = 2.997^\circ \approx 3^\circ$$

Знаходимо кут обхвату ремнем ведучого шківів  $\alpha_1$ :

$$\alpha_1 = 180 - 3 = 177^\circ$$

6. Визначаємо величину поправки потужності, враховуючої вплив зменшеного згину ремня на великому шківі:

$$\Delta P_1 = 0.0001 * \Delta T_1 * n_1, \text{ кВт}$$

де  $\Delta T_1$  – поправка до моменту на швидкохідному валу, Н\*м визначаємо по таблиці 31;

$n_1$  – максимальна частота обертання валу електродвигуна, об/хв.

Приймаємо  $\Delta T_{1_1} = 0,55 \text{ Н*м}$ .

$$\Delta P_1 = 0.0001 * 0.55 * 3150 = 0.173$$

Приймаємо  $\Delta T_{1_2} = 0,1 \text{ Н*м}$ .

$$\Delta P_1 = 0.0001 * 0.1 * 3150 = 0.0315$$

7. Визначаємо допустиму потужність для 10 клинів:

$$[P_{10}] = ([P_{10}]_0 * C_\alpha * C_L + \Delta P_1) * C_p, \text{ кВт}$$

де  $[P_{10}]_0$  – номінальна потужність, яка передається 10 клинами ременю, кВт, яка визначається по таблиці 32;

$C_\alpha$  – коефіцієнт, враховуючий кут обхвату ременем ведучого шківа, приймається з таблиці 26;

$C_L$  – коефіцієнт, враховуючий довжину ременю, приймається за таблицею 32 и залежний від відношення дійсної довжини ременю  $L_p$  до базової  $L_0$ .

$$\frac{L_p}{L_0} = \frac{2000}{710} = 2.817.$$

Приймаємо  $[P_{10}]_{0_1} = 4,9$  кВт;  $C_\alpha = 0,95$ ;  $C_L = 1,4$ .

$$[P_{10}]_{1_1} = (4,9 * 0,95 * 1,4 + 0,173) * 1,4 = 9,366 \text{ кВт}$$

Приймаємо  $[P_{10}]_{0_2} = 6,9$  кВт;  $C_\alpha = 0,95$ ;  $C_L = 1,4$ .

$$[P_{10}]_{1_2} = (6,9 * 0,95 * 1,4 + 0,0315) * 1,4 = 12,892 \text{ кВт}$$

8. Визначаємо число клинів ременю:

$$z_i = \frac{10 * P_1}{[P_{10}]_i}$$

$$z_1 = \frac{10 * 2}{9,366} = 2,135$$

По таблиці 30 приймаємо  $z_1 = 4$ .

$$z_2 = \frac{10 * 2}{12,892} = 1,551$$

По таблиці 30 приймаємо  $z_2 = 4$ .

9. Визначаємо силу попереднього натиску поліклинового ременю з числом клинів  $z$ :

$$F_{0_i} = \frac{780 * P_{1P} * C_L}{v_i * C_\alpha} + \frac{q_{10} * z * v_i^2}{10}, \text{ Н}$$

де  $q_{10}$  – маса 1 м довжини ременю з десятьма клинами, приймається з таблиці 30. приймаємо  $q_{10} = 0,09$  кг.

$$F_{0_1} = \frac{780 * 2,8 * 1,4}{14,342 * 0,95} + \frac{0,09 * 4 * 14,342^2}{10} = 231,818 \text{ Н}$$

$$F_{0_2} = \frac{780 * 2,8 * 1,4}{21,430 * 0,95} + \frac{0,09 * 4 * 21,430^2}{10} = 166,721 \text{ Н}$$



Приймаємо більше зусилля натягу ременя  $F_0 = 231,818 \text{ Н}$ .

### 2.3 Розрахунок шпindelного вузла на жорсткість

Шпindelний вузол складається з власне шпindelю, що має умовно передній кінець і міжопорну ділянку, приводної ланки та опор (рисунок 2.5).

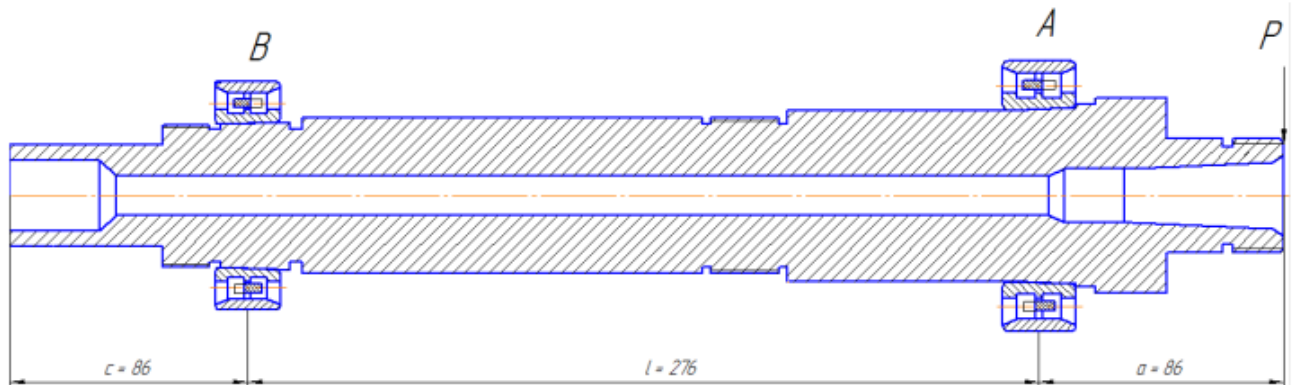


Рисунок 2.5 – Шпindelний вузол

Відомо, що основними розмірами шпindelного вузла є діаметр  $d$  шийки під підшипник у передній опорі, відстань між опорами  $l$ , величина передньої консолі  $a$ , довжина задньої консолі  $c$ .

Розрахунок зміщення переднього кінця шпindelю проводиться з урахуванням дії затискаючого моменту в підшипнику. Урахування дії затискаючого моменту здійснюється введенням коефіцієнта  $\xi$  в розрахункові формули. Величина  $\xi$  змінюється від 0 до 0,75, тобто похибка розрахунків може бути значною.

Тому розрахунок піддатливості шпindelю ведеться без урахування затискання, оскільки жорсткість вузла у разі виходить менше, ніж з урахуванням защемлення.

Визначимо переміщення, спричинене піддатливістю опор:

$$\delta_{\text{оп}} = \frac{F_r}{j_r},$$

де  $F_r$  – навантаження на підшипник, Н;

$j_r$  – радіальна жорсткість дворядного циліндро-роликового підшипника, Н/мм.

Навантаження на підшипник рівне реакції в його опорі:

$$F_r = R, \text{ Н}$$

Складаємо розрахункову схему дії реакцій в опорах:

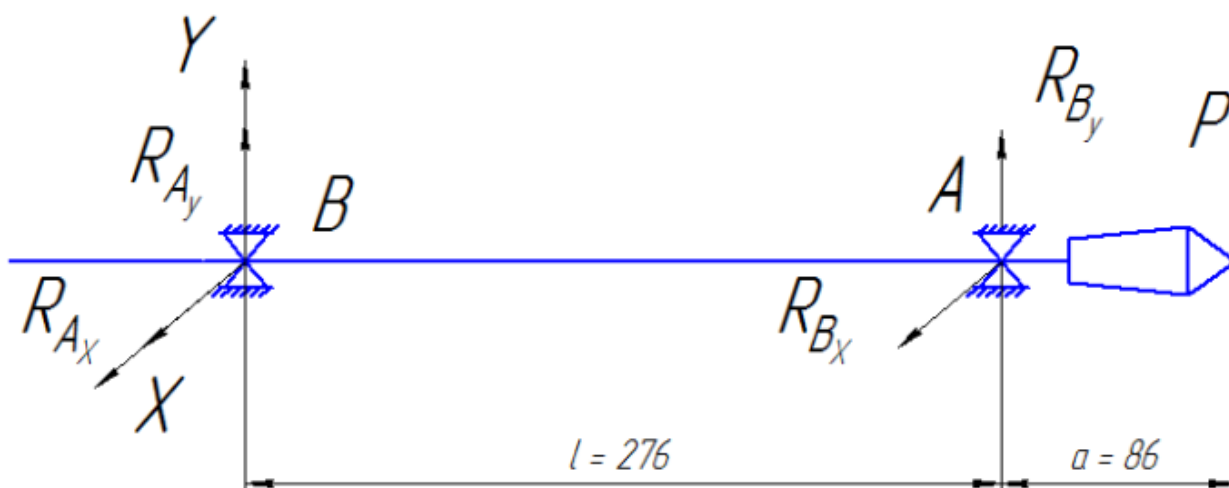


Рисунок 2.6 - Розрахункова схема дії реакцій в опорах

Визначаємо опорні реакції в горизонтальній площині YOZ:

$$\sum M_A = 0; R_{B_y} * l - R_y * (l + a) = 0$$

Визначаємо силу  $R_y$ :

$$R_y = 0,35 * R_z,$$

$$R_y = 0,35 * 1273 = 445,55 \text{ Н}$$

$$R_{B_y} = \frac{P_y * (l + a)}{l},$$

$$R_{B_y} = \frac{445,55 * (0,276 + 0,086)}{0,276} = 584,381 \text{ Н}$$

$$\sum M_B = 0; -R_{A_y} * l - P_y * a = 0$$

$$R_{A_y} = -\frac{P_y * a}{l},$$

$$R_{A_y} = -\frac{445,55 * 0,086}{0,276} = -138,831 \text{ Н.}$$

Перевірка правильності визначення реакцій:

$$\sum F_y = 0; R_{B_y} - P_y - R_{A_y} = 584,381 - 445,55 - 138,831 = 0.$$

Визначаємо опорні реакції в горизонтальній площині XOZ:

$$\sum M_A = 0; R_{B_x} * l - P_x * (l + a) = 0$$

Приймаємо силу  $P_X$ :

$$P_X = 0.15 * P_Z,$$

$$P_X = 0.15 * 1273 = 190.95 \text{ Н.}$$

$$R_{B_X} = \frac{P_X * (l + a)}{l},$$

$$R_{B_X} = \frac{190.95 * (0.276 + 0.086)}{0.276} = 250.449 \text{ Н.}$$

$$\sum M_B = 0; -R_{A_X} * l - P_X * a = 0.$$

$$R_{A_X} = -\frac{R_X * a}{l},$$

$$R_{A_X} = -\frac{190.95 * 0.086}{0.276} = -59.499 \text{ Н.}$$

Перевірка правильності визначення реакцій:

$$\sum F_X = 0; R_{B_X} - P_X - R_{A_X} = 250.449 - 190.95 - 59.499 = 0.$$

Визначаємо сумарні реакції опорів (приведених в одну площину):

$$R_A = \sqrt{R_{A_X}^2 + R_{A_Y}^2}, R_B = \sqrt{R_{B_X}^2 + R_{B_Y}^2},$$

$$R_A = \sqrt{59.499^2 + 138.831^2} = 151.044 \text{ Н.}$$

$$R_B = \sqrt{250.449^2 + 584.381^2} = 635.788 \text{ Н.}$$

Навантаження на підшипники приймаємо рівними реакції опорів:

$$F_{r_A} = R_A = 151.044 \text{ Н}; F_{r_B} = R_B = 635.788 \text{ Н.}$$

Визначаємо радіальну жорсткість дворядних циліндро-роликкових підшипників:

$$j_r = 46.5 * d^{0.922},$$

де  $d$  – діаметр внутрішнього кільця підшипника, мм.

$$j_{r_A} = 46.5 * 50^{0.922} = 1713.573 \text{ Н/мкм};$$

$$j_{r_B} = 46.5 * 60^{0.922} = 2027.255 \text{ Н/мкм.}$$

Переміщення, викликане піддатливістю опор:

$$\delta_{опА} = \frac{151.044}{1713.576} = 0.870 \text{ мкм};$$

$$\delta_{опВ} = \frac{635.788}{2027.255} = 0.314 \text{ мкм.}$$

Так як приводний елемент розташовується на задній консолі на відстані  $s$  від опори, що характерно для внутрішньошліфувальних та прецизійних верстатів, то розрахункова формула радіального пружного переміщення переднього кінця шпинделя виглядає так:

$$\delta_{\Sigma} = \frac{Pa^3}{3EJ_1} + \frac{Pa^2l(1-\xi)}{3EJ_2} + \frac{P[l+a(1-\xi)]^2}{J_A l^2} + \frac{Pa^2(1-\xi)}{J_B l^2},$$

де  $P$  – сила різання, діюча на передній кінець шпинделя, Н;

$E$  – модуль пружності матеріалу шпинделя, рівний  $2,1 \cdot 10^5$  МПа;

$J_1, J_2$  – середні осьові моменти інерції перерізу консолі переднього кінця шпинделя і перерізу міжопорної частини шпинделя,  $\text{мм}^4$ ;

$J_A, J_B$  – радіальна жорсткість опор, Н/м;

$a$  – довжина консолі;

$l$  – довжина міжопорної ділянки шпинделя.

Сила різання, діюча на передній кінець шпинделя рівна:

$$P = \frac{M}{r_{\text{кш}}},$$

де  $M$  – крутний момент електродвигуна при розрахунковій частоті обертання,  $\text{Н} \cdot \text{м}$

$r_{\text{кш}}$  – радіус кінця шпинделя, мм.

Визначаємо крутний момент електродвигуна при розрахунковій частоті обертання;

$$M = 9550 * \frac{N}{n}$$

де  $N$  – потужність електродвигуна, кВт;

$n$  – розрахункова частота обертання шпинделя, об/хв.

Приймаємо  $N = 2$  кВт;  $n = 750$  об/хв.

$$M = 9550 * \frac{2}{750} = 25.467 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

Радіус кінця шпинделя  $r_{\text{кш}} = 20 \text{ мм} = 0,02 \text{ м}$ .

Визначаємо силу різання;

$$P = \frac{25.467}{0.02} = 1273 \text{ Н.}$$

Коефіцієнт защемлення  $\xi$  приймаємо з таблиці 8.

Приймаємо  $\xi = 0,35$ .

Значення радіальної жорсткості опор приймаємо:

$$j_A = 0,5 * 10^6 \text{ Н/мм}$$

$$j_B = 0,55 * 10^6 \text{ Н/мм}$$

Середній осьовий момент інерції консолі переднього кінця шпинделя визначається за формулою:

$$j_1 = \frac{\pi * (D_K^4 - d_K^4)}{64},$$

де  $D_K$  – середній діаметр шийок консолі шпинделя, мм;

$d_K$  – середній діаметр отворів консолі шпинделя, мм.

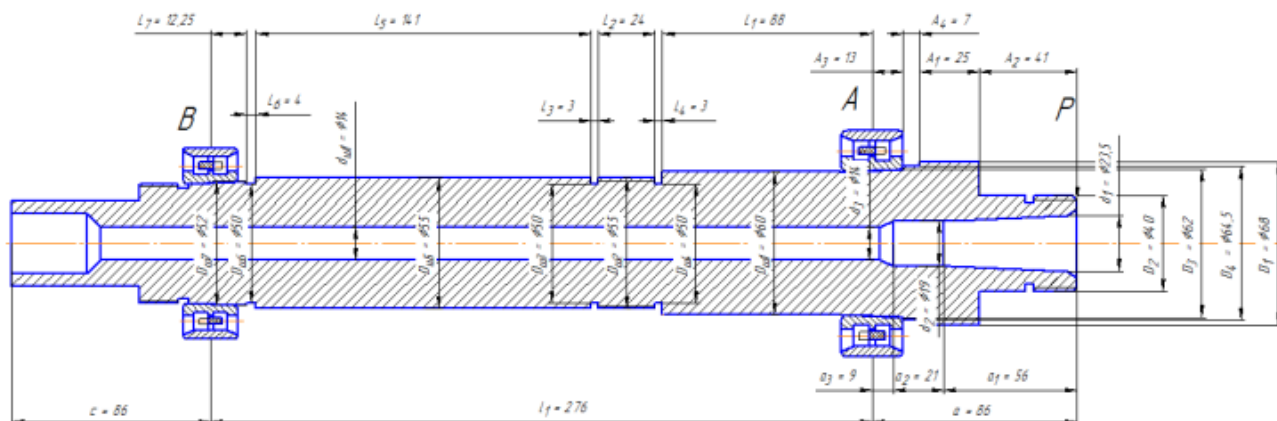


Рисунок 2.7 – Розрахункова схема шпиндельного вузла для визначення середніх діаметрів перерізу шпинделя

Середній діаметр шийок консолі шпинделя визначається за формулою:

$$D_K = \frac{\sum_{i=1}^n D_n * A_n}{a},$$

де  $D_n$  – діаметр шийок консолі шпинделя, мм

$A_n$  – відповідні довжини шийок, мм

$a$  – довжина консолі шпинделя.

$$D_K = \frac{65 * 25 + 40 * 41 + 62 * 13 + 64,5 * 7}{86} = 48,209 \text{ мм,}$$

Середній діаметр отворів консолі шпинделя визначається за формулою:

$$d_k = \frac{\sum_{i=1}^n d_n * a_n}{a},$$

де  $d_n$  – діаметри отворів консолі шпинделя, мм;

$a_n$  – відповідні довжини отворів, мм;

$a$  – довжина консолі шпинделя.

$$d_k = \frac{23,5 * 56 + 19 * 21 + 14 * 9}{86} = 21,407 \text{ мм},$$

Середній осьовий момент інерції перерізу консолі переднього кінця шпинделя:

$$J_1 = \frac{3,14 * (48,209^4 - 21,407^4)}{64} = 0,255 * 10^6 \text{ мм}^4,$$

Середній осьовий момент інерції перерізу шпинделя в прольоті між опорами визначається за формулою:

$$J_2 = \frac{\pi * (D_{ш}^4 - d_0^4)}{64},$$

де  $D_{ш}$  – середній діаметр шийок міжопорної частини шпинделя, мм;

$d_0$  – середній діаметр отворів шпинделя в міжопорній частині, мм.

Середній діаметр шийок міжопорної частини шпинделя визначається за формулою:

$$D_{ш} = \frac{\sum_{i=1}^n D_{Mn} * L_n}{l},$$

де  $D_{Mn}$  – діаметри шийок міжопорної частини шпинделя, мм;

$L_n$  – відповідні довжини шийок міжопорної частини шпинделя, мм;

$l$  – довжина міжопорної частини шпинделя, мм.

$$D_{ш} = \frac{60 * 88 + 55 * 24 + 50 * 3 + 50 * 3 + 55 * 141 + 50 * 4 + 52 * 12,25}{276} = 50,13 \text{ мм}$$

Середній діаметр отворів міжопорної частини шпинделя визначається за формулою:

$$d_0 = \frac{\sum_{i=1}^n d_{оп} * l_n}{l},$$

де  $d_{оп}$  – діаметри отворів в міжопорній частині шпинделя, мм;

$l_n$  – відповідні довжини отворів в міжопорній частині шпинделя, мм;

$l$  – довжина міжопорної частини шпинделя, мм.

$$d_0 = \frac{14 * 276}{276} = 14 \text{ мм.}$$

Середній осьовий момент інерції перерізу шпинделя в прольоті між опорами:

$$J_2 = \frac{3.14 * (50.13^4 - 14^4)}{64} = 0.308 * 10^6 \text{ мм}^4,$$

Переміщення переднього кінця шпинделя:

$$\begin{aligned} \delta_{\Sigma} &= \frac{1273 + 86^3}{3 * 2,1 * 10^5 * 0,255 * 10^6} + \frac{1273 * 86^2 * 276 * (1 - 0,35)}{3 * 2,1 * 10^5 * 0,308 * 10^6} \\ &+ \frac{1273 * [276 + 86 * (1 - 0,35)]^2}{0,5 * 10^6 * 276^2} + \frac{1273 * 86^2 * (1 - 0,35)}{0,55 * 10^6 * 276^2} \\ &= 0.0176 \text{ мм,} \end{aligned}$$

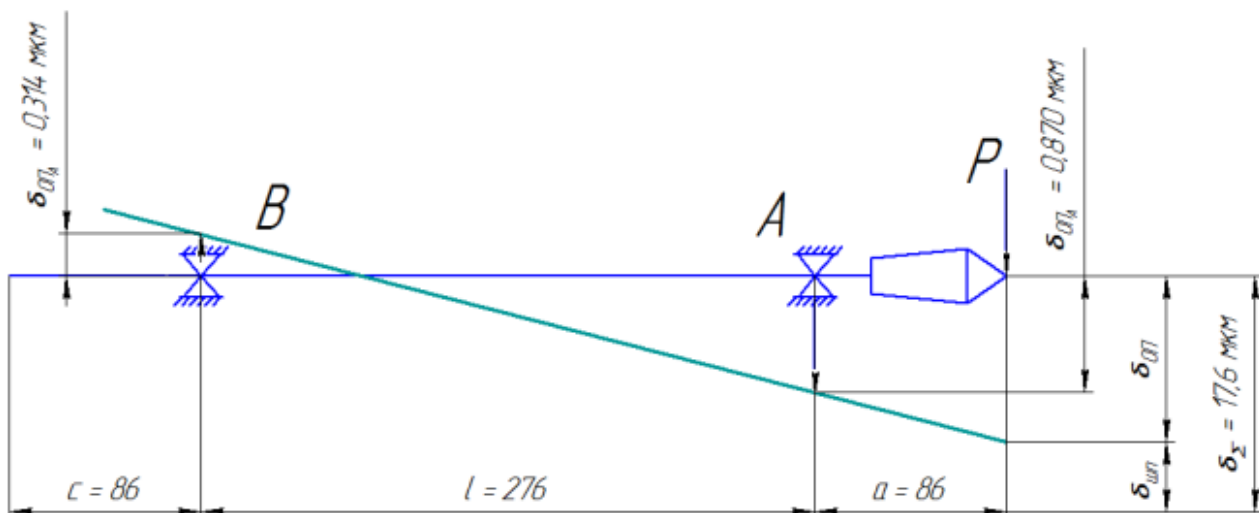


Рисунок 2.8 – Радіальне зміщення переднього кінця шпинделя

Визначаємо жорсткість шпиндельного вузла:

$$j = \frac{P}{\delta_{\Sigma}}, \text{ Н/мм.}$$

$$j = \frac{1273}{17,6} = 72,329 \text{ Н/мм.}$$

#### 2.4 Уточнений розрахунок опор шпинделя

Необхідність уточненого розрахунку опор шпиндельного вузла пояснюється тим, що підшипники в опорах багато в чому визначають точність роботи верстата.

Загальна деформація опор складається із суми деформацій стику та деформації підшипників:

$$\delta = \frac{4F_r K}{\pi d B} * \left(1 + \frac{d}{D}\right) + \frac{F_r K}{d^{1.65}}$$

де  $F_r$  – навантаження на підшипник. Н;

$K$  – коефіцієнт, враховуючий якість поверхні стику і напруги в ньому.

Приймаємо  $K = 0,5 * 10^{-3} \text{ мм}^3/\text{Н}$ ;

$d$  – діаметр внутрішнього кільця підшипника, мм;

$D$  – діаметр зовнішнього кільця підшипника, мм;

$B$  – ширина зовнішнього кільця підшипника, мм.

Загальна деформація в опорі В дорівнює:

$$\delta_A = \frac{4 * 151.044 * 0.5 * 10^{-3}}{3.14 * 50 * 23} * \left(1 + \frac{50}{80}\right) + \frac{151.044 * 0.5 * 10^{-3}}{50^{1.65}} = 0.255 \text{ мкм.}$$

Загальна деформація в опорі А дорівнює:

$$\delta_B = \frac{4 * 635.788 * 0.5 * 10^{-3}}{3.14 * 60 * 26} * \left(1 + \frac{60}{95}\right) + \frac{635.788 * 0.5 * 10^{-3}}{60^{1.65}} = 0.794 \text{ мкм.}$$

## 2.5 Електрообладнання базового верстату

Загальні відомості:

Електроустаткування верстата призначеного для:

- 1) Енергопостачання та управління включенням верстата;
- 2) Управління приводом головного руху, приводом подач за координатами «Х» та «Z», приводами механізму зміни інструменту в налагоджувальному та автоматичному режимі від пристрою ЧПК Н22-1МТ.

До складу електроустаткування спеціалізованого токарного патронного верстата високої точності ТПК125ВН2 з ЧПК входять такі основні апарати та пристрої:

- 1) Силкові виконавчі пристрої:

М1 – можлива заміна на електродвигун 2ПБ1122ГУ4 потужністю 2 кВт, число оборотів 3150 об/хв, напруга 220 В. Електродвигун приводу головного руху ПБСТ-32, 1,75 кВт, 220 В,  $U_{збуд} = 220$  В ісп. М0101 має вбудований ВРІ-тахогенератор ТС-1, 5 Вт 100 В, 3000 об/хв із збудженням від постійних магнітів;

М2 – двигун механізму револьверної головки типу РД-09 10 Вт 110В.



M3-M4 – крокові двигуни IL5L1VER приводів поперечного "X" і поздовжнього "Z" переміщень;

УА1 – електроавтомат керування циліндром розфіксування револьверної головки;

A4 – робот пневматичний РП901 для заміни деталі, що обробляється.

2) Апаратура контролю:

SP1 – реле тиску контролю пневмомережі;

SP2 – реле тиску контролю затиску патрона за зовнішній діаметр заготовки;

SP3 – реле тиску контролю затиску патрона за внутрішній діаметр заготовки;

SQ1 – мікроперемикач контролю закриття лівих дверцят станини верстата;

SQ2, SQ3 – мікроперемикачі обмеження поздовжнього та поперечного ходу супорта;

SQ4 - мікроперемикач контролю закриття обмеження зони різання;

SQ5 - мікроперемикач рахунку позицій при обертанні револьверної головки;

SQ6 – мікроперемикач контролю розфіксування револьверної головки;

A5 – фотоелектричний датчик різьбонарізування СІФ-3 на 1024 імпульсу.

3) Пристрої керування:

A1 - пристрій числового програмного управління Н22-1МТ;

Шафа з електроапаратурою 72003.020.11.000, в якій розміщені тиристорний перетворювач приводу шпинделя типу ТПК 25/25-230 УХЛЧ1104, апаратура управління револьверною головкою, блок управління роботом, а на шафі встановлений ввідний автоматичний вимикач;

Пристрій релейної автоматики 72003.020.13.000, що містить блок живлення з джерелами напруги = 24 В, 110 В, 220 В, блок реле з апаратурою управління та контролю приводу шпинделя.

Живлення верстата здійснюється від 4-х провідної мережі змінного струму ~ 380 В та частотою 50 Гц.

Введення живлення здійснюється в шафу з електроапаратурою на ввідний клемник.

Опис роботи електроустаткування.

1) Управління включенням верстата.

При включенні ввідного автомата QF1 напруга 380 В подається для живлення ЧПК, ланцюгів керування тиристорного перетворювача та трансформаторів Т1 та Т2.

З'являється напруга:

110 В на шинах 11-13 для живлення магнітного пускача і двигуна револьверної головки;

5 В на шинах 12-13 для живлення ламп сигналізації;

24 В на шинах для живлення ламп місцевого освітлення;

220 В на розетці XS1 для живлення електровимірювальних приладів;

220 В на шинах 30-31 для живлення обмотки збудження двигуна шпинделя;

24 В на шинах 1-2 для живлення реле електроавтоматики верстата.

На пульті керування верстата загориться лампа HL1 «Мережа».

Кнопкою SB1.1 (1-38) включає реле КН1 «Включення управління» і стає на саможивлення за умов, що:

- не натиснуто аварійну кнопку SB2;
- не натиснуто аварійні мікроперемикачі SQ2, SQ3.

Реле КН1 контактом (11-16) увімкне магнітний пускач КМ1 за умови, що є струм збудження двигуна М1. Контроль струму збудження здійснюється ключем змінного струму (VD1-VD5), керованого напругою з резистора R5, послідовно включеного з обмоткою збудження.

Пускач КМ1 своїми контактами подасть живлення силову частину тиристорного перетворювача, на ланцюг включення електромагніту розфіксації револьверної головки і ланцюг живлення робота РП-901, а блок-контактом включає сигнальну лампу HL2 – «Управління ввімкнено».

Реле КН1 – контактом (3-1а) подає напругу +24 В в ЧПК на контакти вихідних реле та на ланцюги ручного керування верстатом:

- контактом (113-114-116) готує ланцюг підключення задатчиків швидкості на вхід тиристорного перетворювача;
- контактом (2-143) готує видачу в ЧПК сигналу «Збій верстата». Другий

контакт (1-43) кнопки SB1,2 включає реле КН2 «Блокування норма» за умови, що натиснуті кінцеві вимикачі SQ1 та SQ4 і є тиск у пневмережі верстата (SP1 спрацювало), якщо перемикач SA2 у положенні «Робота з пневмопатроном» або SA2 стоїть у положенні «Робота в трикулачковому патроні з ручним затискачем».

Аналогічно діє контакт кнопки SB3 (45-45а) - "Пуск циклу", другий контакт якої SB3,2 (2-152) видає сигнал "Пуск програми" в ЧПК.

Реле КН2 контактами:

- (1-43) стає на саможивлення;
- (112-113-116) готує підключення задатчиків швидкості;
- (143-144) замикає ланцюг сигналу "Збій верстата".

Керування верстатом може здійснюватися в режимах «Налагодження» та «Автомат». Вибір режиму здійснюється з пульта керування верстата та пульта оператора ЧПК.

У режимі «Налагодження» сигналом РУ (ручне керування) від ЧПК включається реле КН15, яке припиняє проходження сигналів M03, M04 від ЧПК.

У режимі «Автомат» реле КН15 – вимкнено.

2) Управління двигуном шпинделя.

а) Керування в режимі "Налагодження".

Обертання може здійснюватися тільки при затиснутому патроні.

Контроль затискання здійснюється реле КН18, яке включається контактом реле тиску SP2 при затиску заготівлі за зовнішній діаметр. Якщо робота здійснюється з патроном ручного затиску, перемикач SA2,2 включає реле КН18, блокуючи його роботу від реле тиску.

Перемикач SA3 на пульті управління задається напрямок обертання шпинделя. При завданні обертання шпинделя на інструмент замикається ланцюг (76-71):

При натисканні кнопки SB4 вмикається реле КН5, яке своїми контактами:

- (3-75) – стає на саможивлення;
- (99-92) – подає +15 В на задатчики швидкості;
- (112-115) розкорочує вхід тиристорного перетворювача;

- (1-46) включає реле КН3.

Реле КН3 своїми контактами:

- (49-50) розриває ланцюг живлення реле КН, а (72-77) реле КН6;
- (99-101) відключає інверторний режим роботи тиристорного перетворювача;
- (111-109) розкорочує ланцюг регуляторів тиристорного перетворювача;
- (116-1-117) підключає напругу тахогенератора до схеми контролю обертання;
- (201-202) відключає дію тумблера SA8 «Розжим патрона» для виключення розтискання деталі під час обертання шпинделя.

Схема контролю обертання (А3.1) за наявності напруги з тахогенератора включає реле КН16.

Реле КН16 своїми контактами:

- (1-48) шунтує контакт реле КН5, утримуючи у включеному стані реле КН3 до зупинки шпинделя;
- (144-157) замикає ланцюг «Збій верстата».

Швидкість обертання шпинделя в ручному режимі визначається Р16.

Зупинка шпинделя в режимі налагодження здійснюється установкою перемикача SA3 в нейтральне положення. При цьому відключається реле КН, закорочується вхід тиристорного перетворювача, двигун гальмується, відключається КН15, відключається КН3, яке закорочує регулятори перетворювача тиристорного і переводить перетворювач в інверторний режим.

Аналогічно відбувається керування шпинделем при заданні іншого напрямку обертання.

## 2.6 Модернізація електроприводів

Спочатку передбачалося використовувати крокові двигуни базового верстата. Базовий верстат оснащений двигуном подач ШД-5Д1МУ3.



Рисунок 2.9 – Базовий кроковий двигун подач ШД5Д1МУ3

Цей двигун є 12-ти полюсним з пасивним ротором, у якого напруга живлення становить 48 вольт. Проте аналіз літературних джерел показав, що сучасні контролери розраховані на управління дво-, чотири-, шести полюсними двигунами, тому застосування базових двигунів виявилось неможливим.

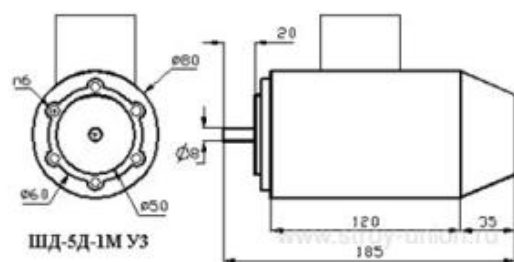
В даний час широко застосовуються так звані двигуни з активним зубчастим ротором, що володіє істотно більшим крутним моментом при меншій напрузі живлення.

Замість базового був обраний двигун GB23H282-30-4B, що має приблизно такий же крутний момент.

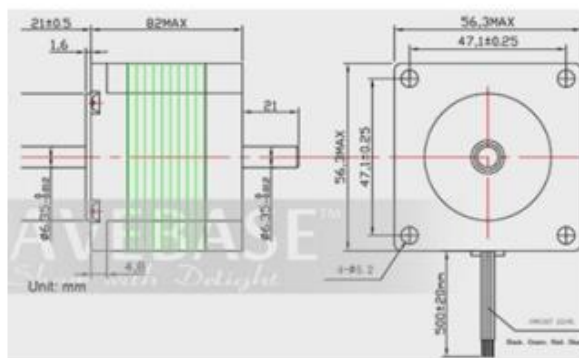


Рисунок 2.10 – Кроковий двигун GB23H282-30-4В

При цьому його габарити значно менші, що видно на малюнку 3.3.



ШД-5Д1МУ3



GB23H282-30-4B

Рисунок 2.11 – Порівняння габаритних розмірів електродвигунів

У таблиці 2.2. наведено характеристики даних електродвигунів:

Таблиця 2.2

Характеристика	ШД-5Д1МУ3	GB23H282-30-4B
Кут кроку, градус	1,5	1,8
Номінальна напруга живлення, В	48	4,2
Номінальна сила струму, А	3	3
Утримуючий момент, Нм	0,4	2,1

За наведеними характеристиками можна зробити висновок, що новий двигун має істотно більший момент, що крутить, при меншій напрузі живлення.

Визначимо найбільшу швидкість супорта, яка визначається за формулою:

$$V_{max} = t_{im} * f * 60, \text{ мм/хв}$$

де  $t_{im}$  – переміщення приводу, відповідне 1 імпульсу, мм;

$f$  – частота подачі імпульсів, Гц. Приймаємо  $f = 25000; 35000; 75000; 100000$  Гц.

Переміщення приводу, відповідне 1  $t_{im}$  імпульсу, визначається за формулою:

$$t_{im} = \frac{\theta^{\circ}}{360^{\circ}} * i_p * p * t_{xb},$$

де  $\theta^{\circ}$  – кут повороту ротора крокового двигуна, що приходиться на один імпульс,  $\theta^{\circ} = 1,5^{\circ}$ .

$i_p$  – передаточне відношення редуктора гідропідсилювача в приводі ходового гвинта;

$t_{xb}$  – крок ходового гвинта, мм. Для поперечних подач  $t_{xb_{\text{поп}}} = 2$  мм. Для повздовжніх  $t_{xb_{\text{пов}}} = 4$  мм.

Передаточне відношення редуктора:

$$i_p = \frac{Z_1}{Z_2},$$

$$i_p = \frac{15}{126} = 0,119$$

Величина мікрокроку, налаштованого в драйвері приводу:

$$p = 1; 1/2; 1/4; 1/8; 1/16.$$

Переміщення приводу, відповідне 1 імпульсу при поперечній подачі:

$$t_{iM_{\text{поп1}}} = \frac{1,5^\circ}{360^\circ} * 0,119 * 1 * 2 = 0,000992 \text{ мм},$$

$$t_{iM_{\text{поп2}}} = \frac{1,5^\circ}{360^\circ} * 0,119 * \frac{1}{2} * 2 = 0,000496 \text{ мм},$$

$$t_{iM_{\text{поп3}}} = \frac{1,5^\circ}{360^\circ} * 0,119 * \frac{1}{4} * 2 = 0,000248 \text{ мм},$$

$$t_{iM_{\text{поп4}}} = \frac{1,5^\circ}{360^\circ} * 0,119 * \frac{1}{8} * 2 = 0,000124 \text{ мм},$$

$$t_{iM_{\text{поп5}}} = \frac{1,5^\circ}{360^\circ} * 0,119 * \frac{1}{16} * 2 = 0,000062 \text{ мм}.$$

Найбільша швидкість поперечної подачі при частоті  $f = 25000$  Гц дорівнює:

$$V_{max_{\text{поп1}}} = 0,000992 * 25000 * 60 = 1488 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп2}}} = 0,000496 * 25000 * 60 = 744 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп3}}} = 0,000248 * 25000 * 60 = 372 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп4}}} = 0,000124 * 25000 * 60 = 186 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп5}}} = 0,000062 * 25000 * 60 = 93 \text{ мм/хв}$$

Найбільша швидкість поперечної подачі при частоті  $f = 35000$  Гц дорівнює:

$$V_{max_{\text{поп1}}} = 0,000992 * 35000 * 60 = 2083,2 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп2}}} = 0,000496 * 35000 * 60 = 1041,6 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп3}}} = 0,000248 * 35000 * 60 = 520,8 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп4}}} = 0,000124 * 35000 * 60 = 260,4 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп5}}} = 0,000062 * 35000 * 60 = 130,2 \text{ мм/хв}$$

Найбільша швидкість поперечної подачі при частоті  $f = 75000$  Гц дорівнює:

$$V_{max_{\text{поп1}}} = 0,000992 * 75000 * 60 = 4464 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп2}}} = 0,000496 * 75000 * 60 = 2232 \text{ мм/хв}$$



$$V_{max_{\text{поп3}}} = 0,000248 * 75000 * 60 = 1116 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп4}}} = 0,000124 * 75000 * 60 = 558 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп5}}} = 0,000062 * 75000 * 60 = 279 \text{ мм/хв}$$

Найбільша швидкість поперечної подачі при частоті  $f = 100000$  Гц дорівнює:

$$V_{max_{\text{поп1}}} = 0,000992 * 100000 * 60 = 5952 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп2}}} = 0,000496 * 100000 * 60 = 2976 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп3}}} = 0,000248 * 100000 * 60 = 1488 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп4}}} = 0,000124 * 100000 * 60 = 744 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{поп5}}} = 0,000062 * 100000 * 60 = 372 \text{ мм/хв}$$

Переміщення приводу, відповідне 1 імпульсу при поздовжній подачі:

$$t_{i_{\text{повз1}}} = \frac{1,5^\circ}{360^\circ} * 0,119 * 1 * 4 = 0,001984 \text{ мм,}$$

$$t_{i_{\text{повз2}}} = \frac{1,5^\circ}{360^\circ} * 0,119 * \frac{1}{2} * 4 = 0,000992 \text{ мм,}$$

$$t_{i_{\text{повз3}}} = \frac{1,5^\circ}{360^\circ} * 0,119 * \frac{1}{4} * 4 = 0,000496 \text{ мм,}$$

$$t_{i_{\text{повз4}}} = \frac{1,5^\circ}{360^\circ} * 0,119 * \frac{1}{8} * 4 = 0,000248 \text{ мм,}$$

$$t_{i_{\text{повз5}}} = \frac{1,5^\circ}{360^\circ} * 0,119 * \frac{1}{16} * 4 = 0,000124 \text{ мм,}$$

Найбільша швидкість поздовжньої подачі при частоті  $f = 25000$  Гц дорівнює:

$$V_{max_{\text{повз1}}} = 0,001984 * 25000 * 60 = 2976 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{повз2}}} = 0,000992 * 25000 * 60 = 1488 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{повз3}}} = 0,000496 * 25000 * 60 = 744 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{повз4}}} = 0,000248 * 25000 * 60 = 372 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{\text{повз5}}} = 0,000124 * 25000 * 60 = 186 \text{ мм/хв}$$

Найбільша швидкість поздовжньої подачі при частоті  $f = 35000$  Гц дорівнює:

$$V_{max_{повз1}} = 0,001984 * 35000 * 60 = 4166,4 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{повз2}} = 0,000992 * 35000 * 60 = 2083,2 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{повз3}} = 0,000496 * 35000 * 60 = 1041,6 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{повз4}} = 0,000248 * 35000 * 60 = 520,8 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{повз5}} = 0,000124 * 35000 * 60 = 260,4 \text{ мм/хв}$$

Найбільша швидкість поздовжньої подачі при частоті  $f = 75000$  Гц дорівнює:

$$V_{max_{повз1}} = 0,001984 * 75000 * 60 = 8928 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{повз2}} = 0,000992 * 75000 * 60 = 4464 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{повз3}} = 0,000496 * 75000 * 60 = 2232 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{повз4}} = 0,000248 * 75000 * 60 = 1116 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{повз5}} = 0,000124 * 75000 * 60 = 558 \text{ мм/хв}$$

Найбільша швидкість поздовжньої подачі при частоті  $f = 100000$  Гц дорівнює:

$$V_{max_{повз1}} = 0,001984 * 100000 * 60 = 11904 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{повз2}} = 0,000992 * 100000 * 60 = 5952 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{повз3}} = 0,000496 * 100000 * 60 = 2976 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{повз4}} = 0,000248 * 100000 * 60 = 1488 \text{ мм/хв}$$

$$V_{max_{повз5}} = 0,000124 * 100000 * 60 = 744 \text{ мм/хв}$$

Отримані дані вносимо в таблицю 2.3.

Таблиця 2.3. – Залежність швидкості переміщення супорта від частоти поданих сигналів і величини мікрокроку

$p$	1		1/2	
	поперечне	поздовжнє	поперечне	поздовжнє
$t_{ім}$	0,00092	0,001984	0,000496	0,000992
$V_{max, f=25000}$	1488	2976	744	1488
$V_{max, f=35000}$	2083,2	4166,4	1041,6	2083,2
$V_{max, f=75000}$	4464	8928	2232	4464

$V_{max,f=100000}$	5952	11904	2976	5952
$p$	1/4		1/8	
Переміщення	поперечне	поздовжнє	поперечне	поздовжнє
$t_{im}$	0,000248	0,000496	0,000124	0,000248
$V_{max,f=25000}$	372	744	186	372
$V_{max,f=35000}$	520,8	1041,6	260,4	520,8
$V_{max,f=75000}$	1116	2232	558	1116
$V_{max,f=100000}$	1488	2976	744	1488
$p$	1/16			
Переміщення	поперечне		поздовжнє	
$t_{im}$	0,000248		0,000496	
$V_{max,f=25000}$	93		186	
$V_{max,f=35000}$	130,2		260,4	
$V_{max,f=75000}$	279		558	
$V_{max,f=100000}$	372		744	

Висновок: найбільша точність позиціонування досягається при найменшій величині мікрокроку. Тому необхідно прийняти мінімальне значення за умови забезпечення необхідної максимальної швидкості переміщення супорта. За паспортом максимальна швидкість переміщення супорту складає

$V_{поп} = 180$  мм/хв;  $V_{позд} = 90$  мм/хв, що становить те саме значення, що й при величині мікрокроку:  $p = 1/16$  і частоті подачі імпульсів  $f = 25000$ .

## 2.7 Система керування станка на базі CNC-контролера

CNC-контролер – контролер, який дозволяє забезпечити керування електроприводами подачі (кроковими та сервоприводами) від персонального комп'ютера з програмним забезпеченням, яке читає інструкції G-коду та керує верстатом (MACH3, LinuxCNC). ЧПК виконує чисельно спрямовану інтерполяцію ріжучого інструменту робочої області машини.

Система управління верстата на базі CNC-контролера та персонального комп'ютера виглядає наступним чином:

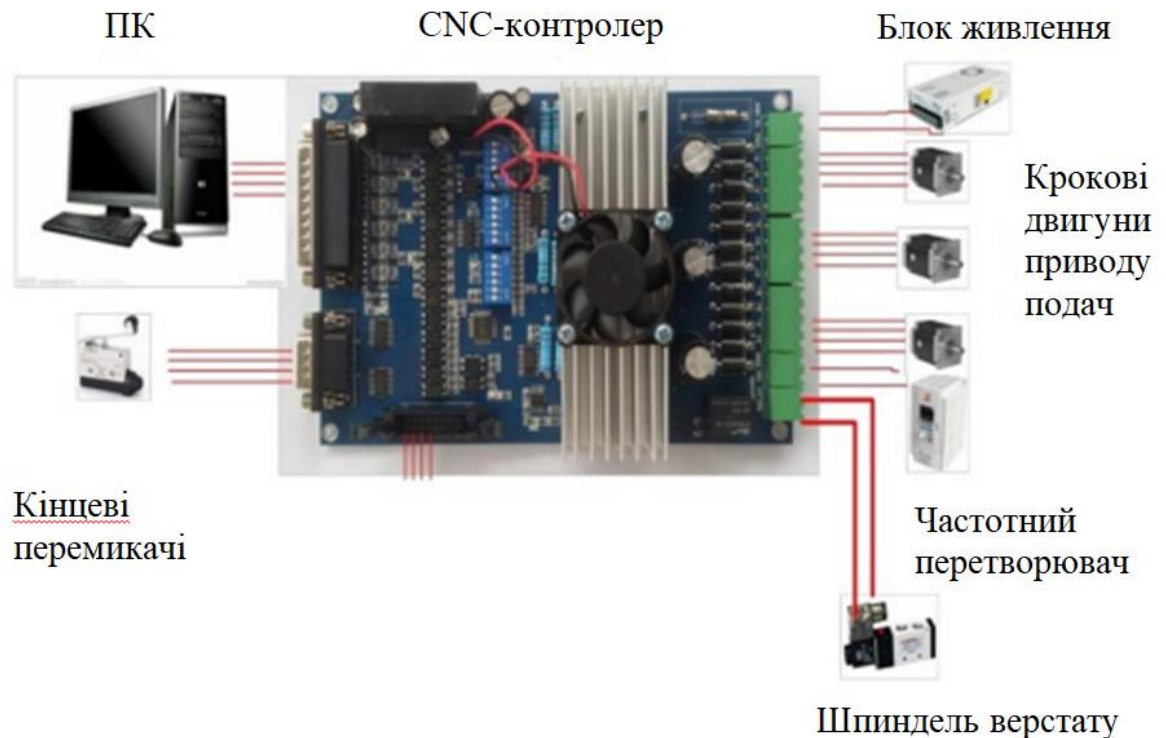


Рисунок 2.12 – Система керування верстата на базі CNC-контролера та персонального комп'ютера

Система управління верстата на базі CNC-контролера виходить за наступною схемою з'єднань:

До CNC-контролера підключаються 2 крокові електродвигуни, кнопка STOP, кінцевий вимикач обмеження ходу супорту так само службовець для налаштування нуля верстата, перетворювач частоти або тиристорний перетворювач для керування приводом головного руху, кнопка перемикання позицій револьверної головки, у якої налаштовується час витримки для перемикання одну позицію.

Після підключення необхідно виконати налаштування CNC-контролера у програмі Mach3:

- 1) Відкрити програмне забезпечення MACH3, вибрати mach3Turn та натиснути ОК.
- 2) Натисніть підменю PORT & PIN у меню конфігурації.

- 3) Вибрати Motor outputs, щоб налаштувати базову частоту. Цей параметр впливає швидкість обертання двигуна.
- 4) Після того як всі налаштування були налаштовані, відкрити G-CODE.
- 5) Після того, як G CODE був відкритий, натиснути кнопку RESET щоб зупинити миготіння, а потім натиснути «CYCLESTART».

Після підключення необхідно налаштувати входи-виходи ПК та CNC-контролера:

Управління кожним приводом подач здійснюється трьома сигналами:

- включення;
- напрямок;
- крок.

Крім того вказуються номери входів до яких підключені кінцевий перемикач межі ходу супорта, який також використовується для налаштування нуля верстата.

## **2.8 Висновки за розділом**

Модернізація токарного верстата передбачає не лише заміну електродвигуна, але і впровадження нових засобів керування та узгоджених систем.

Розрахунок поліклінової передачі визначає надійний механізм передачі руху, забезпечуючи необхідне співвідношення швидкостей. Вибір поліклінового механізму важливий для забезпечення стабільності та продуктивності верстата під час обробки різних матеріалів.

Уточнений розрахунок шпиндельного вузла на жорсткість гарантує, що верстат витримає великі механічні навантаження та залишиться стійким під час обробки матеріалів різної твердості.

Уточнений розрахунок опор шпинделя необхідний для визначення точних параметрів, що забезпечують стійкість та мінімізують вібрації при великих швидкостях обертання.

Модернізація електрообладнання базового станка включає в себе встановлення нових компонентів, що сприяє автоматизації та забезпечує надійність та точність управління.

Модернізація електроприводів дозволяє підняти продуктивність та ефективність верстата, замінивши застарілі компоненти на нові, потужні та ефективні електродвигуни.

Запровадження системи керування на базі CNC-контролера робить верстат гнучким та програмованим, що дозволяє легко налаштувати його для виконання різноманітних завдань.

Ці розділи визначають не лише технічні аспекти, але й стратегічний напрямок для успішної модернізації токарного верстата. Впровадження передових технологій та розрахунки на жорсткість та стійкість забезпечують оптимальні умови для ефективної обробки матеріалів.

Враховуючи зазначені технічні зміни, модернізація приводу головного руху токарного верстата стає більш системною та сумісною з вимогами CNC технологій.

### 3. МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ІІ РОБОТИ

#### 3.1. Установка, підключення і опис програмованих параметрів перетворювача частоти

Для керування перетворювачем частоти від CNC контролера необхідно налаштувати джерело сигналу завдання: вхідна напруга 0–10 В та вихідні частоти змінного струму відповідають максимальному та мінімальному рівням сигналу.

Група 2: Параметри режимів роботи.

02-00	Джерело керування частотой	Заводська установка: 00
	Можливі значення: 01: Сигнал 0...10В (0...5В) на вході AVI;	
Цей параметр можна змінювати при роботі приводу		
Користувач може визначити один із способів задання вихідної частоти (швидкості двигуна). При заданні частоти з терміналу AVI вибір максимальної напруги 0...10В або 0...5В вибирається мікроперемикачем SW2, розташованим на платі керування.		
02-01	Джерело керування приводом	Заводська установка: 00
	Можливі значення: 01: Керування від зовнішніх терміналів (FWD/REV) з активізацією клавіші STOP, розташованої на цифровій панелі.	
Цей параметр можна змінювати при роботі приводу		

Група 4: Параметри вхідних функцій.

04-09	Мінімальна напруга на вході AVI	Заводська установка: 00
	Діапазон встановлення: 0.0...10.0В	Дискретність: 0.1В
Встановлює нижній рівень вхідного аналогового сигналу, відповідного мінімальній робочій частоті.		
04-10	Максимальна напруга на вході AVI	Заводська установка: 10.0
	Діапазон встановлення: 0.0...10.0В	Дискретність: 0.1В

Встановлює верхній рівень вхідного аналогового сигналу, відповідного мінімальній робочій частоті.		
04-11	Мінімальна вихідна частота по вході AVI	Заводська установка: 0.0
	Діапазон встановлення: 0.00...100.00 %	Дискретність: 0.01 %
Встановлює нижній рівень вихідної частоти, відповідної мінімальній напрузі на вході AVI.		
04-12	Максимальна вихідна частота по вході AVI	Заводська установка: 100.00
	Діапазон встановлення: 0.00...100.00 %	Дискретність: 0.01 %
Встановлює верхній рівень вихідної частоти, відповідної мінімальній напрузі на вході AVI.		

Мінімальна частота 04-11 15 Гц, що відповідає частоті обертання 45 об/хв.

Максимальна частота 04-12 150 Гц, що відповідає частоті обертання 4500 об/хв.

Параметри 4-09...4-12 встановлюють передатну характеристику залежності вихідної частоти від величини сигналу на аналогових виходах.

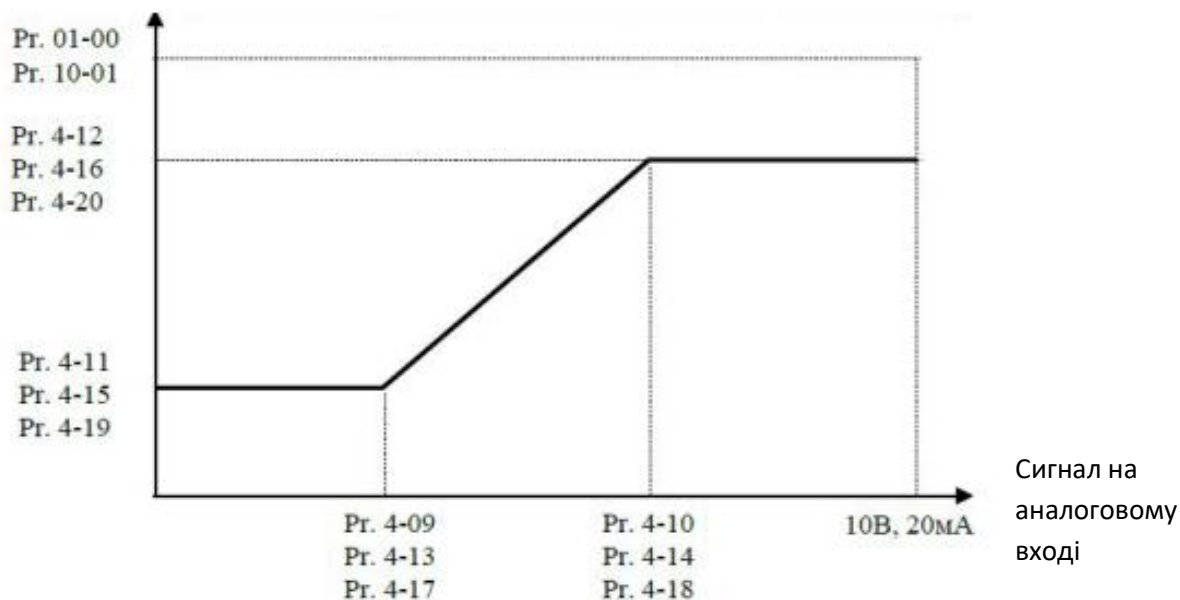


Рисунок 3.1 – Графік залежності вихідної частоти від величини сигналу на аналогових виходах



04-21	Затримка по входу AVI	Заводська установка: 0.50
	Діапазон установки: 0.00...10.00 с	Дискретність: 0.01 с
04-22	Затримка по входу ACI1	Заводська установка: 0.50
	Діапазон установки: 0.00...10.00 с	Дискретність: 0.01 с
04-23	Затримка по входу ACI2	Заводська установка: 0.50
	Діапазон установки: 0.00...10.00 с	Дискретність: 0.01 с
Ці параметри дозволяють виключити перешкоди сигналу на аналогових вхідних терміналах. Чим вища постійна часу фільтра, тим краще фільтрація, але більше часу передачі сигналу.		

### 3.2 Дослідження точності позиціонування

CNC-контролер дозволяє керувати кроковими приводами в режимі повного кроку, а так само в режимі мікрокроку рівним 1; 1/2; 1/4; 1/8; 1/16.

Точність позиціонування супорта в даному випадку визначається як точністю механічних передач приводів подач, так і від точності завдання кута повороту ротора крокових двигунів, який безпосередньо залежить від величини мікрокроку контролера.

Мікрокроковий режим – режим розподілу кроку. Цей метод дозволяє фіксувати вал у проміжних положеннях між кроками, кількість яких задається налаштуваннями драйвера. Зменшення величини мікрокроку збільшує точність позиціонування, одночасно зменшуючи максимальну швидкість переміщення. Для експериментальної перевірки впливу мікрокроку на точність позиціонування проведено вимірювання за різних величин мікрокроку.

Висока точність оброблюваних деталей може бути забезпечена лише тому випадку, якщо верстати, на яких проводиться обробка, матимуть високу точність виготовлення та складання базових вузлів та напрямних елементів.

Точність обробки на верстаті високого класу точності мод. ТПК125ВН2 забезпечується:

- точністю позиціонування поперечного та поздовжнього супортів;

- стабільністю положення ріжучого інструменту в револьверній головці за його автоматичної зміни;
- високою жорсткістю супортів з попереднім пружним натягом направляючих кочення;
- високою жорсткістю шпинделя, виконаного на прецизійних опорах кочення, що дозволяють поєднувати попередні та фінішні операції;
- ізоляцією головного приводу від несучої станини віброзахисним пристроєм, що виключає передачу внутрішніх та зовнішніх коливань.

Перевірка верстата на точність полягає у статичних та динамічних випробовуваннях. Метою їх є встановлення відхилень від правильної форми поверхонь верстата, від правильного відносного положення поверхонь і ліній, від правильного руху. Відповідно до цього проводяться перевірки прямо лінійних переміщень супорта, радіального та осьового биття, паралельності осі шпинделя поздовжнього переміщення супорта, радіальної жорсткості шпинделя та інші перевірки, характерні для універсальних токарних верстатів.

Крім стандартних норм точності для верстата з ЧПК встановлені спеціальні норми точності, з яких однією з найважливіших є сталість зупинки супорта в заданому положенні (точність позиціонування). На точність позиціонування виконавчих органів верстата з ЧПК впливає безліч факторів: люфт у ходових гвинтах супортів, похибка системи ЧПК, фотоімпульсний датчик та крокового двигуна, люфт у зубчастих передачах та муфтах і т.д.

Точність позиціонування характеризують такі статичні показники:

а) накопичена похибка  $A$  позиціонування, що дорівнює алгебраїчній різниці найбільшого  $\delta_{max}$  і найменшого  $\delta_{min}$  (на досліджуваній довжині  $l$ ) середньоарифметичних значень похибки позиціонування (відхилень фактичного положення вузла від заданого програмою):

$$A = \delta_{max} - \delta_{min}$$

$$\delta_{\gamma} = \frac{\sum_{i=1}^n \delta_{\gamma i}}{n}$$

де  $\delta_{\gamma i}$  – похибка позиціонування в  $\gamma$ -й контрольній точці при  $i$ -му випробуванні. Під час перевірки серійних станків  $n = 5$ .

$\delta_{\gamma}$  – середньоарифметичне значення похибки в  $\gamma$ -й точці;

б) середнє квадратичне значення відхилення  $S_{\gamma}$  похибки позиціонування в  $\gamma$ -й контрольній точці при багаторазових підходах рухомого вузла до запрограмованого положення. В цьому випадку  $n = 5 \dots 10$ .

$$S_{\gamma} = \frac{R_{\gamma}}{d_n}$$

де  $R_{\gamma}$  – розмах варіювання похибок позиціонування в  $\gamma$ -й точці при повторних проходах;

$$R_{\gamma} = \delta_{\gamma max} - \delta_{\gamma min}$$

$d_n$  - коефіцієнт, що залежить від значення  $n$ : при  $n = 5$   $d_n = 2,326$ , при  $n = 10$

$d_n = 3,078$ .

Перший з показників характеризує систематичну похибку позиціонування на досліджуваній довжині  $l$  переміщення, другий - випадкову похибку, яка в даному випадку є функцією положення позиціонованого вузла.

Статичні показники визначають на підставі результатів вимірювань, виконуються в контрольних точках окремо для кожної програмованої осі руху та окремо для позитивного та негативного напрямів руху.

При вимірі рухомих вузол переміщається у вихідну точку А (Рисунок 3.2). Потім за програмою задається переміщення в точку 1. У цій вимірювальній пристрій встановлюється на нульове положення. Після цього вузлу задається переміщення в точку 2, де проводиться вимір відхилення фактичного переміщення від запрограмованого і так далі до точки  $m$ , після чого вузол підводиться до кінцевої точки В. Результати вимірювань записуються в таблицю. Потім з точки В вузлі задається негативне переміщення послідовно в ті ж точки, де проводять вимірювання відхилень.

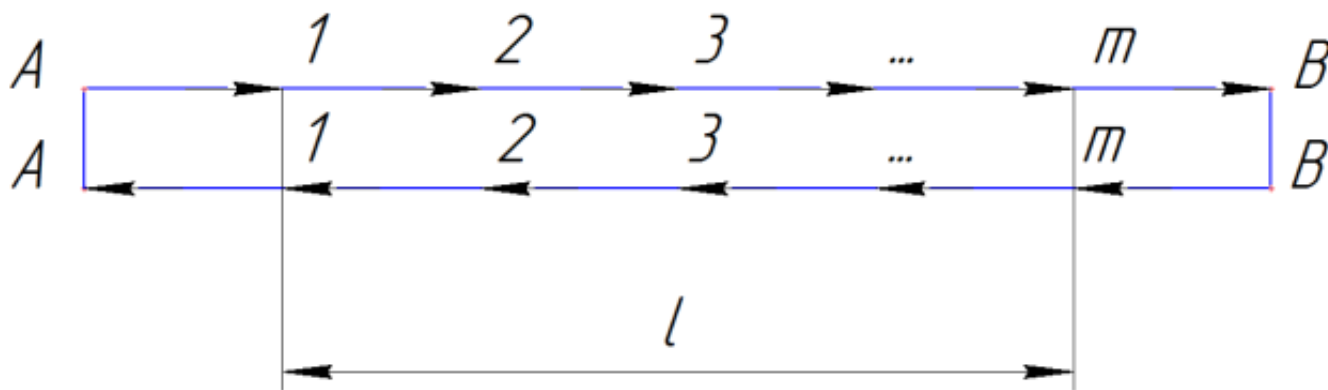


Рисунок 3.2 – Послідовність переміщень виконавчого вузла

За вказаною схемою цикл руху у кожному напрямі повторюють 5 разів.

Повторні проходи відрізняються від першого тим, що в точці 1 при повторних проходах налаштування вимірювального пристрою проводиться, а фіксуються відхилення від значення, прийнятого за нульове при першому проході. Зміна налаштування вимірювального пристрою за час випробувань не допускається.

Для верстата мод. ТПК125ВН2 допустимі відхилення від заданої точності: для поздовжнього супорта – 2 мкм, для поперечного – 1 мкм.

У ході випробувань контролюється плавність переміщення супортів: при заданні низьких подач (менше 1 мм/хв) переміщення не повинно супроводжуватись ривками, зупинками, помітною зміною швидкості.

Середнє значення похибок позиціонування  $\delta_\gamma$  в  $\gamma$ -й точці може виявитися рівним при підході рухомого вузла в цю точку з двох протилежних напрямків - праворуч ( $\delta_{\gamma\text{пр}}$ ) і зліва ( $\delta_{\gamma\text{лів}}$ ).

Різниця визначає зону нечутливості під час позиціонування.

$$U_\gamma = |\delta_{\gamma\text{пр}} - \delta_{\gamma\text{лів}}|$$

Для визначення величини зони нечутливості рухомий вузол верстата встановлюється у вихідне положення А (рисунок 3.1), потім йому задається переміщення в контрольну точку 1, де його положення фіксується за допомогою вимірювального приладу. Після цього вузол переміщається до точки В, а потім знову до точки 1, де знову фіксується положення вузла. Далі вузол повертається у вихідне положення, і цикл вимірів повторюється тричі. Найбільше значення  $U_{\text{max}}$  і характеризує зону нечутливості верстата.

При виявленні невідповідності нормам точності аналізуються можливі несправності та проводяться регламентні роботи з їх усунення: вибірка люфтів у ходових гвинтах супорта верстата, забезпечення плавності переміщення супортів регулюванням натягу в напрямних кочення за допомогою поворотів ексцентрикових осей тощо.

Перевірка точності позиціонування проводиться у ручному режимі або переднабором (режим "Ручне введення").

При заданні переміщень переднабором необхідно враховувати, що ціна одного імпульсу по осі X (поперечне переміщення) – 0,001 мм, по осі Z (поздовжнє переміщення) – 0,002 мм. Робоча подача кодується словом F.

Дослідження виявило такі результати:

1) Для експерименту з вимкненим дробленням кроку:

Вісь Z.

Знаходимо середньоарифметичне значення похибки  $\delta_{\gamma}$  в  $\gamma$ -й точці:

$$\delta_{Z_{\gamma_1}} = \frac{-3 + 16 - 1 + 13 - 2}{5} = 4.6 \text{ мкм};$$

$$\delta_{Z_{\gamma_2}} = \frac{-1 + 14 + 1 + 15 - 2}{5} = 5.4 \text{ мкм};$$

$$\delta_{Z_{\gamma_3}} = \frac{2 + 16 + 1 + 4 + 2}{5} = 5 \text{ мкм};$$

$$\delta_{Z_{\gamma_4}} = \frac{2 + 15 + 1 + 12 + 2}{5} = 6.4 \text{ мкм};$$

$$\delta_{Z_5} = \frac{2 + 11 + 0 + 9 + 1}{5} = 4.2 \text{ мкм}.$$

Знаходимо розмах варіювання похибок позиціонування  $R_{\gamma}$  в  $\gamma$ -й точці при повторних проходах:

$$R_{Z_{\gamma_1}} = 16 - 3 = 13 \text{ мкм};$$

$$R_{Z_{\gamma_2}} = 15 - 2 = 13 \text{ мкм};$$

$$R_{Z_{\gamma_3}} = 16 - 1 = 15 \text{ мкм};$$

$$R_{Z_{\gamma_4}} = 15 - 1 = 14 \text{ мкм};$$

$$R_{Z_{\gamma_5}} = 11 - 1 = 10 \text{ мкм}.$$

Знаходимо середнє квадратичне значення відхилення  $S_\gamma$  похибки позиціонування в  $\gamma$ -й контрольній точці при багаторазових підходах рухомого вузла до запрограмованого положення:

$$S_{Z_{y_1}} = \frac{13}{2.326} = 5.59 \text{ мкм};$$

$$S_{Z_{y_2}} = \frac{13}{2.326} = 5.59 \text{ мкм};$$

$$S_{Z_{y_3}} = \frac{15}{2.326} = 6.449 \text{ мкм};$$

$$S_{Z_{y_4}} = \frac{14}{2.326} = 6.019 \text{ мкм};$$

$$S_{Z_{y_5}} = \frac{10}{2.326} = 4.299 \text{ мкм}.$$

Вісь X.

Знаходимо середньоарифметичне значення похибки  $\delta_\gamma$  в  $\gamma$ -й точці:

$$\delta_{X_{y_1}} = \frac{1 + 6 - 2 + 0 - 6}{5} = -0.2 \text{ мкм};$$

$$\delta_{X_{y_2}} = \frac{1 - 2 + 4 + 1 + 9}{5} = 2.6 \text{ мкм};$$

$$\delta_{X_{y_3}} = \frac{2 + 0 + 8 + 4 + 17}{5} = 6.2 \text{ мкм};$$

$$\delta_{X_{y_4}} = \frac{7 + 5 + 10 + 9 + 14}{5} = 9 \text{ мкм};$$

$$\delta_{X_{y_5}} = \frac{16 + 13 + 19 + 16 + 23}{5} = 17.4 \text{ мкм}.$$

Знаходимо розмах варіювання похибок позиціонування  $R_\gamma$  в  $\gamma$ -й точці при повторних проходах:

$$R_{X_{y_1}} = 6 - (-6) = 12 \text{ мкм};$$

$$R_{X_{y_2}} = 9 - (-2) = 11 \text{ мкм};$$

$$R_{X_{y_3}} = 17 - 0 = 17 \text{ мкм};$$

$$R_{X_{y_4}} = 14 - 5 = 9 \text{ мкм};$$

$$R_{X_{y_5}} = 23 - 13 = 10 \text{ мкм}.$$

Знаходимо середнє квадратичне значення відхилення  $S_\gamma$  похибки позиціонування в  $\gamma$ -й контрольній точці при багаторазових підходах рухомого вузла до запрограмованого положення:

$$S_{X_{y_1}} = \frac{12}{2.326} = 5.159 \text{ мкм};$$

$$S_{X_{y_2}} = \frac{11}{2.326} = 4.729 \text{ мкм};$$

$$S_{X_{y_3}} = \frac{17}{2.326} = 7.309 \text{ мкм};$$

$$S_{X_{y_4}} = \frac{9}{2.326} = 3.869 \text{ мкм};$$

$$S_{X_{y_5}} = \frac{10}{2.326} = 4.299 \text{ мкм}.$$

Результати зводимо до таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Результати вимірювання точності позиціонування при вимкненому дробленні мікрокроку

h \ m	0,2 мм	0,4 мм	0,6 мм	0,8 мм	1 мм
	Відхилення $\delta$ , мкм				
Вісь Z					
1	-3	-1	+2	+2	+2
2	+16	+14	+16	+15	+11
3	-1	+1	+1	+1	0
4	+13	+15	+4	+12	+9
5	-2	-2	+2	+2	-1
$\delta_{max}$	+16	+15	+16	+15	+11
$\delta_{min}$	-3	-2	+1	+1	-1
$R_j$	13	13	15	14	10
$\delta_j$	4,6	5,4	5	6,4	4,2
$S_j$	5,59	5,59	6,449	6,019	4,299
Вісь X					
1	+1	+1	+2	+7	+16

2	+6	-2	0	+5	+13
3	-2	+4	+8	+10	+19
4	0	+1	+4	+9	+16
5	-6	+9	+17	+14	+23
$\delta_{max}$	+6	+9	+17	+14	+23
$\delta_{min}$	-6	-2	0	+5	+13
$R_j$	12	11	17	9	10
$\delta_j$	-0,2	2,6	6,2	9	17,4
$S_j$	5,159	4,729	7,309	3,869	4,299

Знаходимо накопичену похибку  $A$  позиціонування:

$$A_{Z_1} = 6.4 - 4.2 = 2.2 \text{ мкм};$$

$$A_{X_1} = 17.4 - (-0.2) = 17.6 \text{ мкм}.$$

Висновок: щоб підвищити точність позиціонування слід включити режим мікрокроку.

2) Для експерименту з увімкненим дробленням кроку 8:

Вісь Z.

Знаходимо середньоарифметичне значення похибки  $\delta_y$  в -й точці:

$$\delta_{Z_{y_1}} = \frac{1 + 11 + 3 + 9 + 2}{5} = 5.2 \text{ мкм};$$

$$\delta_{Z_{y_2}} = \frac{1 + 11 + 2 + 11 + 2}{5} = 5.4 \text{ мкм};$$

$$\delta_{Z_{y_3}} = \frac{1 + 14 + 2 + 13 + 2}{5} = 6.4 \text{ мкм};$$

$$\delta_{Z_{y_4}} = \frac{2 + 14 + 4 + 13 + 2}{5} = 7 \text{ мкм};$$

$$\delta_{Z_5} = \frac{3 + 14 + 3 + 13 + 3}{5} = 7.2 \text{ мкм}.$$

Знаходимо розмах варіювання похибок позиціонування  $R_y$  в -й точці при повторних проходах:

$$R_{Z_{y_1}} = 11 - 1 = 10 \text{ мкм};$$



$$R_{Z_{\gamma_2}} = 11 - 1 = 10 \text{ мкм};$$

$$R_{Z_{\gamma_3}} = 14 - 1 = 13 \text{ мкм};$$

$$R_{Z_{\gamma_4}} = 14 - 2 = 12 \text{ мкм};$$

$$R_{Z_{\gamma_5}} = 14 - 3 = 11 \text{ мкм}.$$

Знаходимо середнє квадратичне значення відхилення  $S_{\gamma}$  похибки позиціонування в  $\gamma$ -й контрольній точці при багаторазових підходах рухомого вузла до запрограмованого положення:

$$S_{Z_{y_1}} = \frac{10}{2.326} = 4.299 \text{ мкм};$$

$$S_{Z_{y_2}} = \frac{10}{2.326} = 4.299 \text{ мкм};$$

$$S_{Z_{y_3}} = \frac{13}{2.326} = 5.589 \text{ мкм};$$

$$S_{Z_{y_4}} = \frac{12}{2.326} = 5.159 \text{ мкм};$$

$$S_{Z_{y_5}} = \frac{11}{2.326} = 4.729 \text{ мкм}.$$

Вісь X.

Знаходимо середньоарифметичне значення похибки  $\delta_{\gamma}$  в  $\gamma$ -й точці:

$$\delta_{X_{y_1}} = \frac{1 + 8 + 3 + 9 + 5}{5} = 5.2 \text{ мкм};$$

$$\delta_{X_{y_2}} = \frac{2 + 8 + 4 + 9 + 5}{5} = 5.6 \text{ мкм};$$

$$\delta_{X_{y_3}} = \frac{0 + 9 + 4 + 9 + 5}{5} = 5.4 \text{ мкм};$$

$$\delta_{X_{y_4}} = \frac{1 + 9 + 3 + 10 + 4}{5} = 5.4 \text{ мкм};$$

$$\delta_{X_{y_5}} = \frac{0 + 9 + 3 + 9 + 4}{5} = 5 \text{ мкм}.$$

Знаходимо розмах варіювання похибок позиціонування  $R_{\gamma}$  в  $\gamma$ -й точці при повторних проходах:

$$R_{X_{\gamma_1}} = 9 - 1 = 8 \text{ мкм};$$

$$R_{X_{\gamma_2}} = 9 - 2 = 7 \text{ мкм};$$

$$R_{X_{\gamma_3}} = 9 - 0 = 9 \text{ мкм};$$

$$R_{X_{\gamma_4}} = 10 - 1 = 9 \text{ мкм};$$

$$R_{X_{\gamma_5}} = 9 - 0 = 9 \text{ мкм}.$$

Знаходимо середнє квадратичне значення відхилення  $S_{\gamma}$  похибки позиціонування в  $\gamma$ -й контрольній точці при багаторазових підходах рухомого вузла до запрограмованого положення:

$$S_{X_{y_1}} = \frac{8}{2.326} = 3.439 \text{ мкм};$$

$$S_{X_{y_2}} = \frac{7}{2.326} = 3.009 \text{ мкм};$$

$$S_{X_{y_3}} = \frac{9}{2.326} = 3.869 \text{ мкм};$$

$$S_{X_{y_4}} = \frac{9}{2.326} = 3.869 \text{ мкм};$$

$$S_{X_{y_5}} = \frac{9}{2.326} = 3.869 \text{ мкм}.$$

Результати зводимо до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Результати вимірювання точності позиціонування при включеному дробленні мікрокроку 8

h \ m	0,2 мм	0,4 мм	0,6 мм	0,8 мм	1 мм
	Відхилення $\delta$ , мкм				
Вісь Z					
1	1	1	1	2	3
2	11	11	14	14	14
3	3	2	2	4	3
4	9	11	13	13	13
5	2	2	2	2	3
$\delta_{max}$	11	11	14	14	14
$\delta_{min}$	1	1	1	2	3

$R_j$	10	10	13	12	11
$\delta_j$	5,2	5,4	6,4	7	7,2
$S_j$	4,299	4,299	5,589	5,159	4,729
Вісь X					
1	1	2	0	1	0
2	8	8	9	9	9
3	3	4	4	3	3
4	9	9	9	10	9
5	5	5	5	4	4
$\delta_{max}$	9	9	9	10	9
$\delta_{min}$	1	2	0	1	0
$R_j$	8	7	9	9	9
$\delta_j$	5,2	5,6	5,4	5,4	5
$S_j$	3,439	3,009	3,869	3,869	3,869

Знаходимо накопичену похибку  $A$  позиціонування:

$$A_{Z_2} = 7.2 - 5.2 = 2 \text{ мкм};$$

$$A_{X_2} = 5.6 - 5 = 0.6 \text{ мкм}.$$

Висновок: накопичена похибка позиціонування при включенні режиму мікрокроку зменшилася по осі  $Z$  з 2,2 до 2 мкм, по осі  $X$  з 17,6 до 0,6 мкм, але точність позиціонування при реверсі залишилася незмінною. Наявність похибки в момент реверсу вказує на наявність люфтів у механізмах приводів подач.

Для їх усунення необхідно увімкнути функцію компенсації люфтів.

3) Для експерименту з включеним дробленням кроку 8 та компенсацією люфтів:

За таблицею 3.2 знаходимо середню арифметичну суму похибок прямого та зворотного напрямів. Їхня різниця дорівнює зазору в передачі.



Рисунок 3.3 – Меню включення компенсації люфтів у програмі Mach3 Вісь Z.

Знаходимо середньоарифметичне значення похибки  $\delta_{\gamma}$  в -й точці:

$$\delta_{Z_{y_1}} = \frac{-2 - 1 + 0 + 0 + 0}{5} = 0.6 \text{ мкм};$$

$$\delta_{Z_{y_2}} = \frac{0 + 1 + 0 + 1 + 1}{5} = 0.6 \text{ мкм};$$

$$\delta_{Z_{y_3}} = \frac{0 + 3 + 1 + 3 + 1}{5} = 1.6 \text{ мкм};$$

$$\delta_{Z_{y_4}} = \frac{-2 + 3 + 2 + 2 + 2}{5} = 1.4 \text{ мкм};$$

$$\delta_{Z_5} = \frac{2 + 3 + 3 + 2 + 3}{5} = 2.6 \text{ мкм}.$$

Знаходимо розмах варіювання похибок позиціонування  $R_{\gamma}$  в -й точці при повторних проходах:

$$R_{Z_{y_1}} = 0 - (-2) = 2 \text{ мкм};$$

$$R_{Z\gamma_2} = 1 - 0 = 1 \text{ мкм};$$

$$R_{Z\gamma_3} = 3 - 0 = 3 \text{ мкм};$$

$$R_{Z\gamma_4} = 3 - (-2) = 5 \text{ мкм};$$

$$R_{Z\gamma_5} = 3 - 2 = 1 \text{ мкм}.$$

Знаходимо середнє квадратичне значення відхилення  $S_\gamma$  похибки позиціонування в  $\gamma$ -й контрольній точці при багаторазових підходах рухомого вузла до запрограмованого положення:

$$S_{Z\gamma_1} = \frac{2}{2.326} = 0.86 \text{ мкм};$$

$$S_{Z\gamma_2} = \frac{1}{2.326} = 0.43 \text{ мкм};$$

$$S_{Z\gamma_3} = \frac{3}{2.326} = 1.29 \text{ мкм};$$

$$S_{Z\gamma_4} = \frac{5}{2.326} = 2.15 \text{ мкм};$$

$$S_{Z\gamma_5} = \frac{1}{2.326} = 0.43 \text{ мкм}.$$

Вісь X.

Знаходимо середньоарифметичне значення похибки  $\delta_\gamma$  в  $\gamma$ -й точці:

$$\delta_{X\gamma_1} = \frac{4 + 1 + 4 + 1 + 4}{5} = 2.8 \text{ мкм};$$

$$\delta_{X\gamma_2} = \frac{4 + 1 + 4 + 2 + 4}{5} = 3 \text{ мкм};$$

$$\delta_{X\gamma_3} = \frac{4 + 2 + 4 + 2 + 5}{5} = 3.4 \text{ мкм};$$

$$\delta_{X\gamma_4} = \frac{4 + 3 + 4 + 2 + 5}{5} = 3.6 \text{ мкм};$$

$$\delta_{X\gamma_5} = \frac{3 + 3 + 4 + 3 + 4}{5} = 3.4 \text{ мкм}.$$

Знаходимо розмах варіювання похибок позиціонування  $R_\gamma$  в  $\gamma$ -й точці при повторних проходах:

$$R_{X\gamma_1} = 4 - 1 = 3 \text{ мкм};$$

$$R_{X_{\gamma_2}} = 4 - 1 = 3 \text{ мкм};$$

$$R_{X_{\gamma_3}} = 5 - 2 = 3 \text{ мкм};$$

$$R_{X_{\gamma_4}} = 4 - 3 = 1 \text{ мкм};$$

$$R_{X_{\gamma_5}} = 4 - 3 = 1 \text{ мкм}.$$

Знаходимо середнє квадратичне значення відхилення  $S_{\gamma}$  похибки позиціонування в  $\gamma$ -й контрольній точці при багаторазових підходах рухомого вузла до запрограмованого положення:

$$S_{X_{y_1}} = \frac{3}{2.326} = 1.29 \text{ мкм};$$

$$S_{X_{y_2}} = \frac{3}{2.326} = 1.29 \text{ мкм};$$

$$S_{X_{y_3}} = \frac{3}{2.326} = 1.29 \text{ мкм};$$

$$S_{X_{y_4}} = \frac{1}{2.326} = 0.43 \text{ мкм};$$

$$S_{X_{y_5}} = \frac{1}{2.326} = 0.43 \text{ мкм}.$$

Результати зводимо до таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати вимірювання точності позиціонування при включеному дробленні мікрокроку 8 та компенсацією люфтів

h \ m	0,2 мм	0,4 мм	0,6 мм	0,8 мм	1 мм
	Відхилення $\delta$ , мкм				
Вісь Z					
1	-2	0	0	-2	2
2	-1	1	3	3	3
3	0	0	1	2	3
4	0	1	3	2	2
5	0	1	1	2	3
$\delta_{max}$	-2	1	3	3	3
$\delta_{min}$	0	0	0	-2	2

$R_j$	2	1	3	5	1
$\delta_j$	-0,6	0,6	1,6	1,4	2,6
$S_j$	0,86	0,43	1,29	2,15	0,43
Вісь X					
1	4	4	4	4	3
2	1	1	2	3	3
3	4	4	4	4	4
4	1	2	2	3	3
5	4	4	5	4	4
$\delta_{max}$	4	4	5	4	4
$\delta_{min}$	1	1	2	3	3
$R_j$	3	3	3	1	1
$\delta_j$	2,8	3	3,4	3,6	3,4
$S_j$	1,29	1,29	1,29	0,43	0,43

Знаходимо накопичену похибку  $A$  позиціонування:

$$A_{Z_1} = 1.6 - (-0.6) = 2.2 \text{ мкм};$$

$$A_{X_1} = 3.6 - 2.8 = 0.6 \text{ мкм}.$$

Висновок: при включеному дробленні мікрокроку та компенсацією люфтів система забезпечує більш високу точність позиціонування.

Таблиця 3.4 – Результати вимірювань зони нечутливості

X	$\delta_{\text{управ}}$	$\delta_{\text{үүлів}}$
	0,501	0,511
	0,509	0,512
Z	0,505	0,513
	$\delta_{\text{прям}}$	$\delta_{\text{звор}}$
	0,485	0,495
	0,484	0,495
	0,485	0,495

Знаходимо  $U_{Yx}$ :

$$U_{Yx1} = |0.501 - 0.511| = 0.010 \text{ мм}$$

$$U_{Yx2} = |0.509 - 0.512| = 0.003 \text{ мм}$$

$$U_{Yx3} = |0.505 - 0.513| = 0.008 \text{ мм}$$

Знаходимо  $U_{Yz}$ :

$$U_{Yz1} = |0.485 - 0.495| = 0.010 \text{ мм}$$

$$U_{Yz2} = |0.484 - 0.495| = 0.011 \text{ мм}$$

$$U_{Yz3} = |0.485 - 0.495| = 0.010 \text{ мм}$$

$$U_{YZmax} = 0.011 \text{ мм}; U_{YXmax} = 0.010 \text{ мм};$$

Висновок: максимальна зона нечутливості до осі X становить 0,010 мм, по осі Z – 0,011 мм.

### 3.3. Висновки за розділом

Установка та програмування перетворювача частоти VFD 037 E43A є ключовим етапом модернізації системи керування. Правильна конфігурація параметрів забезпечить оптимальну роботу приводу головного руху, забезпечуючи точне регулювання швидкості та плавний пуск.

Дослідження точності позиціонування включає аналіз відповідності фактичного положення робочого інструмента вимогам програми. Цей етап дозволяє визначити ефективність нової системи керування та виявити можливі відхилення від заданих параметрів.

Модернізація системи керування та проведені дослідження підтверджують успішність проекту. Встановлення та програмування перетворювача частоти дозволило досягти точного та ефективного керування приводом головного руху. Дослідження точності позиціонування підтверджує високу якість та стабільність нової системи керування.

Ці етапи є критичними для впровадження нових технологій та забезпечення оптимальної продуктивності токарного верстата. Висновки розділу свідчать про те, що впроваджені зміни в систему керування дозволили досягти покращеної точності та надійності виробничих операцій.



## 4. РОЗРОБКА КЕРУЮЧОЇ ПРОГРАМИ ТА ЇЇ ВИПРОБУВАННЯ

### 4.1 Розрахунок режимів різання на операції

Швидкість різання при зовнішньому поздовжньому, поперечному точенні та розточуванні розраховуємо за формулою:

$$v = \frac{C_v}{T^m * t^{x_v} * S^{y_v}} * K_v, \text{ м/хв.}$$

Загальний поправочний коефіцієнт  $K_v$  на швидкість різання представляє собою добуток з окремих коефіцієнтів  $K_v = K_{mv} * K_{nv} * K_{uv} * K_{\varphi v}$ ,

де  $K_{mv}$  – вплив якості матеріалу, що обробляється;

$K_{nv}$  – вплив стану поверхні заготовлі (після чорнової обробки);

$K_{uv}$  – вплив матеріалу ріжучої частини;

$K_{\varphi v}$  – вплив головного кута в плані різця.

Приймаємо для алюмінію  $K_{mv} = 1$ ,  $K_{nv} = 1$ ,  $K_{uv} = 1$ ,  $K_{\varphi v} = 1$

Токарна програмна з ЧПУ.

Чорнове точення:

Глибина різання  $t = 0,5$  мм;

Подача  $S = 0,2$  мм/об;

Період стійкості інструменту  $T = 60$  хв.

Приймаємо:

$$C_v = 350;$$

$$m = 0,2;$$

$$x_v = 0,15;$$

$$y_v = 0,35;$$

$$K_v = 1 * 1 * 1 * 1 = 1.$$

$$v = \frac{350}{60^{0,2} * 0,5^{0,15} * 0,2^{0,35}} * 1 = 287,927 \text{ м/хв.}$$

За розрахованою швидкістю різання  $V$  визначають частоту обертання шпинделя верстата  $n_{\text{шп}}$ , об/хв:

$$n_{\text{шп}} = \frac{1000 * V}{\pi * d},$$

де  $d$  – діаметр найбільшої оброблюваної поверхні, мм.

$$n_{\text{шп}} = \frac{1000 * 287.927}{3.14 * 40} = 2292.412 \text{ об/хв}$$

Оскільки швидкість обертання шпинделя регулюється безступінчасто, немає необхідності вибирати найближче значення за паспортом верстата.

Чистове точення:

Глибина різання  $t = 0,5$  мм;

Подача  $S = 0,07$  мм/об;

Період стійкості інструменту  $T = 60$  хв.

Приймаємо:

$$C_v = 420;$$

$$m = 0.2;$$

$$x_v = 0.15;$$

$$y_v = 0.2;$$

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1.$$

$$v = \frac{420}{60^{0.2} * 0.5^{0.15} * 0.07^{0.2}} * 1 = 348.441 \text{ м/хв.}$$

$$n_{\text{шп}} = \frac{1000 * 348.441}{3.14 * 40} = 2774.212 \text{ об/хв.}$$

Оскільки швидкість обертання шпинделя регулюється безступінчасто, немає необхідності вибирати найближче значення за паспортом верстата.

Токарна програмна з ЧПУ.

Чистове точення:

Глибина різання  $t = 0.5$  мм;

Подача  $S = 0.07$  мм/об;

Період стійкості інструменту  $T = 60$  хв.

Приймаємо:

$$C_v = 50;$$

$$m = 0.2;$$

$$x_v = 0.15;$$

$$y_v = 0.2;$$

$$K_v = 1 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 1 = 1.$$

$$v = \frac{50}{60^{0.2} * 0.5^{0.15} * 0.07^{0.2}} * 1 = 41.481 \text{ м/хв.}$$

$$n_{\text{шп}} = \frac{1000 * 41.481}{3.14 * 10} = 1321.051 \text{ об/хв.}$$

Оскільки швидкість обертання шпинделя регулюється безступінчасто, немає необхідності вибирати найближче значення за паспортом верстата.

## 4.2. Розробка керуючої програми для програмного забезпечення

### Mach3/Fanuc 21i

При розробці керуючої програми були використані стандартні G, M-коди:

G00 – Прискорене переміщення інструменту (холостий хід);

G01 – Лінійна інтерполяція;

G02 – Кругова інтерполяція за годинниковою стрілкою;

G03 – Кругова інтерполяція проти годинникової стрілки;

M03 – обертання шпинделя за годинниковою стрілкою;

M30 – Кінець програми.

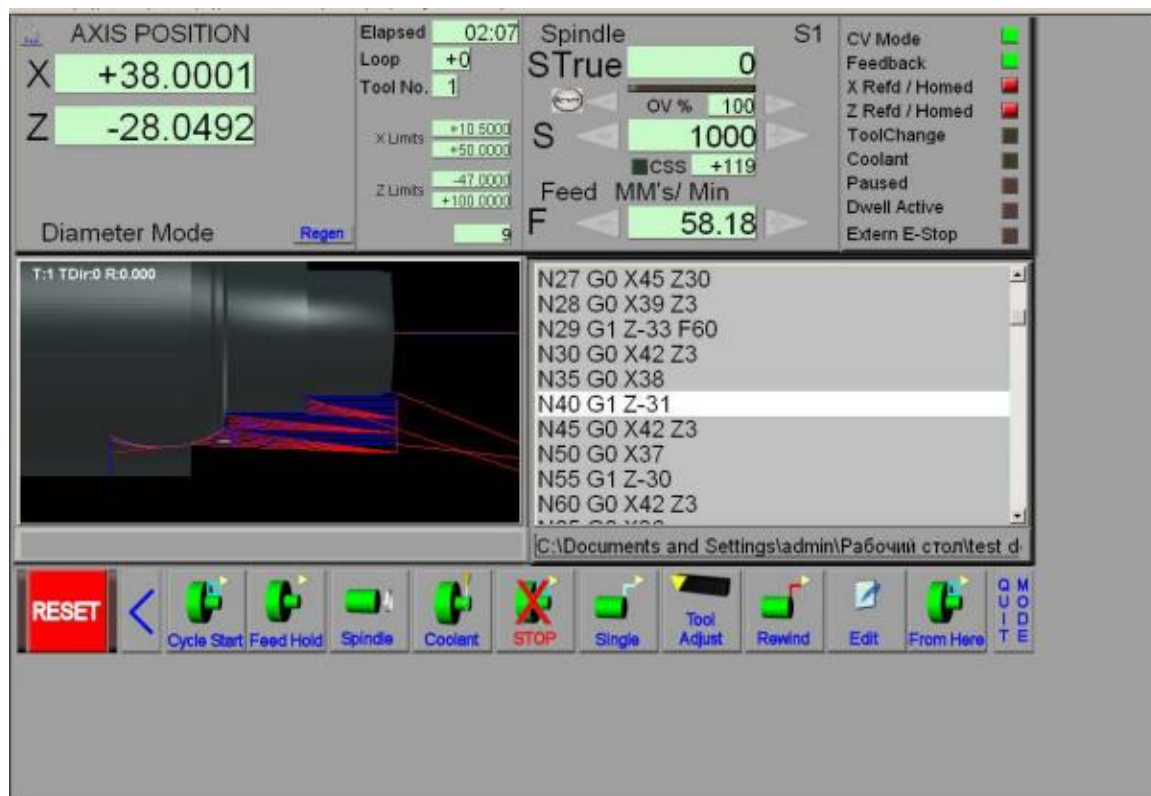


Рисунок 4.1 – Відпрацювання керуючої програми у програмному середовищі Mach3

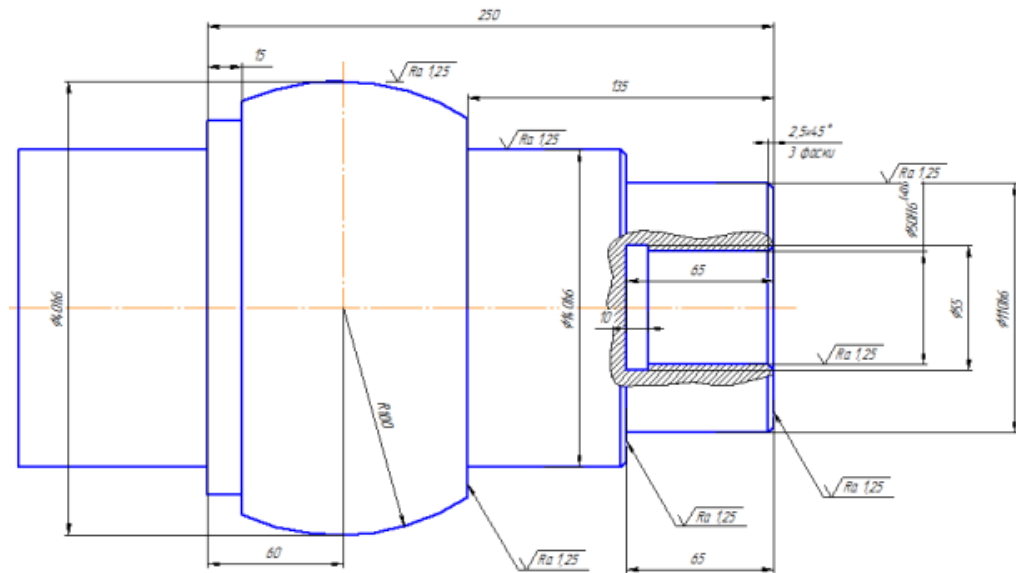


Рисунок 4.2 – Креслення оброблюваної деталі

Нижче представлена програма обробки деталі (Рисунок 4.2):

N5 G0 X45 Z30

N10 T0101

N15 S1000 M3

N27 G0 X45 Z30

N28 G0 X39 Z3

N29 G1 Z-33 F60

N30 G0 X42 Z3

N35 G0 X38

N40 G1 Z-31

N45 G0 X42 Z3

N50 G0 X37

N55 G1 Z-30

N60 G0 X42 Z3

N65 G0 X36

N70 G1 Z-28.8

N75 G0 X42 Z3

N80 G0 X35

N85 G1 Z-27.9

N90 G0 X42 Z3  
N95 G0 X34  
N100 G1 Z-27  
N105 G0 X42 Z3  
N110 G0 X33  
N115 G1 Z-26.5  
N120 G0 X35 Z3  
N125 G0 X32  
N130 G1 Z-26.5  
N135 G0 X35 Z3  
N140 G0 X31  
N145 G1 Z-26.5  
N150 G0 X35 Z3  
N155 G0 X30  
N160 G1 Z-26.5  
N165 G0 X35 Z3  
N170 G0 X29  
N175 G1 Z-26.5  
N180 G0 X35 Z3  
N185 G0 X28  
N190 G1 Z-13  
N195 G0 X30 Z3  
N200 G0 X27  
N205 G1 Z-12.5  
N210 G0 X30 Z3  
N215 G0 X26  
N220 G1 Z-12.5  
N225 G0 X30 Z3  
N230 G0 X25  
N235 G1 Z-12.5

N240 G0 X30 Z3  
N245 G0 X24  
N250 G1 Z-12.5  
N255 G0 X30 Z3  
N260 G0 X23  
N265 G1 Z-12.5  
N266 G0 X100 Z100  
N270 G0 X21 Z3  
N275 G1 Z0  
N280 G1 X22 C0.5  
N285 G1 Z-13  
N290 G1 X27  
N295 G1 X28 C0.5  
N300 G1 Z-27  
N301 G1 X33.4  
N310 G2 X40 Z-38 i0 k-38 F20  
N312 G2 X37 Z-47 i0 k-38 F25  
N313 G1 X42  
N314 G0 X40 Z-38  
N315 G2 X36 Z-47 i0 k-38 F20  
N316 G1 X50  
N320 G0 Z10  
N325 T0202  
N330 G0 X6 Z3  
N335 G0 Z-12  
N340 G0 X10  
N345 G1 Z3  
N350 G0 Z30  
N355 M30

Налаштування та моделювання керуючої програми в середовищі Fanuc21i виглядає наступним чином:

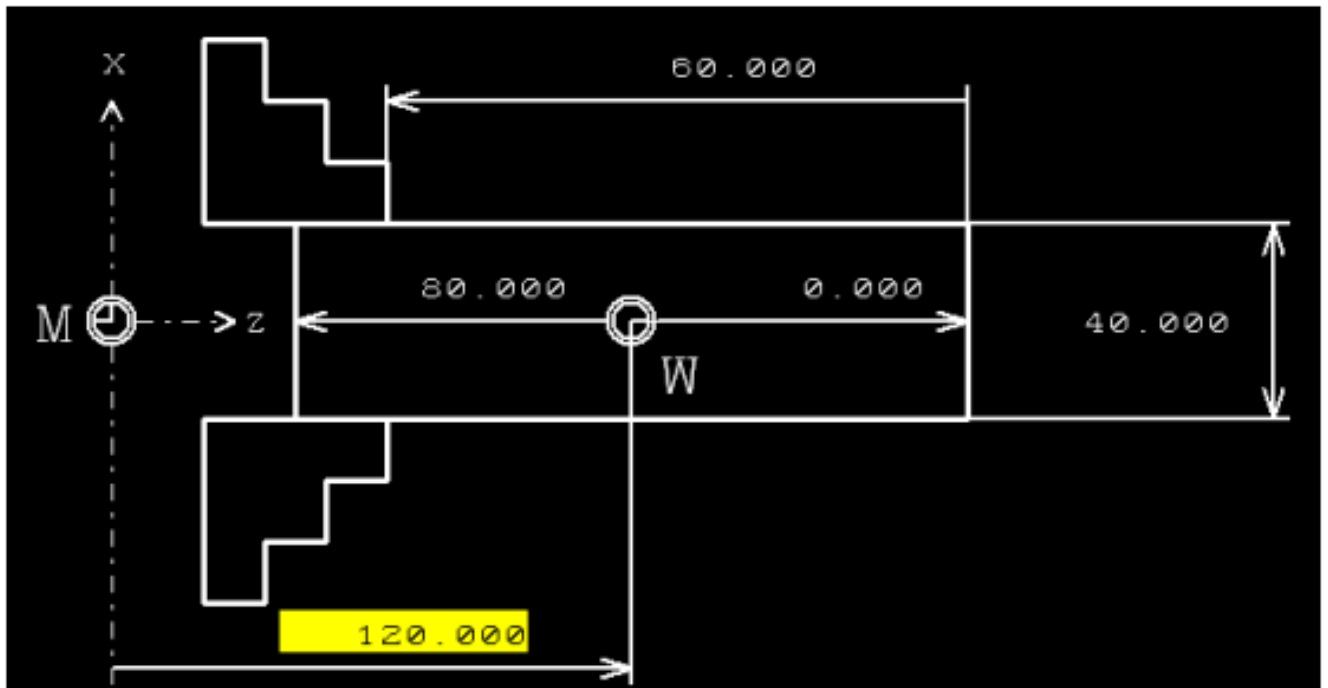


Рисунок 4.3 – Прив'язка нуля деталі до нуля верстата

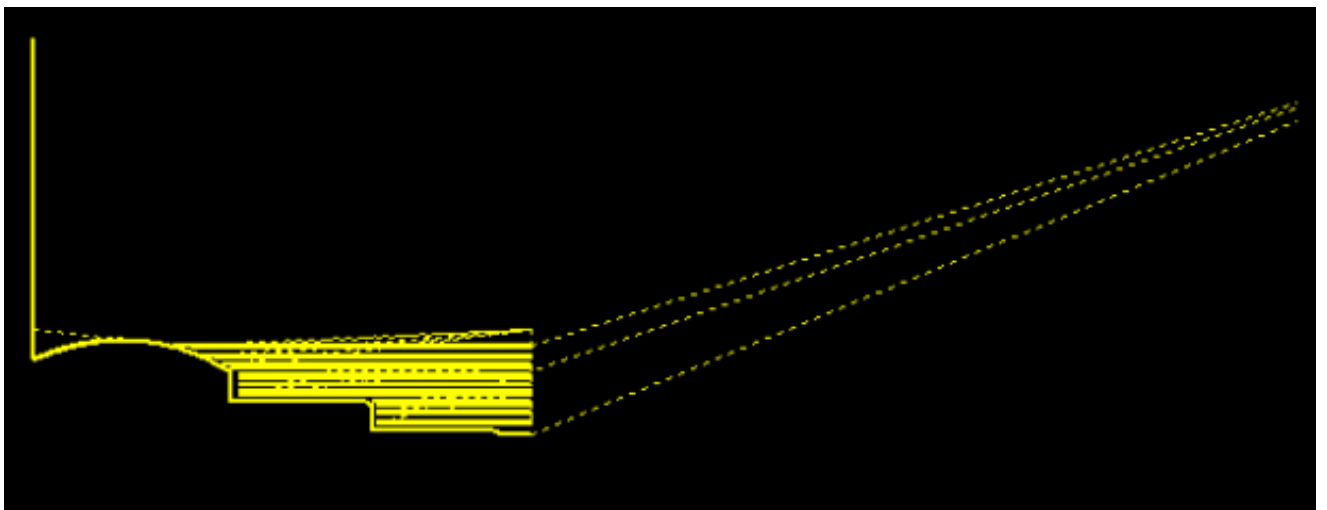


Рисунок 4.4 – Еквідистанта руху інструменту

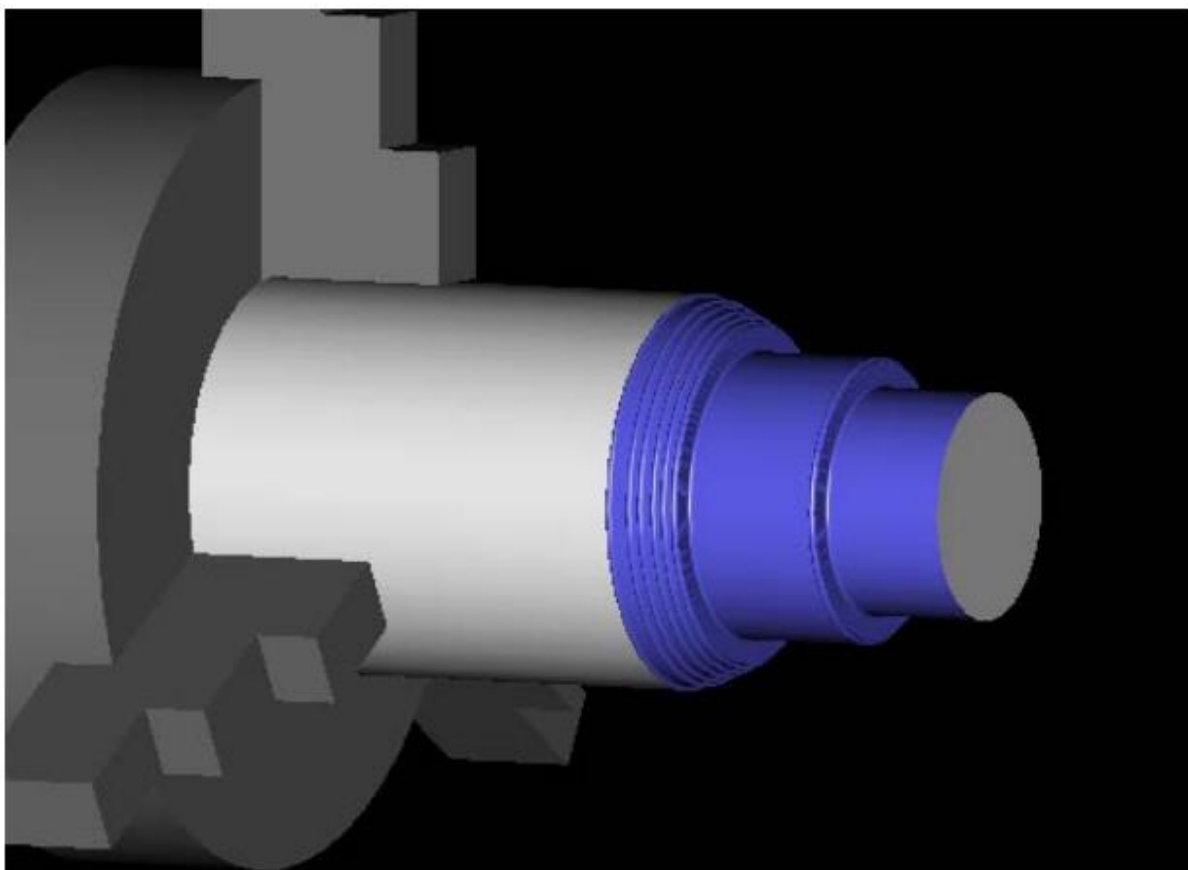


Рисунок 4.5 – Чорнова обробка деталі

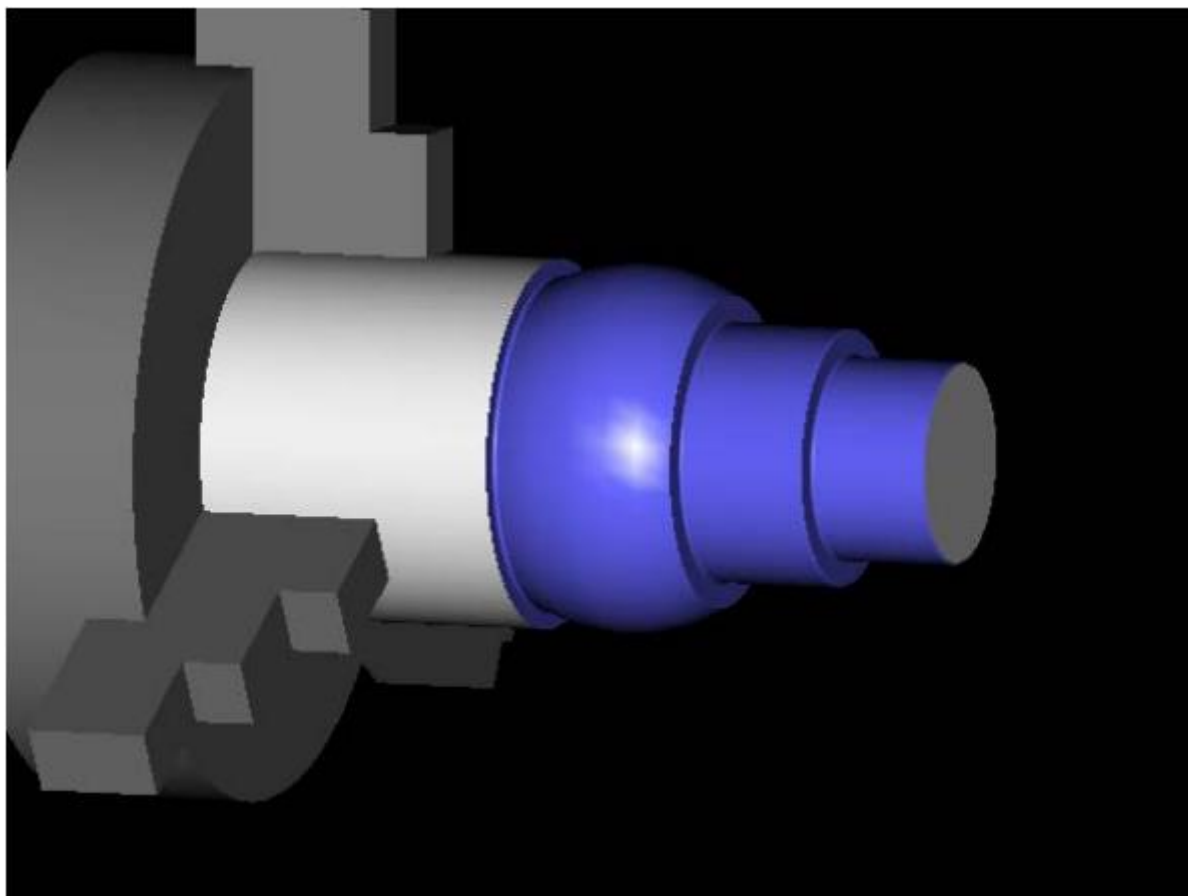


Рисунок 4.6 – Чистова обробка деталі





Рисунок 4.7 – Фото обробленої деталі

### **4.3. Висновки за розділом**

Розрахунок режимів різання є критичним етапом у визначенні оптимальних параметрів обробки матеріалів. Врахування швидкості різання, подачі та обертання інструмента дозволяє підібрати оптимальні умови, що максимізують ефективність та забезпечують якісну обробку.

Розробка керуючої програми є ключовим етапом для взаємодії із CNC-контролером. Для оптимальної роботи токарного верстата використовуються програмні засоби Mach3/Fanuc 21i, які дозволяють програмувати та контролювати різноманітні операції обробки.

Розробка керуючої програми є важливим кроком у впровадженні нової системи керування та модернізації токарного верстата. Використання програмного забезпечення Mach3/Fanuc 21i забезпечує гнучкість та широкі можливості для автоматизації виробничих процесів.

Ці етапи підкреслюють важливість правильного програмування та розрахунків для досягнення ефективності та точності обробки на токарному верстаті з модернізованою системою керування.

## ВИСНОВКИ

Дипломна робота присвячена комплексній модернізації токарного верстата, що включала у себе технологічний аналіз, розрахунки, та розробку нових систем керування. Наведені висновки ґрунтуються на детальному вивченні та вдосконаленні кількох ключових аспектів верстата.

Визначено призначення та область застосування верстата, розглянуто його технічні характеристики та загальні вимоги до електроприводів. Обґрунтовано необхідність модернізації та визначено напрямки розвитку.

Розглянуто способи модернізації приводу головного руху, включаючи розрахунок поліклинової передачі, опор шпинделя та модернізацію електроприводів. Впровадження CNC-контролера покращило точність та ефективність роботи верстата.

Встановлено та запрограмовано перетворювач частоти, досліджено точність позиціонування. Результати свідчать про покращення точності та стабільності позицій при використанні нової системи керування.

Виконано розрахунок режимів різання та розроблено керуючу програму для Mach3/Fanuc 21i. Описано етапи випробування, підтверджуючи ефективність нової програми та вдосконаленого приводу.

Загальні висновки підкреслюють успішність модернізації верстата, призначеного для обробки матеріалів у промислових умовах. Реалізація запропонованих змін призвела до покращення якості та ефективності виробничих операцій, а також підвищення конкурентоспроможності виробництва.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. CNC Programming Handbook - Peter Smid. Доступ до ресурсу: <https://learnengineering.in/cnc-programming-handbook-by-peter-smid-free-download/>
2. Колб Ант. А, Колб А. А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник. –2-е вид. перероб. і доп. –Д., Національний гірничий університет, 2011. – 540 с.
3. Донець О. В. Теорія електропривода/ В. І. Колотіло, О. В. Донець; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2021. – 148 с.
4. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи. Навч. посібник для вищ. навч. закл., за ред. Поповича М.Г., Лозинського О.Ю. – К.:Либідь, 2005. – 678 с.
5. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи / За ред. М.Г. Поповича. – К.: Либідь, 2005. – 672 с.
6. Попович М.Г., Ковальчук О.В. Теорія автоматичного керування. Підручник. – К: Либідь, 2007, – 656с.
7. Галай М.В. Теорія автоматичного керування: неперервні та дискретні системи. Навч. пос-к. – Полтава: ПолтНТУ, 2005. – 454с.
8. Галай В.М. Теорія цифрових систем автоматичного керування: навчальний посібник. – Полтава: ПолтНТУ, 2009. –131 с.
9. Леві Л.І. Навчальний посібник до проведення практичних занять з дисципліни «Електропривод та автоматизація верстатів-автоматів» для студентів спеціальності 141 «Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка» / Л.І. Леві; за заг. ред. д.т.н., проф. Л.І. Леві. – Полтава: Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. – 106 с.
10. Mach3 CNC Controller Software Installation and Configuration. Доступ до ресурсу:[https://www.machsupport.com/wpcontent/uploads/2013/02/Mach3Mill\\_Install\\_Config.pdf](https://www.machsupport.com/wpcontent/uploads/2013/02/Mach3Mill_Install_Config.pdf)
11. Mach3 Version 3.x Macro Programmers Reference Manual. Доступ до ресурсу: [https://www.machsupport.com/wpcontent/uploads/2013/02/Mach3\\_V3.x\\_Macro\\_Prog\\_Ref.pdf](https://www.machsupport.com/wpcontent/uploads/2013/02/Mach3_V3.x_Macro_Prog_Ref.pdf)

12. LinuxCNC V2.10.0-pre0-2425-g667249de0. Доступ до ресурсу: [http://linuxcnc.org/docs/devel/pdf/LinuxCNC\\_Documentation.pdf](http://linuxcnc.org/docs/devel/pdf/LinuxCNC_Documentation.pdf)
13. Getting Started V2.10.0-pre0-2425-g667249de0. Доступ до ресурсу: [http://linuxcnc.org/docs/devel/pdf/LinuxCNC\\_Getting\\_Started.pdf](http://linuxcnc.org/docs/devel/pdf/LinuxCNC_Getting_Started.pdf)
14. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода: навч. посібник/ М.В. Загірняк, Т.В. Коренькова, А.П. Калімов, А.І. Гладир, В.Г. Ко-вальчук –2-ге вид., перероблене і доповн. –Харків: Видавництво «Точ-ка», 2017. –206 с.
15. Дослідження систем електропривода методами математичного моделювання: Навчальний посібник / С. М. Довгань. - Дніпропетровськ: НГА України, 2001. – 137 с.
16. Голодний І.М., Червінський Л.С., Жильцов А.В., Санченко О.В. Романенко О.І. Моделювання регульованого електропривода: Підручник. – К.: Аграр Медіа Груп, 2019. – 266 с.: іл.
17. Куцик А.С. Автоматизовані системи керування на програмованих логічних контролерах: Навч. посіб. - Нац. ун-т «Львівська політехніка»/ А.С. Куцик, В.О. Місюренко.– Львів : Вид-во Львівської політехніки, 2011.– 199 с.
18. Зеленов А.Б. Теорія електропривода: Методика проектування електроприводів: Підручник. – Луганськ: Вид-во "Ноулідж", 2010. – 670 с.
19. Шефер, В.В. Електричні машини: навчальний посібник / В.В. Онушко, О.В. Шефер. – Полтава, ПолтНТУ, 2015. – 536 с.
20. Шефер О.В. Електропривод та автоматизація загальнопромислових механізмів: конспект лекцій. – Полтава: ПолтНТУ, 2011. – 154 с.

## Додаток А

### 1. THE TECHNOLOGICAL PART OF DESIGN

#### 1.1 Purpose and field of application of the machine

The TPK125VN2 high-precision chuck lathe (Figure 1.1) with numerical program control (NPC) is designed for chuck processing of parts according to the control program.



Figure 1.1 – Lathe TPK125VN2

The machine can be used for boring and turning cylindrical, conical and shaped surfaces, cutting fasteners, trimming ends, grooving.

A robotic technological complex is mounted on the machine, consisting of a magazine and a pneumatic RP-901 robot, designed for picking up blanks from the magazine, moving and installing them in the lathe chuck, and after processing, grabbing the processed part in the chuck, moving and placing it in the same shop.

In order to ensure high processing accuracy and increase the storage time of the precision parameters of the machine, it is recommended to set the cutting depth to no more than 0.5 mm per side. Software control of the machine allows processing of parts of a complex profile with a large number of transitions in automatic mode, which is economically beneficial for multi-nomenclature serial and small serial production.

In the automatic control mode, the machine can work simultaneously on two coordinates with automatic tool change.

The machine is equipped with the H22-1TM1 CNC system. To control the machine from a system consisting of a CNC controller and a personal computer, it is necessary to replace the engine in feed drive and main motion drive.

In the H22-1MT1 CNC system, the program determines the coordinates of the reference points of the curve along which the working body of the machine moves; the device approximates the distances between reference points by the method of linear or circular interpolation and issues control signals to the drive. In addition to information about geometric movement, the program indicates processing speed and technological commands that control the automation of the machine, as well as information about the device's operating mode. In the program, the technologist determines the distance, direction of movement, feed rate and technological commands regarding the drawing of the part and processing technology.

The kinematic scheme of the machine is shown in Figure 1.2.

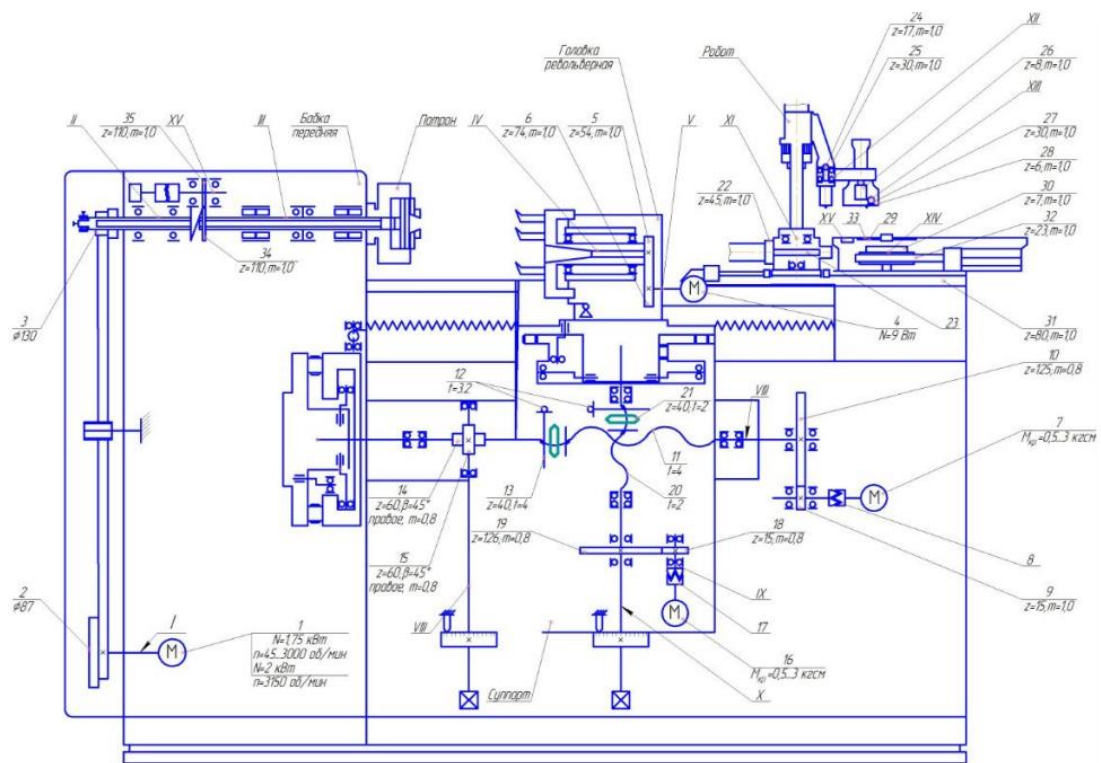


Figure 1.2 - Kinematic scheme of the TPK125VN2 machine

## 1.2 Basic technical characteristics of the machine

Technical characteristics and main parameters of the TPK125VN2 machine are listed in Table 1.1.

Table 1.1.

Parameter name	TPK-125VN2
The main parameters of the machine	
Accuracy class according to GOST 8-82	IN
The largest diameter of the workpiece, mm	125
Recommended processing diameter, mm	125
The largest processing diameter during automatic loading, mm	60
The smallest processing diameter during automatic loading, mm	5
The diameter of the holes in the spindle	
The longest length of products installed in the cartridge, mm	100
The largest length of products during automatic loading, mm	50
The shortest length of products during automatic loading, mm	4
The height of the cutter installed in the cutter holder, mm	12
The number of simultaneously controlled coordinates	2
Permissible mass of steel workpiece, kg	0.25
Spindle	
Spindle speed range, rpm	30..3000
submissions	
Discreteness of the longitudinal (Z)/ transverse (X) movement task, mm	0.002 / 0.001
Instability of automatic longitudinal (Z)/ transverse (X) stop, mm	0.002 / 0.001
Longitudinal (Z) and transverse (X) positioning accuracy, mm	±0.01
Surface roughness during processing of steel products, μm	1.25
Surface roughness during processing of products from non-ferrous	0.32

metals, $\mu\text{m}$	
The largest movement of the caliper: longitudinal (Z) / transverse (X), mm	180 / 110
Range of speeds of longitudinal feeds, mm/min (mm/ rev )	6..180
Range of speeds of transverse feeds, mm/min (mm/ rev )	3..90
Speed of fast longitudinal/transverse moves, mm /min	800 / 400
Number of positions on the rotary cutter holder (number of tools in the turret head)	6
Electrical equipment and machine drive	
Power supply voltage of the machine	~220 V
Control circuit voltage, V	~24 V
Lighting circuit voltage, V	~24 V
Main drive electric motor, kW	2
Feed electric motor	PBST-32
Dimensions and weight of the machine	
Overall dimensions of the machine with the CNC (length, width, height), mm	1680 * 920 * 1520
Weight of the machine with CNC, kg	2100

### 1.3 General requirements for electric drives of lathes

Electric drives for the main drive, feed and auxiliary are used on lathes.

The main drive must have a reverse function to ensure right or left thread cutting.

Spindle speed adjustment should be carried out in the D range  $\leq(100 \div 125)$  and above with an adjustment factor equal to 1.06 and 1.21 at approximately constant power, which is required by the technological process.

In established modes, the electric drive must provide rigid mechanical characteristics in the entire range of speed regulation with statics of no more than 10%



when the load changes from idling to maximum. In transient processes, it is desirable to carry out a smooth start and braking to avoid dangerous current surges, as well as to exclude sharp shocks in the gears of the speed box. For a more intensive stop, it is necessary to have the possibility of forced braking of the main drive.

The feed drive is reversible, to ensure feed in any direction and to feed and withdraw the tool.

In the process of processing products, it is necessary to maintain the constancy of the cutting and feeding speed. Deviation from the selected speed causes a deterioration in the quality of processing and a decrease in productivity. The reason for a possible change in speed may be a change in the network load and voltage, heating of the drive during long-term operation, etc. The electric drive must maintain the constancy of the rotation frequency of the mechanisms in the presence of the influence of these factors.

The scheme of automatic control of the lathe should provide control of electric drives for the implementation of all technological modes of the machine. In addition to the main work, it provides adjustment modes of the main drive, feeding at low speeds. In the control scheme, it is necessary to use simple electrical protection of engines and devices, blocking, prohibiting the start of the main drive in case of insufficient circulation of lubricant in systems and lubrication, non-fixed position of the handle of the gear box mechanism and blocking, prohibiting and limiting movement of the caliper, etc.

The scheme should provide light or sound indication, for example, to control the state of the lubrication system. Control of the electric drives of the machine should be carried out remotely and concentrated in a place convenient for maintenance.

#### **1.4 Main motion drive**

The separate drive of the main movement is made so that the spindle unit is located in a separate housing, and the gearbox is in the form of an attachment or a separate unit with manual or automatic control.

Stepless zmi on spindle rotation frequency is provided by adjusting the rotation frequency of the output link: the engine.

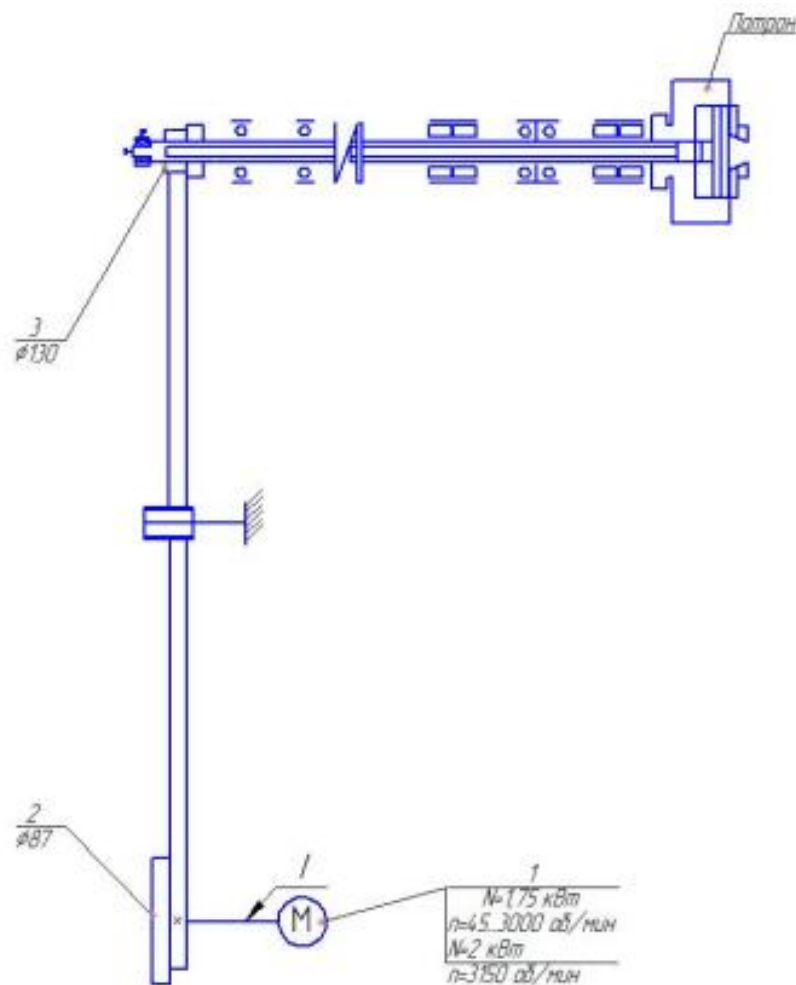


Figure 1.3 – Scheme of the spindle unit with the main motion drive of the TPK125VN2 machine.

The drive of the main movement of the TPK125VN2 machine is a direct current motor working together with a thyristor converter, the rotation is transmitted to the spindle using a poly-spline transmission.

The range of engine speed adjustment  $n_{dv} = 45...3000$  rpm.

The gear ratio of the belt transmission of the main motion drive is determined by the formulas:

$$i_1 = \frac{d}{D};$$

$$i_2 = \frac{D}{d}$$

where  $d$  is the diameter of the smaller pulley;

$D$  is the diameter of the larger pulley.

$$i_1 = \frac{87}{130} = 0,67;$$

$$i_2 = \frac{130}{87} = 1,494$$

We determine the range of spindle rotation frequencies:

$$n_{1 \text{ speed max}} = 3000 \cdot 0.67 = 2007 \text{ rpm};$$

$$n_{1 \text{ sh min}} = 45 \cdot 0.67 = 30.15 \text{ rpm.}$$

$$n_{2 \text{ shp max}} = 3000 \cdot 1.494 = 4482 \text{ rpm};$$

$$n_{2 \text{ shp min}} = 45 \cdot 1.494 = 67.23 \text{ rpm.}$$

Based on the obtained values, we construct graphs of rotation frequencies:

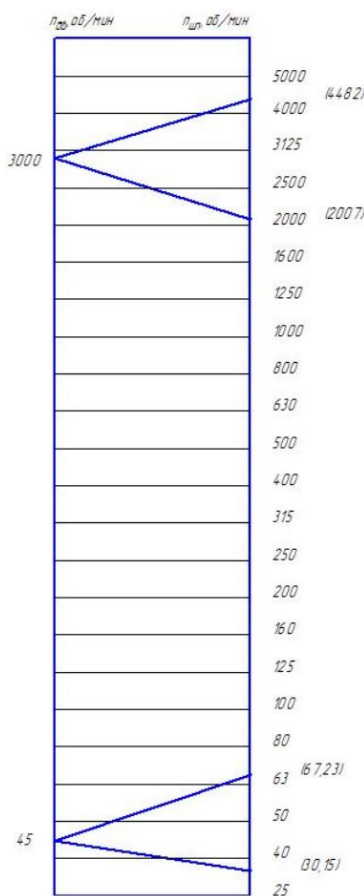


Figure 1.4 - Graph of frequency of rotation of the main motion drive and spindle of the TPK125VN2 machine

### 1.5 Feed drive

The movement of longitudinal and transverse calipers is carried out by stepper motors 16 and 7 through gear reducers with a transmission ratio  $\eta = 15 / 126$  and running screws 11 and 20. Accordingly, screw 11 of longitudinal feed with a step of  $t = 4$  mm and screw 20 of transverse feed with a step of  $t = 2$  mm.

The range of working and accelerated feeds is ensured by stepless adjustment of the frequency of passing the pulse to the windings of the stepper motor in .

The reason is the robot.

Drives for moving all executive mechanisms of the robot are pneumatic cylinders.

The rotation of the bracket with the head fixed on it with a drive of  $100^\circ$  in the horizontal plane to the magazine and from the magazine is carried out from the pneumatic cylinder through the rod rail 22 and the gear 23, rigidly mounted on the XI shaft.

The rotation of the head with the drive by  $90^\circ$  is provided by two one-sided pneumatic cylinders through the common stock-rail 24 for both cylinders and the gear 25, mounted on the key on the shaft XII, in the hole of which the head with the drive is installed.

The movement of the cams of the head is ensured by the pneumatic drive of the head and the spring from the three-way rail 26, the sector 27 freely sitting on the axes XIII, and the sliders 28, on which the cams are attached.

The movement of the satellites in the closed chute of the store is carried out from the pneumatic cylinder through the stock rail 32, which is connected to the XIV sector 31, which is freely mounted on the shaft, and the dog 29, movably mounted on the XV axis sector. The dog 29, when the stock rail 32 is extended, engages with the ratchet 30 installed on the key on the shaft XIV, and turns the sprocket 33, which moves the satellite, by  $1/7$  of a turn.

### **1.6 Justification of the design topic**

The purpose of the master's thesis is to modernize the high-precision chuck lathe TPK125VN2 with numerical software control. The machine was developed in 1974, the practice of its operation in compliance with the rules of operation and the system of current and planned repairs has proven the reliability of its mechanical parts.

In this regard, the modernization of machines from the 1970s and 1990s with the use of computer control is appropriate .

Specialized Linux CNC, Mach, etc. software is used to control the machines from a personal computer. These systems use programming languages compatible with the industrial systems of PE K.

To connect a personal computer with machine tool drives, CNC controllers are used, designed to control synchronous stepper and servo motors, as well as auxiliary devices of machine tools - turret heads, manipulators, etc.

The basic machine is equipped with a ShD-5D1MU3 feed motor. This motor is a 12 - pole with a passive rotor, which has a supply voltage of 48 volts. However, the analysis of literary sources showed that modern controllers are designed to control two-, four-, and six-pole motors, so the use of basic motors turned out to be impossible.

Considering all of the above, it can be concluded that the topic of the master's thesis is relevant and has scientific and practical value.

### **1.7. Conclusions by section**

The "Technological part of the design" section defined the main aspects and requirements for the developed lathe, designed for accurate and productive turning of metal parts.

The field of application of the machine covers production needs, and its technical characteristics are determined by the maximum diameter and length of the processed parts, the speed of the main spindle and the accuracy of processing. General requirements for the electric drive in and selected main motion and feed drives are aimed at ensuring energy efficiency and high processing quality.

The chosen design topic arises from the challenge of modernizing outdated lathes, noting the need to increase their efficiency and suitability to modern production standards.

PC control allows operators to easily program and change processing parameters, which makes the machine more flexible and ready to solve a variety of production tasks.

The use of personal control computers allows the use of modern software, such as Linux CNC , Mach 3, which is compatible with industrial standards and combines advanced technological solutions.

The conclusions from this chapter determine the technical foundation for further development and modernization of the lathe, ensuring its compliance with high standards of productivity and accuracy of production processes.

## Додаток Б

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
«ПОЛТАВСЬКА ПОЛІТЕХНІКА ІМЕНІ ЮРІЯ КОНДРАТЮКА»**

**ЗБІРНИК НАУКОВИХ ПРАЦЬ**  
за матеріалами ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції  
**«ЕЛЕКТРОННІ ТА МЕХАТРОННІ СИСТЕМИ:  
ТЕОРІЯ, ІННОВАЦІЇ, ПРАКТИКА»**  
10 листопада 2023 року



**Полтава 2023**

**УДК 004.89 + 681.51**

Збірник наукових праць за матеріалами ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика», 10 листопада, 2023 р. / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Редколегія: О.В. Шефер (головний редактор) та ін. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2023. – 140 с.

У збірнику представлені результати наукових досліджень та розробок в області сучасних електромеханічних систем та автоматизації, електричних машин і апаратів, моделювання та методів оптимізації, енергозбереження в електромеханічних системах, управління складними технічними системами, проблем аварійності та діагностики в електромеханічних системах та електричних машинах, інформаційно-комунікаційних технологіях та засобах управління. Призначений для наукових й інженерно-технічних працівників, аспірантів і магістрів.

Матеріали відтворено з авторських оригіналів та рекомендовано до друку ІХ Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика». Редакція не обов'язково поділяє думку автора і не відповідає за фактичні помилки, яких він припустився.

Відповідальний за випуск - д.т.н., професор О.В. Шефер.

**Редакційна колегія:**

О.В. Шефер – головний редактор, доктор технічних наук, професор, завідувач кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

Н.В. Єрмілова – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»;

С.Г. Кислиця – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Б.Р. Боряк – кандидат технічних наук, доцент кафедри автоматики, електроніки та телекомунікацій Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

© Національний університет  
«Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»



## ЗМІСТ

<b>М.Ю. Пророк, Б.Р. Борак</b> ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВІДСТЕЖЕННЯ НА ВІДЕО З ОБ'ЄКТАМИ З ВИСОКОЮ ДИНАМІКОЮ РУХУ, НАЯВНИХ В OPENCV 4.8.....	9
<b>О. Shefer, О. Yevdochenko</b> ASSESSMENT OF THE EFFECT OF AN EXTRA SHORT ELECTROMAGNETIC PULSE ON A RADIO COMMUNICATION SYSTEM	12
<b>О.С. Руденко</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОТИДІЇ СИСТЕМАМ ПЕРЕДАЧІ З ПРЯМИМ РОЗШИРЕННЯМ СПЕКТРА.....	14
<b>А.С. Стадніченко, О.А. Штепа, Г.О. Шейна</b> РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ПОЗИЦІЮВАННЯ ДЛЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ.....	16
<b>Н.В. Єрмілова, В.В. Васильєва</b> МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НОЖИЦЬ ГАРЯЧОГО РІЗАННЯ ЗАГОТОВОК В МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ.....	18
<b>О. Laktionov, М. Movin, I. Laktionova</b> RESEARCH ON THE ROLE OF THE SAFETY COMPONENT IN A ROBOTICS SYSTEM.....	20
<b>М.О. Мурат</b> РОЛЬ ТЕЛЕМЕТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ В БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ: АНАЛІЗ ВАЖЛИВОСТІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ ТЕЛЕМЕТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ У ВІЙСЬКОВИХ БПЛА.....	21
<b>В.В. Стьопкін, О.В. Колесник</b> ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ГЕНЕРАТОР – ДВИГУН ПРОКАТНИХ СТАНІВ.....	23
<b>О. Shefer, S. Myhal</b> RESEARCH OF EMISSIONS WHICH DETERMINATE THE QUALITY OF WORK OF TELECOMMUNICATIONS EQUIPMENT.....	25
<b>Р.В. Захарченко, В.Ю. Курбала</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ «ІНВЕРТОР – АСИНХРОННИЙ ДВИГУН» ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ.....	27

<b>Н.В. Єрмілова, Д.С. Борщов</b> УДОСКОНАЛЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ ШТАНГОВОЇ СВЕРДЛОВИННОЇ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ.....	29
<b>О. Шефер, Б. Богатирьов</b> РОЗРАХУНОК ТА ВИЗНАЧЕННЯ САНИТАРНО-ЗАХИСНИХ ЗОН ТА ЗОН ОБМЕЖЕННЯ ЗАБУДОВИ АНТЕНИ БАЗОВИХ СТАНЦІЙ.....	31
<b>В.В. Гавриленко, І.О. Бедько</b> МОВНІ АЛГОРИТМИ ЯК ОСНОВНИЙ КОМПОНЕНТ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ВЕБСАЙТІВ.....	33
<b>О.Г. Дрючко, В.М. Галай, А.В. Трет'як, А.Ю. Бурда, Є.О. Ошкодьоров</b> ІННОВАЦІЙНІ АСПЕКТИ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТЕХНОЛОГІЙ ПЕРЕТВОРЕННЯ, ЗБЕРЕЖЕННЯ І ТРАНСПОРТУВАННЯ У СФЕРІ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКИ.....	34
<b>С.Г. Кислиця, А.С. Боровик</b> ІНТЕЛЕКТУАЛЬНИЙ АНАЛІЗ ДАНИХ У ЗАБЕЗПЕЧЕННІ ІНФОРМАЦІЙНОЇ БЕЗПЕКИ.....	37
<b>Н.В. Єрмілова, Ю.Р. Зоураб, Р.О. Єрмілов</b> ПОРІВНЯЛЬНИЙ РОЗГЛЯД МЕТОДІВ РОЗПІЗНАВАННЯ ОБРАЗІВ.....	39
<b>Я.І. Немирич, А.В. Трет'як</b> ОПТИМІЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ ЗАЧЕПИЛІВСЬКОЇ УСТАНОВКИ ПЕРВИННОЇ ПІДГОТОВКИ НАФТИ ЗА РАХУНОК ВСТАНОВЛЕННЯ АВР ТА ДИЗЕЛЬГЕНЕРАТОРА.....	42
<b>Н.В. Єрмілова, О.В. Уманець</b> НАПРЯМКИ МОДЕРНІЗАЦІЇ ТРАНСФОРМАТОРНИХ ПІДСТАНЦІЙ.....	45
<b>О. Shefer, O. Yastreba, V. Yastreba</b> IMPROVEMENT OF THE ADAPTIVE ALGORITHM OF ACTIVE NOISE RADIO INTERFERENCE SUPPRESSION.....	47
<b>Р.В. Карманов, Н.А. Зубрецька</b> ПЕРСПЕКТИВИ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЗМІН ПЕРСОНАЛЬНИХ ПЕРЕНОСНИХ ПРИСТРОЇВ ПОСТ-СМАРТФОНОВОЇ ЕПОХИ.....	49
<b>О. Shefer, I. Pliuiko</b> ANALYSIS OF SIGNAL MODULATION METHODS IN TELECOMMUNICATIONS.....	51
<b>А.М. Сільвестров, В.С. Олєфіренко</b> РОЗВИТОК МЕТОДІВ СИХРОНІЗАЦІЇ В БЕЗПРОВОДОВИХ СЕНСОРНИХ МЕРЕЖАХ.....	53

<b>С.Г. Кислиця, В.В. Зливко</b> АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ ЗРОШЕННЯ.....	55
<b>Р.В. Захарченко, П.Б. Митрофанов, В.Ю. Кушнір</b> РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ ЕНЕРГОЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ.....	58
<b>О. Шефер, К. Кривенко</b> ПОБУДОВА МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТЕМПЕРАТУРНОГО ПОЛЯ ВІДПАЛУ СКЛОВИРОБІВ ПРИЗМАТИЧНО-ЦИЛІНДРИЧНОЇ КОНФІГУРАЦІЇ.....	60
<b>С.А. Закусило, Є.О. Зайцев</b> ІНФОРМАЦІЙНО-КОМУНІКАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ІНФОРМАЦІЙНОГО ОБМІНУ В СИСТЕМАХ КОНТРОЛЮ ЕНЕРГЕТИЧНОГО ОБЛАДНАННЯ НА БАЗІ ТЕХНОЛОГІЇ LoRaWAN.....	62
<b>О.Г. Дрючко, О.В. Шефер, Б.Р. Боряк, Р.В. Захарченко, О.А. Іванов, В.О. Тітов</b> ІННОВАЦІЙНІ ТЕХНІЧНІ РІШЕННЯ ЗАСОБІВ УПРАВЛІННЯ ПРОЦЕСАМИ ЗАРЯДУ І РОЗРЯДУ ЛІТІЄВИХ АКУМУЛЯТОРНИХ БАТАРЕЙ.....	64
<b>В. В. Ярещенко, В.В. Косенко</b> КОДУВАННЯ З НИЗЬКИМ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯМ.....	67
<b>С.Г. Кислиця, Я.О. Зоць</b> РОЗРОБЛЕННЯ І ДОСЛІДЖЕННЯ УСТАНОВКИ ДЛЯ ПАКУВАННЯ ЧАЮ.....	68
<b>М.І. Шкурін, А.В. Трет'як</b> ВАЖЛИВІСТЬ ВПРОВАДЖЕННЯ НОВІТНІХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОДВИГУНАМИ НА ПРИКЛАДІ ІРС PROTEO.....	70
<b>О.В. Михайліченко</b> МЕТОДИ АВТОМАТИЧНОГО ВИЯВЛЕННЯ МЕРЕЖЕВИХ ЗАГРОЗ ДЛЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ПОТОКУ ДАНИХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	72
<b>Г.М. Кожушко, С.Г. Кислиця, Д.В. Кислиця</b> ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА ЯКОСТІ СВІТЛА LED ЛАМП.....	74
<b>О.І. Лактіонов, І.В. Марченко</b> МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ РАДІАЛЬНО- СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 2М57-2 ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК.....	77

<b>О. Шефер, М. Бібік</b> ВИЗНАЧЕННЯ ГРАНИЧНО-ДОПУСТИМОГО РІВНЯ ЕЛЕКТРОМАГНІТНОГО ПОЛЯ ПОБЛИЗУ АНТЕН БАЗОВОЇ СТАНЦІЇ...	78
<b>М.А. Штомпель, С.Ю. Кальченко</b> РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ ПІДПРИЄМСТВА НА ОСНОВІ WEB-ТЕХНОЛОГІЙ.....	80
<b>О.І. Безверхий, В.Є. Луц</b> ВИКОРИСТАННЯ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ДЛЯ ДОПОМОГИ ЛЮДЯМ З ОБМЕЖЕНИМИ МОЖЛИВОСТЯМИ.....	81
<b>В.В. Гавриленко, І.І. Пекневич</b> ХМАРНА ІНФРАСТРУКТУРА ЯК БАЗА ДЛЯ ПІДХОДІВ РІШЕНЬ СУЧАСНИХ ВИКЛИКІВ.....	83
<b>О. Шефер, А. Попенко</b> ВИЗНАЧЕННЯ ЯКОСТІ ПРОЦЕСУ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ РОЛИКОВИМ ЗВАРЮВАЛЬНИМ СТЕНДОМ.....	85
<b>М.О. Педан, А.В. Трет'як</b> РОЗРОБЛЕННЯ АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ СПОЖИВАЧІВ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ.....	87
<b>В.В. Гавриленко, А.О. Блиндарук</b> РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ІНТЕРАКТИВНОГО ВРАХУВАННЯ ХАРАКТЕРИСТИК NURBS КРИВИХ.....	89
<b>О. Shefer, Ya. Mykhailenko, E. Sidan</b> METHOD FOR RADIO SIGNAL INTERFERENCE COMPENSATION BASED ON A RECURSIVE ALGORITHM WITH CORRELATION FEEDBACK.....	91
<b>О.Г. Дрючко, В.В. Соловійов, Н.В. Бунякіна, Д.Ю. Гончар, Я.С. Пащенко</b> РОЗРОБКА ТЕХНОЛОГІЙ ЗБАГАЧЕННЯ ЛІТІЄВОЇ РУДНОЇ СИРОВИНИ ДЛЯ ВИРОБНИЦТВА LІ-ІОННИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ НАКОПИЧУВАЧІВ НА РОДОВИЩАХ УКРАЇНИ.....	93
<b>О. Shefer, О. Kushch, Ya. Sheptun</b> ASSESSMENT OF THE INFLUENCE OF NONLINEARITIES ON THE DISTORTION OF THE USEFUL SIGNAL.....	96
<b>В.М. Галай, І.О. Сілін</b> ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ КРИВОШИПНОГО ВЕРСТАТУ ДЛЯ РУЙНІВНОГО ВИПРОБУВАННЯ ПРУЖИН.....	98
<b>Р.Р. Кісельов, М.К. Бороздін</b> НЕЛІНІЙНІ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ.....	100

<i>Л.І. Леві, М.Р. Янченко</i> АВТОМАТИЗОВАНА СИСТЕМА КЛІМАТИЧНОГО КОНТРОЛЮ В ВИРОБНИЧИХ ПРИМІЩЕННЯХ.....	102
<i>С.Г. Кислиця, Д.В. Рибак</i> АВТОМАТИЗАЦІЯ СИСТЕМИ ХРОМУВАННЯ ВИРОБІВ.....	103
<i>Н. М. Слєпченко, О.В. Шефер, С. Г. Кислиця</i> МОЖЛИВОСТІ ПОДОЛАННЯ ВПЛИВУ ПЕРЕШКОД НА ПРИЙМАЛЬНИЙ ТРАКТ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНИХ СИСТЕМ.....	106
<i>В.М. Галай, В.І. Романенко</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ТА МОДЕРНІЗАЦІЯ ПРАВИЛЬНО-ВІДРІЗНОГО ВЕРСТАТА З ВИКОРИСТАННЯМ СУЧАСНИХ ПІДХОДІВ ПРОГРАМУВАННЯ ЛОГІЧНИХ КОНТРОЛЕРІВ.....	108
<i>С.І. Демус, О.В. Шефер, С.Г. Кислиця</i> ШЛЯХИ УДОСКОНАЛЕННЯ ХАРАКТЕРИСТИК ЯКОСТІ ПРИЙМАЛЬНОГО ТРАКТУ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ.....	110
<i>О.С. Жученко, Я.Д. Васєв</i> ОСНОВИ ПОБУДОВИ ТА ФУНКЦІОНУВАННЯ DNS.....	112
<i>Л.І. Леві, О.С. Шкицький</i> МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ГОЛОВНОГО РУХУ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК.....	114
<i>О. Shefer, S. Babych, V. Demianchuk</i> ANALYSIS OF THE STABILITY OF TELECOMMUNICATION EQUIPMENT TO THE INFLUENCE OF POWER WIDEBAND IMPULSE INTERFERENCE.....	116
<i>А.М. Сільвестров, Т.Ю. Мірошніченко</i> ДОСЛІДЖЕННЯ ПРОТОКОЛУ «ETHERNET» ТА ЙОГО МОЖЛИВОСТЕЙ ПРИ ПОБУДОВІ КОМП'ЮТЕРНИХ МЕРЕЖ.....	118
<i>О. Shefer, D. Piddubnyi</i> ANALYSIS OF MODERN MEANS OF ELECTROMAGNETIC INFLUENCE	120
<i>Р.М. Царьков, Н.В. Єрмілова</i> АНАЛІЗ ЕФЕКТИВНОСТІ АЛГОРИТМІВ ФАЗОВОГО АВТОПІДСТРОЮВАННЯ ЗА ОЗНАКОВИМИ ХАРАКТЕРИСТИКАМИ СИГНАЛІВ В ОПТИЧНИХ СИСТЕМАХ ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЇ.....	121
<i>О.С. Жученко, Р.М. Сталинський</i> РОЗРОБКА ПРОЄКТУ КОМП'ЮТЕРНОЇ МЕРЕЖІ ПІДПРИЄМСТВА З СИСТЕМОЮ ЗАХИСТУ ПЕРЕДАЧІ ІНФОРМАЦІЇ.....	123

<b><i>Н.В. Єрмілова, Ю.С. Ярошенко</i></b> МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГОЕФЕКТИВНОСТІ ТА НАДІЙНОСТІ ОБЛАДНАННЯ БУРОВИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ЕЛЕКТРОБУРІННЯ.....	124
<b><i>М.А. Штомпель, В.Ю. Швидкий</i></b> АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ПАСИВНИХ ОПТИЧНИХ МЕРЕЖ.....	126
<b><i>В.Д. Рубан</i></b> ІНТЕГРАЦІЯ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ У ТЕЛЕКОМУНІКАЦІЙНІ СИСТЕМИ ТА МЕРЕЖІ. КЛЮЧОВІ НАПРЯМКИ РОЗВИТКУ ТА ВИКЛИКИ.....	128
<b><i>В.О. Янковський</i></b> ОГЛЯД СУЧАСНИХ МЕТАЛООБРОБНИХ ВЕРСТАТІВ.....	131
<b><i>П.Є. Пустовойтов, В.С. Бреславець, Д.В. Удалов, Г.Ю. Мартиненко</i></b> КОНЦЕПЦІЯ ДЕНОРМАЛІЗАЦІЇ БАЗИ ДАНИХ У РОЗРОБЦІ ПРОГРАМНИХ КОМПЛЕКСІВ.....	132
<b><i>А.В. Трет'як, Д.А. Здоровченко</i></b> ОСОБЛИВОСТІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЯКОСТІ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В УКРАЇНІ.....	133
<b><i>В.В. Гавриленко, А.В. Озарков</i></b> ІНСТРУМЕНТАРІЙ РОЗРОБКИ ПРИКЛАДНИХ ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ З ВИКОРИСТАННЯМ ТЕХНОЛОГІЙ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ.....	137

2. Кучернюк П. В. *Основи теорії телекомунікацій: текст лекцій з дисципліни «Основи теорії телекомунікацій і радіотехніки»*. Київ: КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. 290 с.

3. Кучернюк П.В. *Комп'ютерні мережі: навчальний посібник з дисципліни «Комп'ютерні мережі та засоби телекомунікацій» для студентів спеціальності 7.05090201, 8.05090201 «Радіоелектронні апарати та засоби»*. Київ: НТУУ «КПІ», 2015 р. 238 с.

## **BASICS OF BUILDING AND FUNCTIONING OF DNS**

*O.S. Zhuchenko, Doctor of Science. Associate Professor,*

*Y. Vasiev, Postgraduate Student*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

### **УДК 004.42**

*Л.І. Леві, д.т.н., професор,*

*О.С. Шкицький, магістрант*

*Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»*

## **МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ГОЛОВНОГО РУХУ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК**

Станом на сьогоднішній день у навчальних закладах та на промислових підприємствах знаходиться велика кількість верстатів з числовим програмним управлінням, непрацездатних через несправність або моральне старіння систем ЧПК.

Введення даного обладнання у навчальний чи виробничий процес можливе за умови заміни систем ЧПК. Однак оснащення промисловими системами типу Fanuc, Sinumeric і т.і. потребує значних фінансових вкладень. Вартість нового верстата з ЧПУ складає близько 800 тис. гривень. Заміна системи ЧПК – від 200 тис. гривень. Враховуючи вік та залишковий ресурс механічної частини обладнання, такі вкладення мають певний ризик.

У зв'язку з цим модернізація верстатів з ЧПУ 70-х – 90-х років випуску доцільна із застосуванням комп'ютерного керування.

Для керування верстатами від персонального комп'ютера застосовується спеціалізоване програмне забезпечення Linux CNC, Mach тощо. У цих системах використовуються мови програмування сумісних із промисловими системами ЧПУ.

Для сполучення персонального комп'ютера з приводами верстата використовуються CNC-контролери, призначені для керування синхронними кроковими та серводвигунами, а також допоміжними пристроями верстатів – револьверними головками, маніпуляторами тощо.

CNC-контролер – контролер, який дозволяє забезпечити керування електроприводами подачі (кроковими та сервоприводами) від персонального

комп'ютера з програмним забезпеченням, яке читає інструкції G-коду та керує верстатом (MACH3, Linux CNC).

Для модернізації було обрано верстат токарний патронний високої точності моделі ТПК125ВН2 з ЧПК, призначений для патронної обробки деталей за програмою управління.

Базовий верстат оснащений двигуном подач ШД-5Д1МУ3. Даний двигун є 12-полюсним з пасивним ротором, у якого напруга живлення становить 48 вольт. Однак сучасні контролери розраховані на керування дво-, чотири- та шестиполюсними двигунами, тому застосування базових двигунів виявилось неможливим.

Замість базового двигуна був обраний двигун GB23H282-30-4В, що має приблизно такий самий крутний момент. При цьому його габарити суттєво менші.

Для керування була обрана плата марки HY-TB3DV-N 3 Axis, яка призначена для керування двигунами та підключення до ПК із встановленим програмним забезпеченням Mach3 або Linux CNC.

На рисунку 1 представлено схематичне зображення системи керування верстату на базі CNC-контролера і персонального комп'ютера.

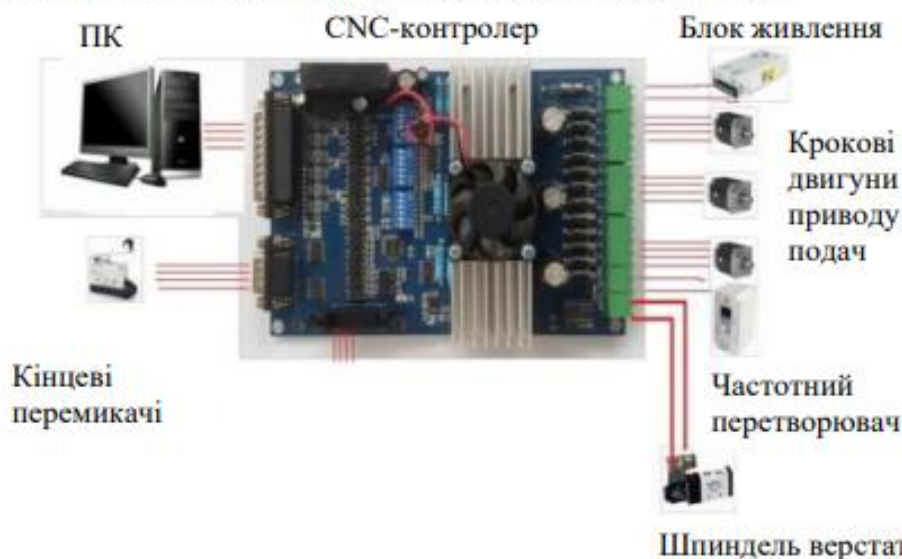


Рис. 1. Схематичне зображення системи керування верстату на базі CNC-контролера і персонального комп'ютера

## ЛІТЕРАТУРА

1. Інструкція по використанню Mach3 «Mach3 CNC Controller: Встановлення і Конфігурація – 95 с.
2. Керівництво по експлуатації частотних перетворювачів VFD-F, 2009 – 123 с.



3. Станок патронний високої точності з ЧПК. Модель ТПК125ВН2. Посібник з експлуатації 72003.020.00.000 PE. – К.: 1985. – 162 с.

#### **MODERNIZATION OF THE CONTROL SYSTEM OF THE ELECTRIC DRIVE OF THE MAIN MOVEMENT OF THE LATHE WITH CNC**

*L. Lievi, ScD, Professor,*

*O. Shkytskyy, Master's student,*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

#### **UDC 621.34**

*O. Shefer, Doctor of Science, professor,*

*S. Babych, postgraduate,*

*V. Demianchuk, postgraduate*

*National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»*

#### **ANALYSIS OF THE STABILITY OF TELECOMMUNICATION EQUIPMENT TO THE INFLUENCE OF POWER WIDEBAND IMPULSE INTERFERENCE**

Means of broadband (ultra-broadband) influence generate single or sequences of ultra-short electromagnetic pulses, which generate ultra-broadband interference in space with a range from hundreds of MHz to units of GHz. The generation of such a spectrum occurs on the basis of an ultra-broadband transient process, which is an ultra-short electromagnetic pulse with a front duration of about hundreds of picoseconds [1-3]. The energy of such radiation is not concentrated at one frequency, but is distributed over the entire spectrum. The energy efficiency of such radiation, based on the concept of spectral energy density, is lower than that of narrow-band radiation, but taking into account the simultaneous generation in a wide spectrum band, we can talk about high efficiency of influence due to the possibility of penetration of the obstacle and, therefore, the introduction of voltages and currents through the vulnerability of filters and shielding.

The width of the generated spectrum depends on the transition process, the shorter the duration of the front, the wider the spectrum. Thus, when using an ultrashort pulse with a front duration of 150 ps, the spectrum width will be from units of MHz to units of GHz. It should be noted that under the influence of a narrow-band signal and a sequence of ultra-short electromagnetic pulses, it is possible to form signals of different duration and repeatability.

Currently, a large number of ultrashort pulse emitters have been created in various countries, the amplitude-time characteristics of which vary in a wide range. When solving a number of tasks regarding the assessment of the resistance of telecommunications equipment to their influence, it turned out to be convenient to use the typical form shown in fig. 1.

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій і робототехніки

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРАНТА

## Додаток В

### НА ТЕМУ МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ГОЛОВНОГО РУХУ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ

Виконав : студент групи 601-МЕ Шкільський О.С.

Керівник кваліфікаційної роботи: Леві Л.І.

Полтава 2023

## ТЕМА: МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДОМ ГОЛОВНОГО РУХУ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТА З ЧПК ТА ДОСЛІДЖЕННЯ РЕЖИМІВ ЙОГО РОБОТИ

**Мета:** Модернізації системи керування електроприводом головного руху токарного верстага з ЧПК шляхом сполучення з ПК з використанням CNC-контролера та дослідження її роботи.

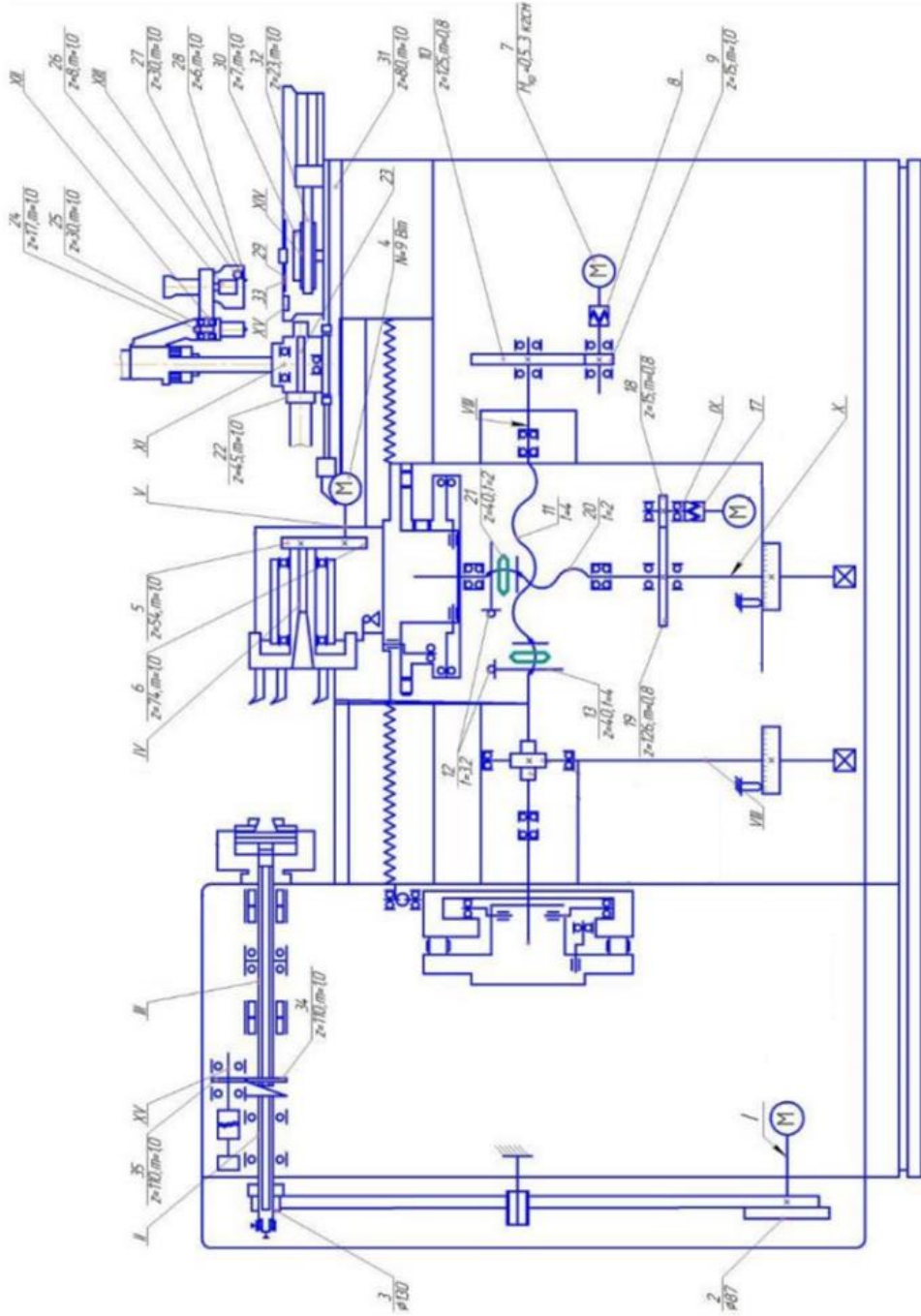
**Об'єкт дослідження:** системи керування електроприводом головного руху токарного верстага з ЧПК.

**Предмет дослідження:** впровадження новітніх технологій в системи керування електроприводом головного руху токарного верстага з ЧПК.

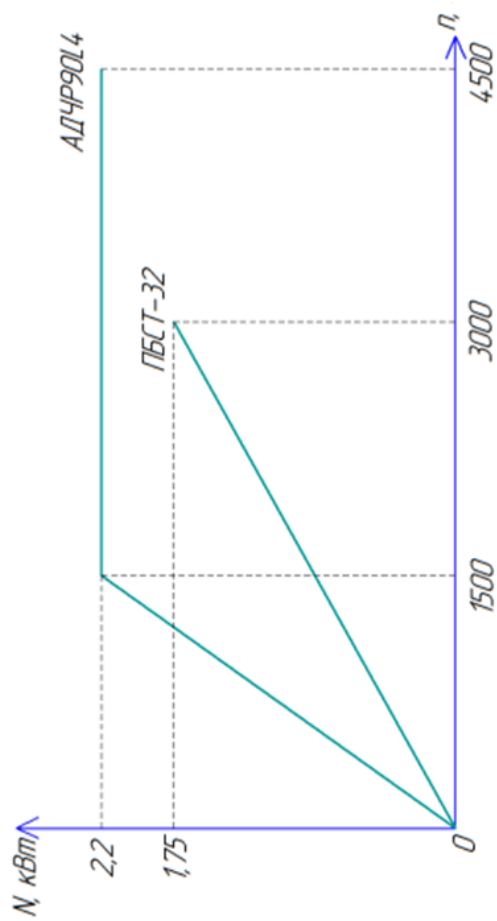
### Задачі кваліфікаційної роботи:

- Ознайомлення з основними технічними характеристиками токарного верстага з ЧПК ТПК125ВН2.
- Огляд методів модернізації системи керування.
- Модернізація верстага ТПК125ВН2 для можливості впровадження системи керування від ПК.
- Визначення із програмними засобами для реалізації проєкту.
- Розробка керуючої програми для програмного забезпечення Mach3/Fanuc 21i
- Випробування модернізованої системи керування.

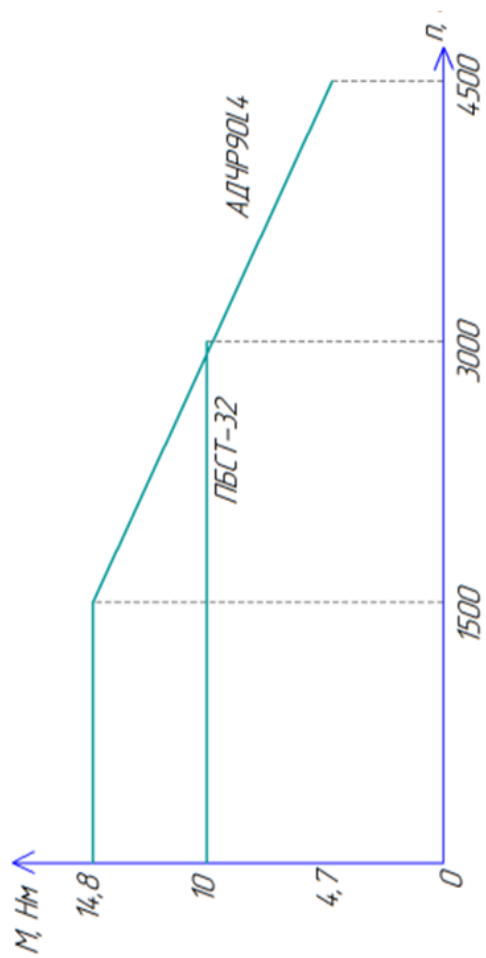
### Кінематична схема верстату ТПК125ВН2



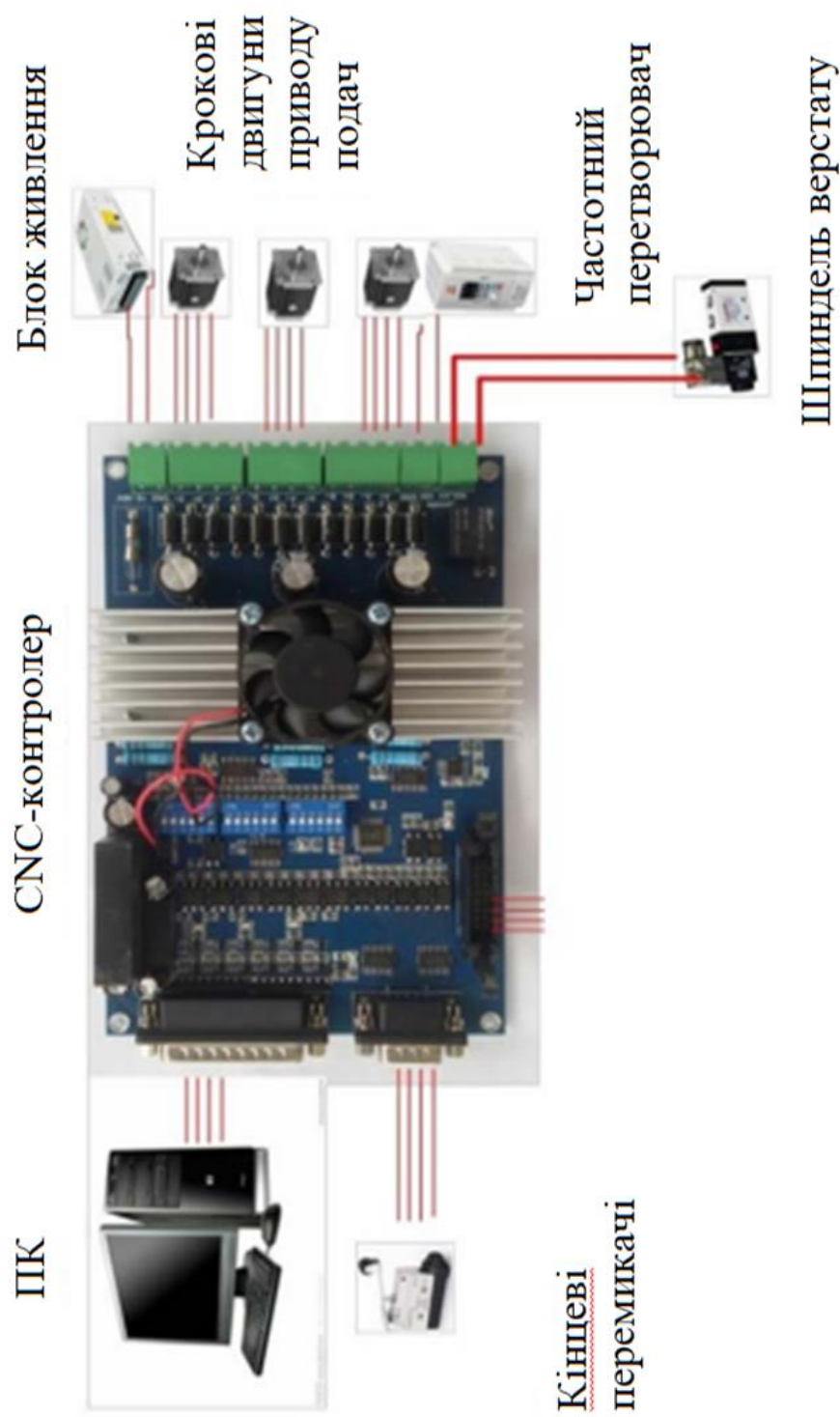
**Графік залежності потужності від частоти обертання  
двигунів**



**Графік залежності обертового моменту від частоти  
обертання двигунів**

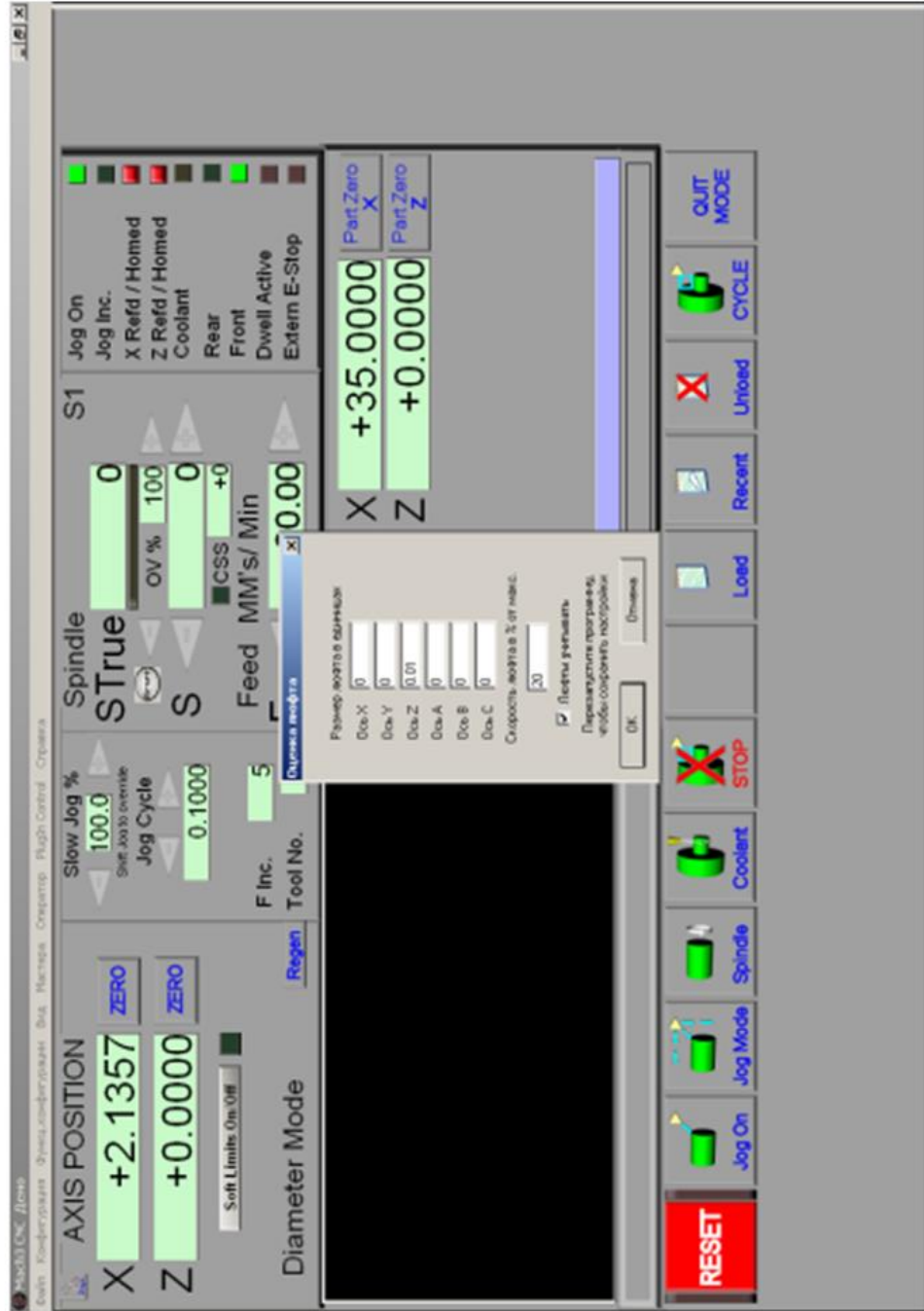


### Система керування верстага на базі CNC-контролера та персонального комп'ютера

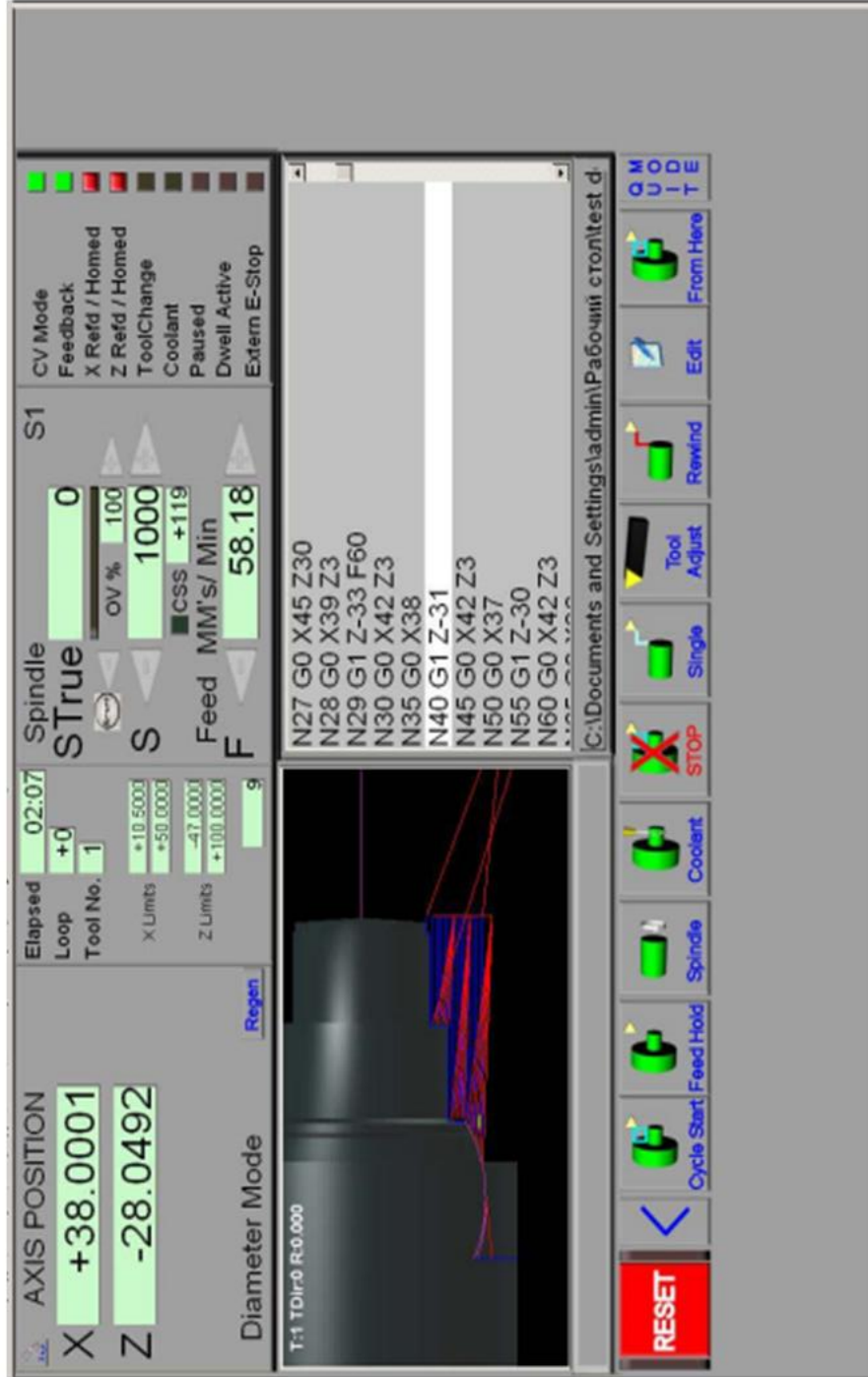


### Меню включення компенсації люфтів у програмі Mach3

6

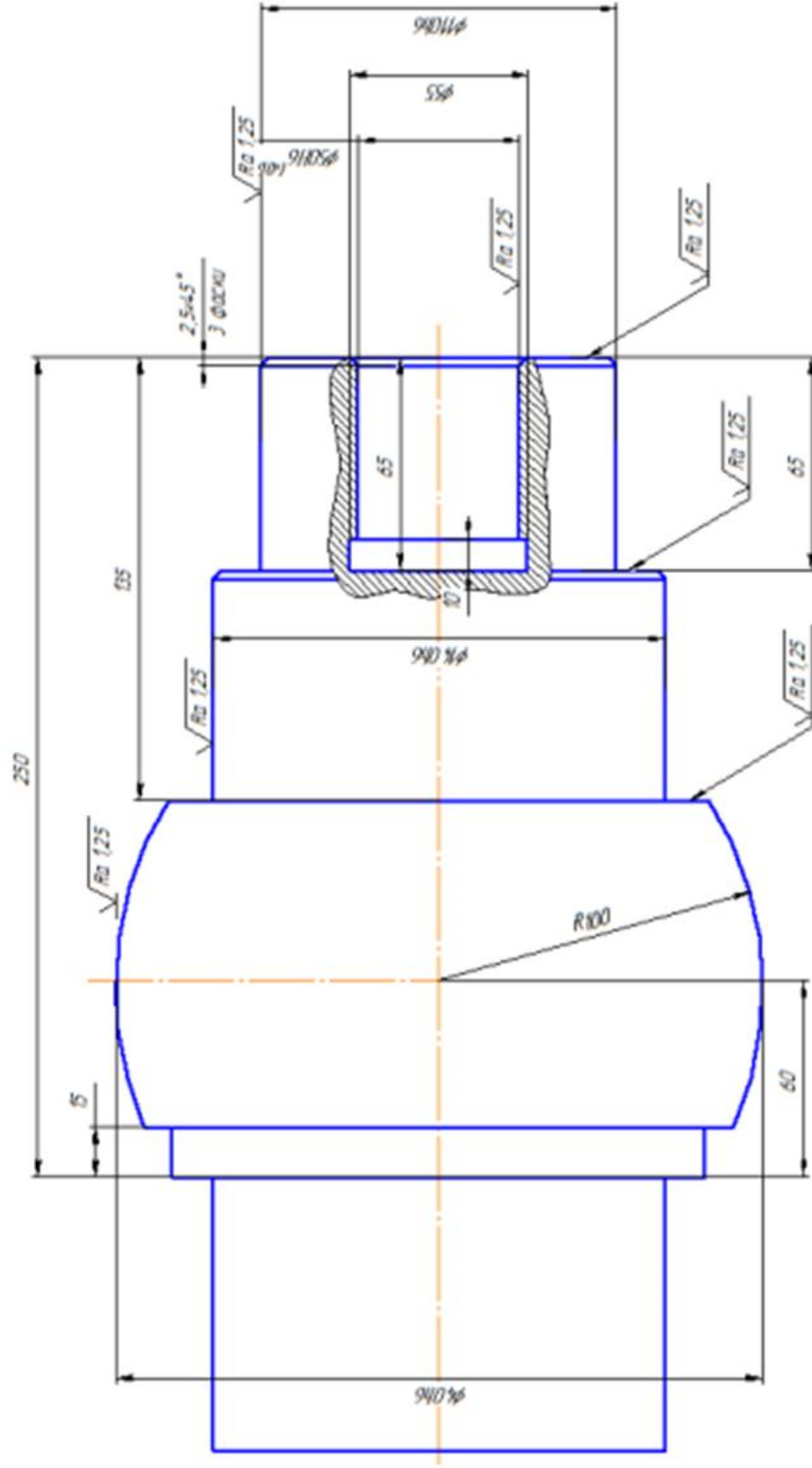


### Відпрацювання керуючої програми у програмному середовищі Mach3



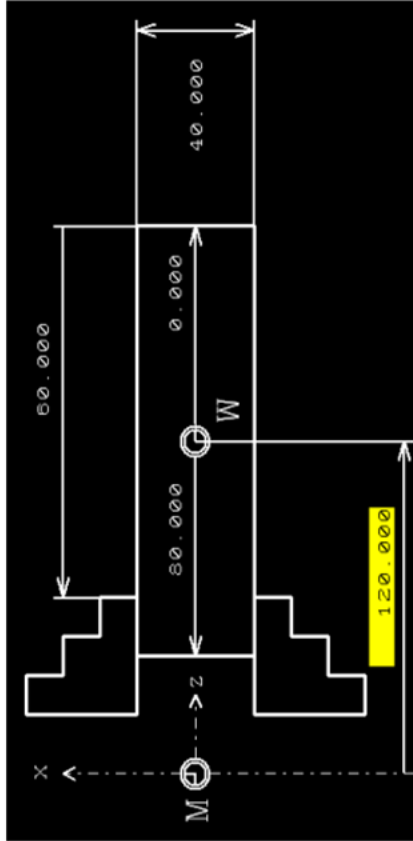


Креслення оброблюваної деталі

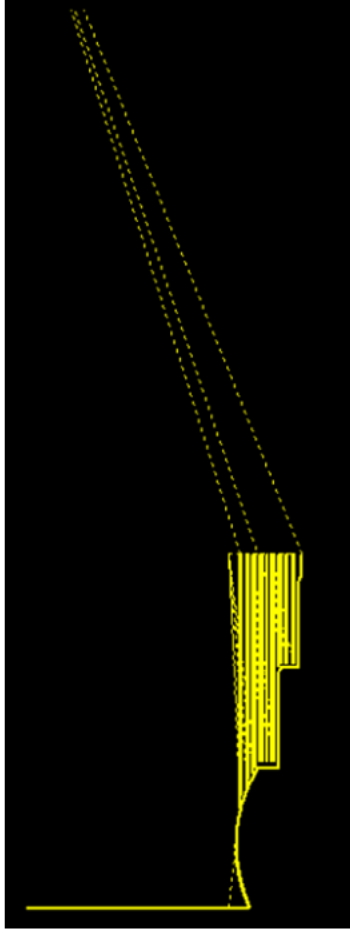


### Налаштування та моделювання керуючої програми Fanuc21i

Прив'язка нуля деталі до нуля верстага



Еквідистантга руху інструменту



**Фото обробленої деталі за допомогою модернізованого верстату ТПК125ВН2**



### **Загальні висновки**

Результатом виконання даної кваліфікаційної роботи магістра є модернізація системи керування електроприводом головного руху токарного верстага з ЧПК шляхом впровадження програмних засобів Mach3/Fanuc 21i на базі персонального комп'ютера.

У ході виконання роботи було виконано усі поставлені задачі, а саме:

- Ознайомлення з основними технічними характеристиками токарного верстага з ЧПК ТПК125ВН2.
- Огляд методів модернізації системи керування.
- Модернізація верстага ТПК125ВН2 для можливості впровадження системи керування від ПК.
- Визначення із програмними засобами для реалізації проєкту.
- Розробка керуючої програми для програмного забезпечення Mach3/Fanuc 21i
- Випробування модернізованої системи керування.

**Дякую за увагу!**