

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

(повне найменування вищого навчального закладу)

Навчально-науковий інститут інформаційних технологій та робототехніки.

(повне найменування інституту, назва факультету (відділення))

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

(повна назва кафедри (предметної, циклової комісії))

## **Пояснювальна записка**

до кваліфікаційної роботи

бакалавр

(ступінь вищої освіти)

на тему «Модернізація системи керування координатно – розточного верстата моделі 2A430 »

Виконав: студент 2 курсу, групи 201-пМЕ  
спеціальності 141 «Електроенергетика,  
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Кирпота Р.Р.

(прізвище та ініціали)

Керівник Бороздин М.К.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Захарченко Р.В.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2021 рік

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

## ЗАТВЕРДЖУЮ

**Завідувач кафедри автоматки,  
електроніки та телекомунікацій**

\_\_\_\_\_ О.В. Шефер  
“ 11 ” травня 2021 р.

### **З А В Д А Н Н Я** **НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ БАКАЛАВРУ СТУДЕНТУ** Кирпоті Роману Романовичу

1. Модернізація системи керування координатно – розточного верстата моделі 2А430. Керівник роботи Бороздин Микола Кирилович , к.т.н., доцент затверджена наказом вищого навчального закладу від “ 03 ” 03 2021 року № 158-фа
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 15.06.2021 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) технологічна документація на верстат 2А430 . Продуктивність координатно – розточного верстата. Потужність електродвигуна 400Вт Напруга 380 В. . Провести модернізацію електропривода, забезпечити перерегулювання у межах 30 %, час регулювання не більше 0,5 сек.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис роботи верстата. Аналіз недоліків електроприводу і постановка задачі на проектування. Розрахунок навантажень та вибір електродвигуна. Розробка структурної та принципової схеми керування електроприводом верстата 2А430 . Розроблення функціональної та принципової схеми ЕП. Розроблення структурної схеми САК ЕП. Визначення передавальної функції. Визначення якісних параметрів системи.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
  - 1) загальний вид верстата ;
  - 2) структурна схема ЕП верстата ;
  - 3) принципова схема ЕП верстата;
  - 4) функціональна схема ЕП ;
  - 5) принципова схема керування ЕП ;
  - 6) структурна схема САК ЕП ;
  - 7) дослідження САК ЕП.
6. Дата видачі завдання 11.05.2021 р.

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів кваліфікаційного бакалавра	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Опис роботи верстата. Аналіз недоліків електроприводу і постановка задач на кваліфікаційну роботу.	18.05.21		25%	Пл. 1
2	Розрахунок навантажень та вибір електродвигуна. Розробка структурної схеми керування електроприводом верстата.	26.05.21	I	50%	Пл. 2
3	Модернізація принципової схеми керування електроприводом верстата.	02.06.21		60%	Пл. 4
4	Розроблення структурної схеми САК. Визначення передавальної функції. Визначення якісних параметрів системи. Перевірка стійкості системи	09.06.21		80 %	Пл. 5
5	Оформлення кваліфікаційної роботи бакалавра	15.06.21	II	100%	Пл. 6

Студент

\_\_\_\_\_

( підпис )

Керівник роботи

\_\_\_\_\_

( підпис )

**Кирпота Р.Р**

(прізвище та ініціали)

**Бороздін М.К.**

(прізвище та ініціали)

## РЕФЕРАТ

**Проект містить:** (55 ст., 12 табл., 11 джерел, 6 креслень)

**Тема ДП:** «Модернізація системи керування координатно-розточного верстата моделі 2А430»

**Мета ДП:** вивчення та вибір електрообладнання координатно-розточного верстата, розробка та удосконалення схеми керування. За його технічними характеристиками виберемо електродвигуни, апарати захисту, проводи для ланцюга управління і кабелі для силового ланцюга.

**Ключові слова:** координатно-розточувальний верстат, електродвигун, теплове реле, мережа заземлення, магнітний пускач, автоматичний вимикач, запобіжник.

## ABSTRACT

**The project contains:** (55 st., 12 tables, 11 sources, 6 drawings)

**Topic of the DP:** " Modernization of the control system of the coordinate boring machine of model 2A430"

**The purpose of the GP:** study and selection of electrical equipment of the coordinate-boring machine, development and improvement of the control scheme. According to its technical characteristics, we will choose electric motors, protection devices, wires for the control circuit and cables for the power circuit.

**Keywords:** coordinate boring machine, electric motor, thermal relay, grounding network, magnetic starter, circuit breaker, fuse.

## ЗМІСТ

ВСТУП .....	5
1. Аналітична частина.....	8
1.1 Аналіз недоліків системи керування електропривода верстата і постановка задачі на проектування.....	8
1.2 Опис роботи основних вузлів і механізмів верстата.....	13
1.3 Вимоги до системи керування верстата.....	18
2. Розрахункова частина.....	19
2.1 Вибір та розрахунок електродвигуна системи керування електропривода верстата.....	19
2.2 Дослідження слідючого приводу переміщення столу роточувального верстата моделі 2A430.....	26
2.3 Дослідження приводу переміщення салазок роточувального верстата моделі 2A430.....	31
3. Технологічна частина.....	41
3.1 Підвищення надійності системи керування верстата .....	41
3.2 Організація пуску верстата .....	46
3.3 Організація технічного обслуговування та ремонту електрообладнання верстата .....	48
ВИСНОВОК .....	53
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ .....	54
ДОДАТКИ.....	55

## ВСТУП

Тема даної кваліфікаційної роботи: „Модернізація системи керування координатно-розточного верстата моделі 2А430” завдання якого було видано 11 травня 2021 року № 158-фа.

Метою даної кваліфікаційної роботи є вивчення та вибір електрообладнання координатно-розточного верстата, розробка та удосконалення схеми керування. За його технічними характеристиками виберемо електродвигуни, апарати захисту, проводи для ланцюга управління і кабелі для силового ланцюга. Опис принципу роботи обраного електрообладнання та заміна старих позначень елементів схеми управління.

Координатно-розточні верстати призначені для обробки отворів з точним розташуванням їх осей без застосування розмітки. Точність розташування отворів досягається на цих верстатах в межах 0,005-0,001 мм. На цих верстатах можна робити свердління, розгортання, зенкування, розточування отворів і фрезерування поверхонь (фрезерування виконується рідко). Координатно-розточні верстати використовуються також для вимірювання і контролю деталей, для точних розмічальних робіт.

Поряд з розточуванням на верстатах можуть виконуватися розмітка і перевірка лінійних розмірів, зокрема міжцентровою відстаней. Застосовуючи поставляються з верстатом поворотні столи та інші приналежності, можна, крім того, обробляти отвори, задані в полярній системі координат, похилі і взаємні отвори, і проточувати торцеві поверхні.

Координатно-розточні верстати частіше застосовуються в інструментальних і експериментальних цехах. Координатно-розточні верстати бувають одно- та двостійкові.

Одностійкові верстати мають хрестовий стіл, призначений для переміщення заготовки в двох взаємно перпендикулярних напрямках.

Двостійкові верстати мають стіл, що знаходиться на напрямних станини. Стіл переміщує встановлену на нього заготовку тільки в напрямку координати x. По обидва боки станини розташовані стійки, на них поміщена поперечина, на напрямних якої знаходиться шпindelная бабка. При русі шпindelної бабки по напрямних

поперечки вісь шпинделя переміщується щодо встановленого на столі виробу в напрямку другої координати у.

Для підйому або опускання шпиндельної бабки поперечину переміщують вгору або вниз по напрямних стійках. У всіх типах координатно-розточних верстатів обробка отворів виконується з вертикальною подачею шпинделя при нерухомо закріпленій шпиндельній бабці і столі.

Для забезпечення отримання більш точної відстані між центрами отворів координатно-розточні верстати повинні бути встановлені в окремих приміщеннях, в яких завжди необхідно підтримувати постійну температуру  $+ 20^{\circ} \text{C}$  з відхиленням не більше ніж  $\pm 1^{\circ}$ .

Вимірювання відстані між осями отворів можна здійснити за допомогою:

1. жорстких і регульованих кінцевих мір, застосовуваних у поєднанні з індикаторними пристроями
2. точних ходових гвинтів з лімба і ноніуса
3. точних масштабів в поєднанні з оптичними приладами
4. індуктивних прохідних гвинтових датчиків

За першим способом вимірюють набором кінцевих мір і штихмас. Вони розташовуються між рухомим упором, встановленим на столі, і штифтом індикатора, встановленого на нерухомій стійці.

За другим способом вимірюють за допомогою точно виготовлених ходових гвинтів, які призначені для переміщення столу і інших частин. Величину переміщення відраховують лімбом з ноніусом. Для усунення помилок ходового гвинта дуже часто застосовують корекційні лінійки, які через систему важеля виробляють додаткове переміщення столу.

Відлік вимірювання по третьому способу проводиться по дуже точному масштабу, що спостерігається через мікроскоп. Масштабом служить дзеркальний сталевий вал з нанесеною на його поверхні гвинтовий тонкої рисою з кроком  $t = 2 \text{ мм}$  або у вигляді плоскої дзеркальної шкали. Перевагою цього способу вимірювання є відсутність зносу дзеркального вала або дзеркальної шкали, які не використовуються для пересування столу.

Четвертий спосіб вимірювання із застосуванням індуктивних гвинтових прохідних датчиків забезпечує можливість дистанційного менш стомлюючого спостереження стрілки і шкали електроіндикатора .

## 1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Аналіз недоліків системи керування електропривода верстата і постановка задачі проектування

### 1.1.1 Призначення верстата:

Координатно-розточний верстат моделі 2А430 призначений для обробки точно розташованих отворів в деталях малих і середніх розмірів.

Верстат дозволяє також проводити чистове фрезерування площин і виміри готових виробів - перевірку координат маркування отворів.

Координатно-розточний верстат 2А430 - одностоечний з «хрестовим» столом розмірами 270 x 470 мм, індуктивної вимірювальної системи з гвинтовими прохідними датчиками, пристроєм для попереднього набору координат і автоматичною зупинкою столу і санчат в заданому положенні. На верстаті є корекційний диск, кінематично пов'язаний з переміщенням столу, і важільна передача.

Точність відстані між осями маркування отворів 0,006 мм, точність діаметра маркування отворів 0,004 мм.

Для обробки концентрично і похило розташованих отворів до верстата додаються простий і універсальний ділильні столи.

Крім того, до верстата додаються різні допоміжні приналежності і спеціальний різальний інструмент, що значно розширюють його експлуатаційні можливості.[3. с. 25-27]

Раціональне використання верстата при дбайливому ставленні до нього є запорукою тривалого збереження точності його основних робочих елементів і якісної обробки виробів.

Точні відстані між осями оброблених отворів і прийнятими базовими поверхнями отримують без застосування будь-яких пристосувань для направлення інструменту.

Для точного відліку переміщень рухомих вузлів верстат має спеціальні пристрої:

- жорсткі і регульовані кінцеві міри разом з індикаторними пристроями
- прецизійні масштаби в поєднанні з оптичними приладами
- індуктивні прохідні гвинтові датчики

Верстат забезпечений хрестовим столом, який може переміщатися в двох взаємно перпендикулярних напрямках (поздовжньому і поперечному). Шпиндель має обертальний рух і рух подачі в осьовому напрямку.

Координатно-розточний верстат 2А430 можна використовувати і як вимірювальну машину для перевірки розмірів деталей, і особливо точних розмічальних робіт. Паспортні дані і технічна характеристика приведені в таблиці 1.1.

Таблиця 1.1 – Паспортні дані і технічна характеристика верстата 2А430

Назва параметру	2А430
<b>Основні параметри верстата</b>	
Клас точності по ГОСТ 8-82Е	А
Найбільший діаметр свердління в сталі 45, мм	16
Найбільший діаметр розсвердлювання, мм	60
Найменша і найбільша відстань від торця шпинделя до столу, мм	100..425
Відстань від осі шпинделя до стійки (виліт шпинделя), мм	310
<b>Робочий стіл</b>	
Робоча поверхня столу, мм	180×560
Найбільше поздовжнє переміщення столу, мм	400
Найбільше поперечне переміщення столу, мм	250
Найбільша маса виробу, кг	110
Число Т-образних пазів на столі	4
Кількість подач столу	3
Величина прискореного переміщення столу, мм / хв	1100
Межі робочих подач при фрезеруванні, мм / хв	28...134
Ціна поділки лімбів поздовжнього і поперечного переміщення	0,01
Ціна поділки ноніуса поздовжнього і поперечного переміщення, мм	0,001
<b>Шпиндель</b>	
Найбільше вертикальне (хід) переміщення гільзи шпинделя ручне, мм	150
Найбільше вертикальне (хід) переміщення гільзи шпинделя механічне, мм	145
Найбільше вертикальне переміщення шпиндельної бабки (установче), мм	175
Кількість швидкостей шпинделя	6
Частота обертання шпинделя, об / хв	145...2900
Кількість подач шпинделя	6
Найбільший конус закріплюється інструменту	Морзе 2
Закріплення шпиндельної коробки на напрямних	Ручне
Межі робочих подач на один оборот шпинделя, мм / об	0,025...0,

	25
<b>Привід</b>	
Кількість електродвигунів на верстаті	3
Електродвигун приводу головного руху, кВт (об/мин)	0,8;1,8;2,0(700,1400,2800)
Привід переміщення столу	0,27(1400)
Електронасос охолоджуючої рідини Тип	ПА-22
<b>Габарит верстата</b>	
Габарити верстата включаючи хід столу і санчат	1340×1500×2025
Маса верстата, кг	2330

### 1.1.2 Обмеження існуючих верстатів, що відносяться до групи свердлильних

В даний час є великий парк морально і фізично застарілих координатно-розточних верстатів моделей 2А430, 2Д450, 2Е450 і їх модифікацій. Вік цих верстатів досягає 30-40 років, тому їх конструкційні рішення не відповідають сучасним вимогам, що пред'являються до верстатів. Крім того, високий знос вузлів і втрата точних параметрів викликають проблеми з їх експлуатацією. Все це вимагає поновлення верстатного устаткування, але більшість підприємств в сучасній економічній обстановці не мають для цього достатніх коштів. Тому в даних умовах економічно доцільно проводити модернізацію наявного обладнання, в результаті чого споживач отримував би сучасний верстат, в конструкції якого був би втілений багаторічний досвід виробництва верстатів, який відповідає всім вимогам до точкового (для даного верстата), оснащений сучасними комплектуючими і системами управління. При цьому замовник, здавши верстат на модернізацію, може не чекати коли пройде весь виробничий цикл модернізації верстата, а отримати модернізований верстат даної моделі (або верстат іншої моделі). При цьому з ціни придбаного верстата буде відніматися оціночна вартість зданого верстата.[8. с. 48].

При цьому слід зазначити наявність певних обмежень у існуючій системі автоматичного керування досліджуваним розточувальним верстатом, а саме:

обмеження у часі перерегулювання, що складає більше 30%; обмеження у процесі регулювання, що складають значно більше 1 секунди; обмеження у недостатньо реалізованих існуючих пристроях керуванням верстата.

### 1.1.3 Пропозиції щодо модернізації системи автоматичного керування розточувальним верстатом моделі 2A430

Тому, враховуючи аналіз вказаних протиріч запропоновано проведення модернізації координатно-розточних верстатів з ручним управлінням:

- установка електронної відліково-вимірювальної системи, що включає в себе фотоелектричні перетворювачі лінійних переміщень і пристрій цифрової індикації замість оптичних відлікових пристроїв;
- використання програмованого контролера для побудови схеми електроавтоматики верстата замість релейної схеми управління;
- кулькові гвинтові пари і регульовані високомоментні електродвигуни постійного струму в приводах переміщень столу і санчат натомість зубчато-рейкових передач, простих регульованих електродвигунів постійного струму і черв'ячних редукторів;
- установка пневмозажимом столу і санчат замість електромеханічних затискачів;
- механізація переміщення шпindelної коробки;
- застосування конструкції приводу переміщення гільзи з регульованим двигуном постійного струму.

Вивчаючи зміст та структуру існуючих розточувальних верстатів, зокрема їх електрообладнання, бачимо значну перевагу стосовно використаних пристроїв автоматики та сучасного електроприводу, що відповідає вимогам четвертої промислової революції.

Найбільшого поширення набули електроприводи, що забезпечують автоматичне керування процесами пуску, гальмування і реверсу двигуна. Їх частка серед всіх використовуваних в Україні електроприводів перевищує 80%. У таких системах застосовують контактні і безконтактні електричні апарати релейної дії. У силових ланцюгах, які живлять обмотки двигунів, використовуються електромагнітні контактори змінного і постійного струму, електромагнітні пускачі, тиристорні перемикачі.

У ланцюгах управління різні реле часу, напруги, струму, частоти, потужності ті ін. Команди на виконання тієї ч іншої операції подаються за допомогою кнопок постів управління, командконтролерів, ключів керування тощо. Крім цього сигнали на

пуск, зупинку, реверсування або зміна швидкості двигуна можуть надходити в систему управління від колійних або кінцевих вимикачів, датчиків тиску, температури та інших датчиків, які контролюють роботу технологічних машин. [4. с. 22]

У даної групи електроприводів автоматизації процесу пуску найбільш просто здійснюється для АД з короткозамкненим ротором: після подачі команди на пуск операції управління зводяться до включення обмоток двигуна на повну напругу мережі, тобто до прямого пуску двигуна. Асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором і синхронні двигуни великої потужності (більше 100кВт) запускаються при зниженій напрузі з подальшим автоматичним перемиканням на повну напругу. При пуску ДПТ і АТ з фазним ротором автоматично вимикаються щаблі пускового реостата з ланцюга протікання струму якоря або ротора відповідно. Автоматизація процесу гальмування працюючого двигуна при будь-якому вигляді електричного гальмування передбачає виконання двох основних операцій керування: 1-після подачі команди на гальмування відбуваються перемикання в силових ланцюгах двигуна, що призводить до зміни напрямки крутного моменту двигуна, тобто що роблять його гальмівним; 2-в кінці гальмування при швидкості близькою до нуля двигун, який гальмує для зупинки відключається від мережі і загальмовується механічним гальмом. В іншому випадку в головних ланцюгах виробляється перемикання, необхідні для реверсу двигуна, тобто для розгону в протилежному напрямку. [4. с. 24]

Системи автоматичного управління пуском, гальмуванням і реверсом конструктивно виконуються у вигляді типових вузлів, що реалізують зазначені вище операції в функції часу, швидкості або струму. Для підвищення надійності електроприводу в цілому запобігання виходу з ладу його окремих елементів типові вузли доповнюються вузлами електричних захистів головних ланцюгів і ланцюгів управління.

## 1.2 Опис основних вузлів і механізмів розточного верстата моделі 2А430

У шпindelній голівці розміщені клиноподібна ремінна передача, що повідомляє шпindelю три верхніх числа оборотів в хвилину і зубчастий редуктор, що передає шпindelю три нижніх числа оборотів в хвилину.

Перемикання з одного діапазону чисел оборотів в хвилину на інший провадиться рукояткою.

При включенні високих чисел оборотів в хвилину кулачкова муфта відключає редуктор і включає гільзу шківів пасової передачі, поєднуючи його безпосередньо з приводним валом. Рух механізму подач шпинделя передається черв'яком.[9. с. 12]

Установче переміщення шпиндельної головки (ручне) здійснюється рейковою парою за допомогою маховика, розташованого на колоні.

Шпиндельна головка забезпечена індикаторним пристроєм для точного вимірювання заданої глибини розточення.

Мастило головки шпинделя і коробки подач шпинделя виробляється поршневым насосом, які отримують рух від ексцентрика. Спостереження за роботою насоса проводиться через контрольне вічко.

Механічна подача шпинделя здійснюється черв'ячним колесом, які отримують обертання від шпинделя.

Механізм коробки подач дозволяє отримати подачі з реверсуванням подач через конічні шестерні і кулачкову муфту. Реверс здійснюється рукояткою. Перемикання подач виробляється рукоятками.

Включення подачі здійснюється переміщенням рукояток на себе. При цьому стрижень з конусом розсовує кулачки і включає фрикціону муфту з черв'ячним колесом. Вимкнення подачі шпинделя виробляється переміщенням рукояток від себе. Автоматичне відключення подачі шпинделя після досягнення певної, заздалегідь встановленої по лімбі величини переміщення виробляється упором. Останній відключає муфту.

Трьохскоросний електродвигун обертання шпинделя кріпиться до фланця труби. У середині труби знаходиться вертикальний вал, що несе на своєму кінці шків, який через ремінну передачу передає обертання валу. Верхня частина труби забезпечена цапфами з натягнутими на них гумовими роликками, на яких вона підвішується до спеціального гака. Нові ролики служать для гасіння вібрації верстата при роботі електродвигуна. Для цієї ж мети середня частина труби кріпиться до станини плиткою з гумовим кільцем, а нижня частина електродвигуна підпирається спеціальним домкратом, забезпеченим гумовими кільцями.[9. с. 13]

Механізм затиску головки є ексцентрик з рукояткою, який впливає через систему важеля на планки.

До основи кріпляться колона, електродвигун приводу столу і санчат, механізм управління приводом столу і санчат, поперечний датчик і ряд допоміжних механізмів.

Для відводу стружки станина забезпечена спеціальним люком.

Напрямні станини захищені від попадання стружки спеціальними пристроями.

Привід столу отримує обертання від окремого електродвигуна. Швидке переміщення столу і санчат здійснюється включенням муфти за допомогою електромагніту. Робочі подачі санчат досягаються включенням муфти з черв'ячним колесом за допомогою пружини. Надалі передача руху столу здійснюється муфтою, яка управляється кулачками рукоятки і важелями.

Одночасно рукоятка через кулачкову втулку управляє мікроперемикачами, за допомогою яких здійснюється включення руху електродвигуна приводу столу і санчат і включення електромагніта швидких ходів.

Рукоятка має 9 положень, з яких середнє є нейтральним; положення під кутом  $15^\circ$  який, служить для включення робочих подач, а положення під кутом  $30^\circ$  - для швидких переміщень.

Для точного ручного переміщення столу на частки міліметрів після установки його автоматичного руху служать рукоятки верньєрів. Для включення верньєрів служать рукоятки, які потрібно натиснути вниз до упору.[9. с. 15]

Від вала приводу столу, обертання передається ходовому гвинту столу.

Поперечне переміщення санчат проводиться гвинтом. Затиск столу здійснюється рукояткою. Кожен із затискачів блокується з електродвигуном приводу столу. Тому механічне переміщення столу або санчат можливо тільки при отжатому положенні рукоятки відповідного механізму.

Система точного відліку координат електроіндуктивна з попереднім набором координати по рахунковому механізму і подальшої автоматичної зупинкою столу при підході до набраної координати.

Суть роботи механізму електроіндуктивного відліку координат полягає в наступному. До столу кріпиться датчик, що складається з прохідних гайок з кроком нарізки 5 мм. Датчик забезпечений котушками, що створюють в гайках магнітний потік. Проходячи повз гвинта-якоря з точно таким же кроком 5 мм, датчик фіксує за допомогою стрілки електричного індикатора нульове положення, тобто таке, при

якому утворюється найменший зазор між торцями витків гайок і витків гвинта-якоря. Причому це положення повторюється на кожному кроці гвинта-якоря.

Так як датчик зафіксований на столі і переміщається разом з ним, то тим самим фіксується точне положення столу через кожні 5 мм. Установка точного положення столу в межах, менших 5 мм (міліметри і їх частки до 0,001), досягається наступним чином: гвинт-якір повертають навколо осі, спостерігаючи величину повороту за відповідним лімбу (проводиться при наборі координат). Коли стіл з датчиком рухається, останній точно фіксує нульове положення. Таким чином, створюється безперервна індуктивна шкала відліку координат.

З огляду датчик при русі зі столом фіксує кожен крок гвинта-якоря, тобто кожні 5 мм, необхідно, щоб електроіндикатор включався тільки перед потрібним витком. Для цього служить пересувний упор, який автоматично встановлюється проти заданого витка гвинта-якоря при наборі координат.

На датчик кріпляться два мікроперемикача, які при русі стола через систему важеля спрацьовують послідовно.

Мікроперемикач спрацьовує за 0,8-1,2 мм до заданої координати, підготовляючи реле для подачі команди "Стоп" електродвигуна приводу столу [9. с. 19].

Пристрій механізму наступне: гвинт-якір встановлений в точних опорах кронштейнів, які нерухомо прикріплені до санчат.

Осьове биття гвинта-якоря сприймається кулькою, який підпирає спіральної пружиною. На праву шийку гвинта насаджено зубчасте колесо. Останнє зачіпається з зубчастим колесом ходового гвинта, пересуваючої гайки з пересувним упором.

Для настройки на необхідну координату служить лімб, який приводиться в обертання маховиком через черв'ячну передачу. Він показує встановлену величину цілих міліметрів. Лімб вказує частки міліметрів (до 0,01 мм), а за допомогою ноніуса встановлюються тисячні частки міліметрів.

Для автоматичного виправлення помилок за все відлікового пристрою (неточність кроку і биття гвинта-якоря, неточність електричної системи механізму) служить коригуючий диск. Останній через систему важеля по заздалегідь виявлених помилок повертає ноніус щодо лімба.

Для тонкої установки лімба служить верерно зубчаста передача, керована ручкою.

Мікроперемикач відключає за 2,5-3 мм до необхідної координати електромагніт швидкого ходу столу або санчат і одночасно включає робочу подачу.

Для набору і установки поперечних координат служить поперечний датчик. Принцип його роботи і конструкція подібні роботі і конструкції поздовжнього датчика.

Після виконання перерахованих робіт верстат може бути підключений до електромережі [9. с. 20].

Вперше приступаючи до роботи на верстаті слід уважно ознайомитися з усіма розділами цього посібника, правилами з техніки безпеки.

Верстат пускається на холостий хід і працює протягом 2-3 годин на різних швидкостях обертання шпинделя. У перший період після пуску верстата не рекомендується працювати з застосуванням максимальних обертів шпинделя.

Після огляду і усунення всіх помічених несправностей в роботі верстата можна приступати до його експлуатації.

### **1.3 Вимоги до системи керування верстата**

Привод головного руху:

- 1) Асинхронний короткозамкнений двигун
- 2) асинхронний двигун з перемиканням полюсів
- 3) двигун постійного струму

Гальмування:

- 1) механічне за допомогою фрикційної муфти
- 2) за допомогою електромагніта
- 3) динамічне із рекуперацією (при постійному струмі).

Допоміжні приводи: привод затиску\відтиску столу; привод затиску\відтиску салазок; електродвигун охолодження.

Спеціальні електромеханічні пристрої і блокування:

- 1) Автоматизація управління головним приводом при перемиканні зубчастих коліс коробки швидкостей [10. с. 31]
- 2) використання приводів постійного струму з широким діапазоном регулювання як для робочих подач, так і для швидких пересувань

- 3) пристой для освітлення мікроскопів
- 4) пристрій для відліку координат з індуктивним датчиком.

## 2. РОЗРАХУНКОВА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок потужності електродвигуна головного руху розточного верстата моделі 2А430

Для вираховування потужності електродвигунів головного привода верстата моделі 2А430 використовуємо наступні вихідні дані.

**Дано: координатно-розточний верстат моделі 2А430**

Здійснити свердління сквозного отвору діаметром  $D=28H12(^{+0,21})$  на глибину  $l=120$  мм.

**Оброблювальний матеріал** – сталь 40Х із межою міцності  $\sigma_s = 700$  МПа ( $=70$  кгс/мм<sup>2</sup>); заготовка – прокат гарячекатаний.

**Вид обробки** – обробка чорнова.

**Вид охолодження** – охолодження емульсією.

**Ріжучий інструмент, який використовується** – свердло діаметром  $D=28$  мм із робочою частиною з швидкоріжучої сталі Р18 для обробки конструкційної сталі із  $\sigma_s = 85-90$  кгс/мм<sup>2</sup> [1, с.148 табл. 5].

**Геометричні елементи ріжучого інструменту:** форма заточки – двойна із підточкою поперечної кромки і стрічки ДПЛ; кути свердла  $2\varphi = 118^\circ; 2\varphi_0 = 70^\circ; \psi = 40...60^\circ$ ; при стандартному заточуванні  $\psi = 55^\circ; \alpha = 11^\circ$ . у стандартних свердл діаметром  $D > 10$  мм для обробки конструкційної сталі  $\omega = 30^\circ$ , [1, с.201, табл. 43].

Для визначення потужності електродвигуна головного руху координатно-розточного верстата моделі 2А430 необхідно визначити режим різання заготовки який подано у завданні. Для свердла сталі із  $\sigma_b \leq 80$  кгс/мм<sup>2</sup> і діаметрі свердла 25-30мм подача обирається із [табл.27, с. 433] і становить  $S_0 = 0,45 \dots 0,55 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ .

Наведені в кінці ст. 1 до табл. 27 поправочні коефіцієнти на подачу для заданих умов обробки дорівнюють одиниці, як так здійснюється свердління отворів з полем допуску по Н12 (колишнього 5-го класу точності) в жорсткій заготовці при глибинні

свердління  $l \ll 5D$  ( $120 < 5 \cdot 28$ , т. е.  $120 < 140$ ). Приймаємо середнє значення діапазону  $S_0 = 0,5 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ .

Відповідно до технічних характеристик верстата корегуємо, подачу  $S_0 = 0,4 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ .

Перевіряємо прийнятту подачу по осьовій складовій сили різання, що допускається міцністю механізму подачі верстата. Для цього визначаємо осьову складову сили різання,  $P_0$ , Н, за формулою (1) з [1, с.435]:

$$P_0 = C_p D^{q_p} S_0^{y_p} K_p;$$

$$P_0 = 68 \cdot 28^1 \cdot 0,5^{0,7} \cdot 0,95 = 1\,113 \text{ Н}$$

де  $C_p$  – коефіцієнт, що характеризує матеріал деталі та твердість круга;

$D$  – діаметр фрези, мм;

$S$  – подача на один зуб, мм/зуб;

$K$  – загальний поправочний коефіцієнт на змінені умови обробки

Випишуємо з табл. 31, с 436 коефіцієнт і показники ступенів формули для випадку свердління конструкційної сталі з  $\sigma_B = 75 \text{ кгс/мм}^2$  інструментом з швидко-ріжучої сталі:  $C_p = 68$ ;  $q_p = 1$ ;  $y_p = 0,7$ . У примітці до табл. 31 зазначено, що ці дані наведені для свердел з підточеною перемичкою, т. е. для прийнятої вище заточування свердла.

Враховуємо поправочний коефіцієнт на осьову складову сили різання  $K_p = K_{M_p}$  [по табл. 21 і 22, с. 430]:

$$K_{M_p} = \left( \frac{\sigma_B}{75} \right)^{n_p}$$

$$n_p = 0,75; K_{M_p} = \left( \frac{70}{75} \right)^{0,75} = 0,93^{0,75} = 0,95$$

В одиницях СІ  $P_0 = 9,81 \cdot 68 \cdot 28 \cdot 0,4^{0,7} \cdot 0,95 = 9,81 \cdot 68 \cdot 28 \cdot 0,53 \cdot 0,95 = 9404 \text{ Н}$  (958,7кгс). Необхідно виконати умову

$$P_0 \leq P_{\max},$$

де  $P_{\max}$  – максимальне значення осьової складової сили різання, що допускається механізмом подачі верстата. За паспортними даними верстата 2А430  $P_{\max} = 15000$  Н. Так як  $9404 < 15000$ , то призначена подача  $S_0 = 0,4 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$  цілком допустима.

У випадках перевантаження механізму подачі верстата (т. е. при  $P_0 > P_{\max}$ ) потрібно зменшити подачу  $S_0$  настільки, щоб виконати умову  $P_0 = P_{\max}$ . Таким чином необхідно визначити подачу, що допускається силою  $P_{\max}$  при конкретних умовах обробки:

$$P_0 = P_{\max} 9,81 C_p D^{q_p} S_0^{y_p} K_p = P_{\max}$$

$$S_0^{y_p} = \frac{P_{\max}}{9,81 C_p D^{q_p} K_p};$$

$$S_0^{y_p} = \frac{15000}{9,81 \cdot 68 \cdot 28^{1,095}} = 0,84 \text{ мм/зуб}$$

$$S_0 = \sqrt[y_p]{\frac{P_{\max}}{9,81 C_p D^{q_p} K_p}}$$

Призначаємо період стійкості свердла [по табл. 20, с. 435]. Для свердла діаметром  $D=28$ мм при обробці конструкційної сталі свердлом із швидкорізальної сталі рекомендується період стійкості  $T= 50$  мин. Допустимий знос свердла [табл. 9, с. 153]  $h_3 = 0,8 \dots 1,0$  мм (для обробки сталі свердлами зі швидкорізальної сталі,  $D \gg 20$ мм).

Швидкість (м/хв) головного руху різання, що допускається ріжучими властивостями свердла [с. 435]:

$$V_{\text{и}} = \frac{C_v D^{q_v}}{T m_t^{x_v} S_0^{y_v}}$$

$$v_{и} = \frac{9,8 \cdot 28^{0,4}}{50^{0,2} \cdot 0,4^{0,5}} 0,905 = \frac{9,28 \cdot 3,08}{2,19 \cdot 0,63} 0,905 = 24,43 \frac{\text{м}}{\text{хв}} \left( 0,407 \frac{\text{м}}{\text{с}} \right)$$

Випишемо з табл. 28[с. 434] коефіцієнт і показники ступенів формул для обробки конструкційної вуглецевої сталі з  $\sigma_B = 75 \text{ кгс/мм}^2$  свердлом з швидкоріжучої сталі Р18 при  $S_0 > 0,2 \frac{\text{мм}}{\text{об}}$ :  $C_v = 9,8$ ;  $q_v = 0,4$ ;  $x_v = 0$ ;  $y_v = 0,5$ ;  $m = 0,2$ . У примітці до таблиці, зазначено, що ці дані наведені для свердел з подвійним заточуванням і підточкою перемички, для прийнятої вище форми заточування свердла. Враховуємо поправочні коефіцієнти на швидкість головного руху різання:  $K_{Mv}$  [по табл. 9 і 10, с. 424]:

$$K_{Mv} = C_M \left( \frac{75}{\sigma_B} \right)^{nv} ;$$

$$K_{Mv} = 1 \left( \frac{75}{75} \right)^{0,9} = 1$$

$$C_M = 1; nv = 0,9; K_{Mv} = 1 \left( \frac{75}{70} \right)^{0,9} = 1,07^{0,9} = 1,065; K_{iv} \text{ [по табл.15 с. 426]:}$$

$K_{iv} = 1$ , так як значення коефіцієнту і показників ступенів формули виписані з табл. 28 для свердла зі швидкорізальної сталі Р18, яка, практично рівноцінна швидкорізальної сталі Р6М5 поправочний коефіцієнт, що враховує глибину свердління  $K_{lv}$ , приймається залежно від ставлення  $\frac{1}{D}$ ; так як  $\frac{1}{D} = \frac{120}{28} = 4,28$ , то  $K_{lv} = 0,85$ .

Загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання являє собою твір окремих коефіцієнтів:

$$K_v = K_{Mv} K_{iv}$$

$$K_v = 1,065 \cdot 1,0 \cdot 0,85 = 0,905;$$

Частота обертання шпинделя, відповідна знайденої швидкості головного руху різання:

$$n = \frac{1000 v_{\text{ви}}}{\pi D} \text{ мин}^{-1};$$

$$n = \frac{1000 \cdot 24,43}{3,14 \cdot 28} = 278 \text{ мин}^{-1}$$

Коригуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата і встановлюємо дійсну частоту обертання :  $n_d = 250 \text{ мин}^{-1}$

Дійсна швидкість (м/хв) головного руху різання:

$$v_d = \frac{\pi D n_d}{1000};$$

Крутний момент від сил, опір різання при свердлінні [с. 435]

$$M = C_M D^{q_M} S_0^{u_M} K_P;$$

$$M = 0,0345 \cdot 28^2 \cdot 0,4^{0,8} \cdot 0,95 = 12,33 \text{ кгс} \cdot \text{м}$$

Випикуємо з табл. 31 [с. 436] коефіцієнт і показники ступенів, формули для свердління конструкційної сталі з  $\sigma_B = 75 \frac{\text{кгс}}{\text{мм}^2}$ ,  $C_M = 0,0345$ ,  $q_M = 2$ ,  $u_M = 0,8$ .

Враховуємо поправочний коефіцієнт  $K_P$  [по табл. 21 і 22, с. 430] цей коефіцієнт вже визначено вище в п. 1 рішення при підрахунку осьової складової сили різання:  $K_P = K_{M_P} = 0,95$ .

В одиницях СІ  $M = 9,81 \cdot 0,0345 \cdot 28^2 \cdot 0,4^{0,8} \cdot 0,95 = 9,81 \cdot 0,0345 \cdot 784 \cdot 0,48 \cdot 0,95 = 120,99 \text{ Н} \cdot \text{м}$  (12,33 кгс · м).

Потужність що витрачається на різання [с. 437]:

$$N_{\text{рез}} = \frac{M_n}{975} \text{ кВт};$$

$$N_{\text{рез}} = \frac{12,33 \cdot 250}{975} = 3,16 \text{ кВт}.$$

Перевіряємо, чи достатня потужність верстата. Обробка можлива, якщо

$$N_{\text{рез}} \leq N_{\text{шп}}$$

Потужність на шпинделі верстата  $N_{\text{шп}} N_{\text{Дн}}$ .

У верстата 2А430  $N_{\text{Д}} = 4,5$  кВт, а  $n = 0,8$ ;  $N_{\text{шп}} = 4,5 \cdot 0,8 = 3,6$  кВт.

$3,16 < 3,6$  обробка можлива. У разі перевантаження верстата по потужності необхідно визначити коефіцієнт перевантаження -  $K_{\text{п}}$ :

$$K_{\text{п}} = \frac{N_{\text{рез}}}{N_{\text{шп}}};$$

$$K_{\text{п}} = \frac{3,16}{4,5} = 0,70$$

Далі визначаємо нове менше значення частоти обертання шпинделя верстата  $n$  ( $\text{мин}^{-1}$ ), при якому буде виконуватися умови  $N_{\text{рез}} = N_{\text{шп}}$ .

При цьому виходять з того, що потужність, що витрачається на різання, прямопропорційна швидкості головного руху різання і частоті обертання шпинделя  $n$ :

$$n = \frac{n_{\text{д}}}{K_{\text{п}}}$$

$$n = \frac{4,5}{0,70} = 6,42$$

де  $n_{\text{д}}$  – дійсне значення частоти обертання шпинделя, прийняте в п. 4 рішення. Потрібно враховувати також, що електродвигуни металорізальних верстатів допускають короткочасне (тривалість до 1хв) перевантаження на 25 їх номінальної потужності.

Основний час:

$$T_0 = \frac{L}{nS_0};$$

При подвійній заточці свердла врізання (мм)  $y = 0,4D; y = 0,4 \cdot 28 \approx 11$  мм.  
Перебіг свердла  $\Delta = 1 \dots 3$  мм; приймаємо  $\Delta = 2$  мм. Тоді  $L = 120 + 11 + 2 = 133$  мм;

$$T_0 = \frac{133}{250 \cdot 0,4} = 1,33 \text{ хв.}$$

Таблиця 2.1 – Технічні дані електродвигуна

Електродвигун 4A100L4			
<b>P<sub>ном</sub>, кВт</b>	4	<b>I<sub>пуск</sub>/ I<sub>ном</sub>, А</b>	5,5
<b>n<sub>ном</sub>, об/хв</b>	1430	<b>M<sub>пуск</sub>/ M<sub>ном</sub>, Нм</b>	2
<b>I<sub>ном</sub>, А</b>	8,6	<b>M<sub>мін</sub>/ M<sub>ном</sub>, Нм</b>	1,2
<b>η, %</b>	84,0	<b>M<sub>маx</sub>/ M<sub>ном</sub>, Нм</b>	2,2
<b>cosφ</b>	0,84	-	-

## 2.2 Дослідження слідкуючого приводу переміщення столу роточного верстата моделі 2A430

Досліджувана електрична принципова схема роточного верстата моделі 2A430 обладнана приводом подачі, де задіяний електродвигун змінного струму  $P_n=0,18$  кВт,  $n=1000$  об/хв. Але аналізуючи існуючі протиріччя, щодо особливостей запропонованої системи автоматичного керування, вирішено модернізувати привод подачі верстата шляхом використання ідей, відомих у теорії автоматичного керування як слідкуючий привод.

Дано: Двигун ЕП-245; 0,245 кВт; 110В; 3,27А; 3600 об/хв. ЕМУ5А; 0,5 кВт; 115В; 4,35А; 2850 об/хв; комплект обмоток ОД2104. Тахогенератор СЛ-221; 110В; 3600 об/хв. Вирахувати слідкуючий електропривод подачі координатно-роточного верстата.

Для вираховування слідкуючого приводу необхідно скласти рівняння статички з [1, с.179 ]:

$$\left\{ U_3 - U_c - U_{T.O} \frac{k_w}{k_R} 1[I - I_{отс}] \right\} K_{э.у} K_{э.1} = E_э;$$

$$U_c = \gamma n;$$

$$U_{T.O} = I_B R_{к.о};$$

$$E_э = \frac{n}{K_d} + IR;$$

Рішення рівнянь щодо швидкості призводить до рівняння статичної характеристики:

$$n = \frac{U_3 K - IR K_d - I_B R_{к.о} K \frac{k_w}{k_R} 1[I - I_{отс}]}{1 + \gamma K};$$

де  $U_3$  – задавач напруги;

$I, I_B$  – струм якоря двигуна і струм випрямляча вузла струмового відсічення.

$R, R_{к.о}$  – опір якорного ланцюга і опір компенсаційної обмотки з урахуванням шунтуючого її опору.

$$R = 1,2 (R_{я.д} + R_{д.п.д} + R_{я.э} + R_{д.п.э} + R_{к.о}) = 6,8 \text{ Ом};$$

Опір шунтуючої компенсаційної обмотки, вибирається з умови повної компенсації реакції якоря при  $I < I_{отс}$  і приймається рівним  $R_{ш} = 13 \text{ Ом}$ .

$$K = K_{э.у} K_{э.1} K_d - \text{коефіцієнт посилення САУ};$$

$K_{э.у}, K_{э.1}$  – коефіцієнт посилення електронного підсилювача і першої обмотки управління посилення;

$K_d$  – коефіцієнт передачі двигуна;

$$K_d = \frac{n_H}{U_H - I_H R_d} = 33,4 \frac{\text{об/хв}}{\text{В}};$$

$$k_w = \frac{w_{к.о}}{w_{о.у.1}} = \frac{105}{2650} = 0,04;$$

$$k_R = \frac{R_{к.о}}{R_{о.у.1}} = \frac{1,2}{3000} = 0,0004;$$

$k_w, k_R$  – коефіцієнти привода;

$\gamma = 0,03 \frac{В}{об/хв}$  – коефіцієнт зворотнього зв'язку по швидкості.

Розрахунок характеристик виконується за допомогою послідовних наближень з урахуванням нелінійності характеристик електронного та електромагнітного підсилювачів.

Характеристика найменшої швидкості двигуна ( $n_{\min} = 3 \frac{об}{хв}$  при  $I_{x,x} = 0,46 \alpha$ ).

Визначається і задає напругу. Е.д.с. ЕМУ по [7.4]

$$E_e = \frac{3}{33,4} + 0,46 \times 6,8 = 3,26 \text{ в.}$$

Напруга на вході ЕМУ при  $E_E = 3,26$ ,  $U_{вх.е} = 0,8 \text{ в}$

Коефіцієнт посилення ЕУ:

$$K_{e1} = \frac{E_e}{U_{вх.е}} = \frac{3,26}{0,8} = 4,4;$$

Напруга на вході електронного підсилювача ЕУ,  $U_{вх.е.у} = 0,001 \text{ в}$

$$\text{Коефіцієнт посилення ЕУ } K_{e,y} = \frac{U_{вих.е.у}}{U_{вх.е.у}} = \frac{0,8}{0,001} = 800;$$

Задає напругу системи  $U_3 = U_{вх.е.у} + \gamma n = 0,001 + 0,03 \times 3 = 0,091 \text{ в}$

Швидкісна характеристика розраховується по [7.5]

Задається  $I = 4 \alpha < I_{ост}$

$$n = \frac{0,091 \cdot 800 \cdot 4,4 \cdot 33,4 - 4 \cdot 6,8 \cdot 33,4}{1 + 0,03 \cdot 800 \cdot 4,4 \cdot 33,4} = 2,77 \frac{об}{хв}$$

Уточняється  $K_{e1}$

$$\gamma n = 0,03 \cdot 2,77 = 0,081, U_{вх.е} = U_3 - \gamma n = 0,091 - 0,081 = 0,01 \text{ в,}$$

$$K_{e,y} = 800, K_{e1} = 4,2;$$

$$n = \frac{0,091 \cdot 800 \cdot 4,2 \cdot 33,4 - 4 \cdot 6,8 \cdot 33,4}{1 + 0,03 \cdot 800 \cdot 4,2 \cdot 33,4} = 2,75 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$$

Уточнення  $\gamma n = 0,082$  в,  $U_{\text{вх.е.у}} = 0,091 - 0,082 = 0,009$  в,  $K_{\text{е.у}} = 800$ ,  $K_{\text{е1}} = 4,2$  – подальшого перерахунку не потрібно.

При  $I > I_{\text{отс}}$  задаються струмом випрямляча, шунтуючого компенсаційну обмотку ЕМУ,  $I_{\text{в}} = 0,1$  а і по вольтамперної характеристики випрямляча [див. рис. 7.5] знаходять напругу на вентилі  $U_{\text{в}} = 8$  в. Визначають струм компенсаційної обмотки  $I_{\text{к.о}}$  і струм якоря двигуна  $I$ :

$$I_{\text{к.о}} = \frac{U}{R_{\text{к.о}}} = \frac{8}{1,2} = 6,66 \text{ А}$$

$$I = I_{\text{к.о}} + I_{\text{в}} = 6,66 + 0,01 = 6,76 \text{ А}$$

За цим значенням струму  $i$  розраховується швидкісна характеристика. Аналогічно розраховується характеристика при максимальній робочій швидкості  $n_{\text{д.макс}} = 700 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ .

Прискорене переміщення столу здійснюється при  $n_{\text{д.уск}} = 4500 \frac{\text{об}}{\text{хв}}$ , отриманої за рахунок ослаблення магнітного потоку тахогенератора. Визначається нове значення коефіцієнта зворотного зв'язку  $\gamma_0$  і додатковий опір в обмотці збудження тахогенератора  $R_{\text{доб}}$ . Напруга залишається тим же що, і при швидкості  $700 \text{об/хв}$ ,  $U = 21,015$  в. При цьому  $E_{\text{е}} = 138$  в,  $U_{\text{вх.е}} = 39$  в,  $K_{\text{е}} = 3,6$ ;  $U_{\text{вх.е.у}} = 0,06$  в,  $K_{\text{е.у}} = 650$ ,  $\gamma_0 n = U_{\text{з}} - U_{\text{вх.е.у}} = 21,015 - 0,06 = 20,955$  в,

$$\gamma_0 = \frac{20,955}{4500} = 0,00465 \frac{\text{В}}{\text{об.хв}}$$

Додатковий опір визначається з рівності:

$$\frac{\gamma_0}{\gamma} = \frac{R_{\text{в.т.г}}}{R_{\text{в.т.г}} + R_{\text{доб}}};$$

$$R_{\text{доб}} = \left( \frac{Y_0}{Y} - 1 \right) R_{\text{в.т.г}} = \left( \frac{0,03}{0,00465} - 1 \right) 3,6 = 19,6 \text{ Ом}$$

Таблиця 2.3 Зведена відомість розрахунку швидкісних характеристик приводу подачі розточного верстата моделі 2А430

Характер подачі столу	U <sub>з,в</sub>	t	I <sub>в</sub> , А	I, А	К <sub>е.у</sub>	К <sub>е1</sub>	n, об/хв
Мінімальна робоча подача	0,091	0,03	0,01	4,35	800	4,2	2,7
			0,05	5,88	750	4,2	2,34
			0,1	6,76	720	4,21	1,96
			0,2	7,3	660	4,3	1,24
			0,3	7,4	530	4,4	0
Максимальна робоча подача	21,015	0,03	0,01	4,35	780	3	699,8
			0,1	6,76	530	3,4	699,5
			0,2	7,3	200	3,54	695
			0,4	7,5	72,3	4,42	670
			0,44	7,54	3,1	4,31	0
Прискорене переміщення	21,015	0,00465	0,05	5,88	26,9	2,58	4000
			0,1	6,76	14,4	2,77	3500
			0,2	7,3	9,2	3,43	3000
			0,4	7,5	3,76	4,42	804
			0,44	7,54	3,1	4,3	0

### 2.3 Дослідження приводу переміщення салазок розточувального верстата моделі 2А430

Відповідно до умов завдання бакалаврської роботи, де вказано використання у дослідженні методів кібернетики або розділу теорії автоматичного керування, дослідженню піддається двигун переміщення салазок. На існуючій електричній схемі керування вказаний електродвигун є асинхронним з короткозамкненим ротором.

Використовуючи ідеї теорії автоматичного керування проведемо дослідження двигуна переміщення салазок, котрий замінимо на двигун постійного струму, де розглянемо принцип його дослідження.

#### 2.3.1 Розробка структурної та функціональної схеми електродвигуна приводу переміщення салазок розточувального верстата моделі 2А430

З теорії автоматичного керування відомі класичні методи дослідження передавальних ланок, спрощення елементів структурних схем і тд. Враховуючи вказану теоретико-методологічну посилку опускаємо відомі кроки спрощення структурної схеми і подаємо її у завершальному вигляді, рис. 1.

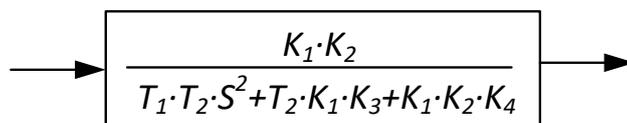


Рис. 1 Структурна схема електродвигуна приводу переміщення салазок розточувального верстата моделі 2А430, що підготовлена до дослідження у середовищі імітаційного моделювання

Використовуючи структурну схему та відповідні початкові відомості будуємо її у середовищі імітаційного моделювання scilab, зокрема у модулі xcoss, див. рис. 2.

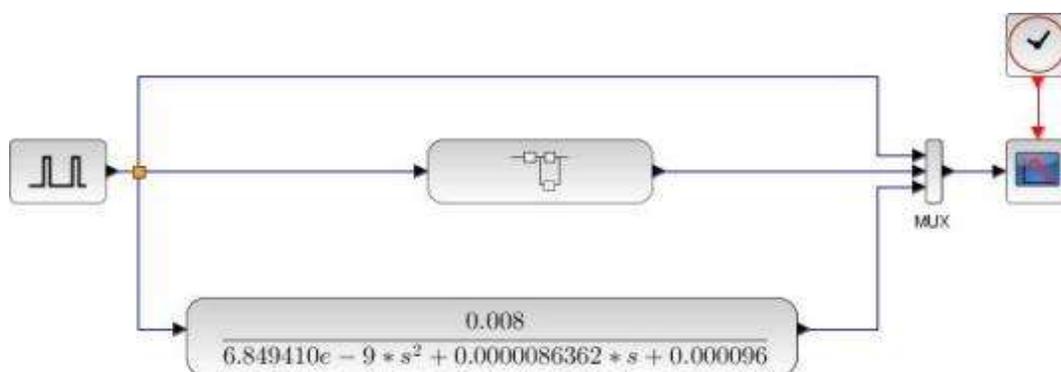


Рис. 2 Імітаційна модель електродвигуна приводу переміщення салазок розточувального верстата моделі 2А430

Зазначимо, що вказана модель дослідження двигуна постійного струму є типовою, проте ми продовжили її використання через призму об'єкта вказаного дослідження. Використовуючи осцилограф проведемо графічну інтерпретацію отриманих результатів дослідження Рис. 3.

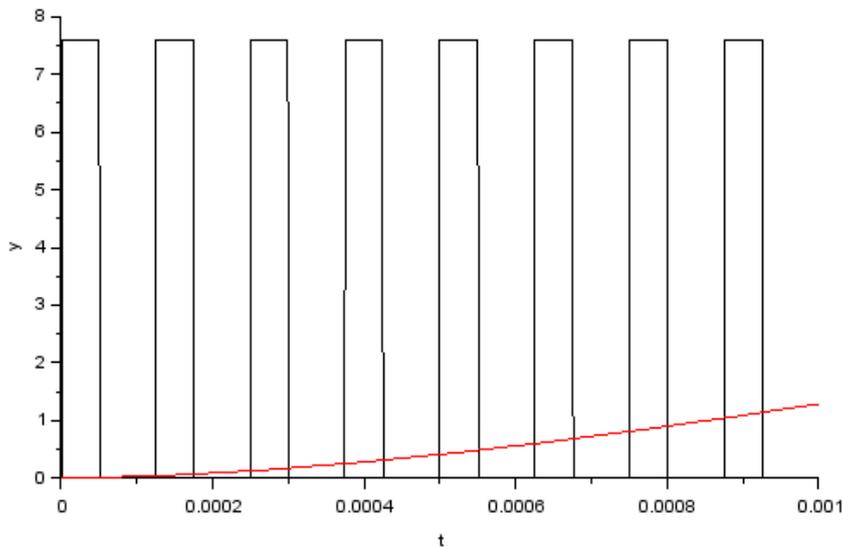


Рис. 3 Результати моделювання впливу керуючої дії на швидкість обертання електродвигуна приводу переміщення салазок розточувального верстата моделі 2А430

### 2.3.2 Розробка слідкуючої системи приводу переміщення салазок розточного верстата моделі 2А430 та визначення якісних параметрів системи

Так як стоїть питання побудови слідкуючої системи – побудуємо її. Для цього використаємо загальні ідеї теорії автоматичного керування та загальні принципи побудови вказаних систем у відповідних програмних засобах, рис. 4. Для побудови моделі слідкуючої системи приводу переміщення салазок розточувального верстата моделі 2А430 використовуємо наступну передавальну функцію:

$$W_{lin}(s) = \frac{kl \cdot (T_2 s + 1)}{s \cdot (T_1 s + 1) \cdot (T_3 s + 1) \cdot (T_4 s + 1)}$$

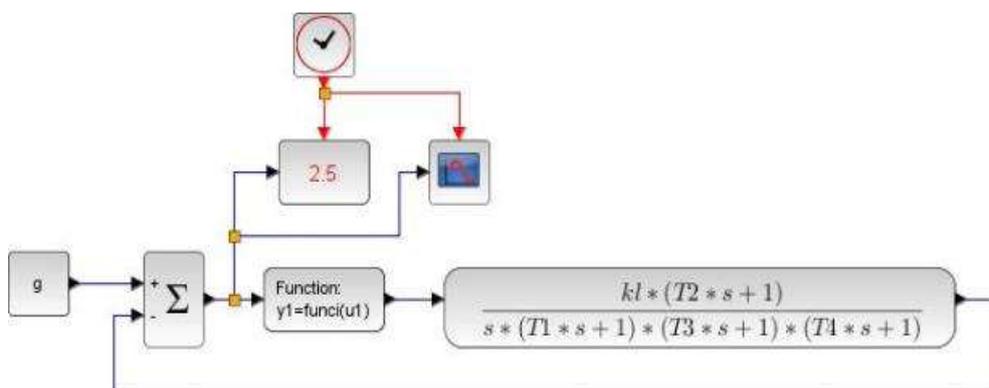


Рис. 4 Імітаційна модель слідкуючого приводу електродвигуна приводу переміщення салазок розточного верстата моделі 2A430

За результатами імітаційного моделювання отримано наступний графік перехідного процесу, рис. 5.

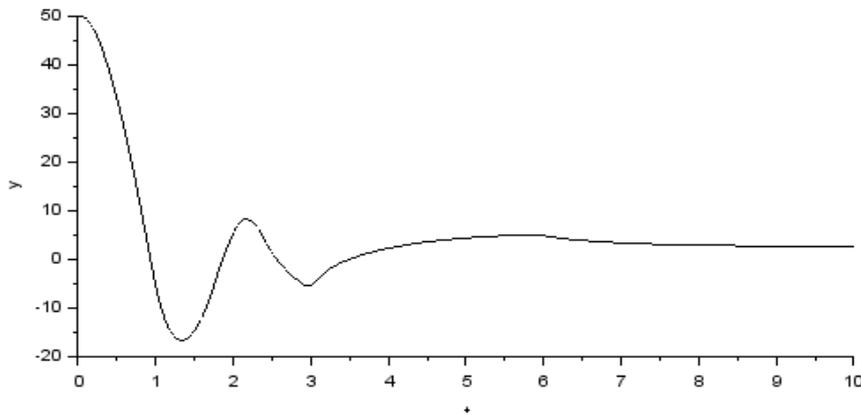


Рис. 5 Графік перехідного процесу слідкуючої системи приводу переміщення салазок розточувального верстата моделі 2A430

Вказаний графік підтвердженням необхідного часу регулювання приводу.

### 2.3.3 Вибір проводів і кабелів живлення

Згідно ПУЕ — електропроводка повинна відповідати умовам навколишнього середовища, цінності споруди та її архітектурним особливостям.

Якщо вибрати кабель чи провід замалого перерізу, то це призведе до його перегрівання і руйнування ізоляції. Наслідком цього є виникнення короткого замикання.

Якщо ж вибрати кабель чи провід більшого перерізу ніж потрібно, тоді це буде економічно не вигідно, тому що кабель чи провід більшого перерізу відповідно і коштує дорожче [7. с. 61].

Для вираховування і вибору проводів, кабелів живлення використовуємо зведені таблиці технічних характеристик електродвигунів головного приводу, приводу подачі, допоміжних електропроводів.

Вибір проводів і кабелів живлення електродвигуна головного руху:

Силу струму електроприймача  $I$ , А, для одного двигуна визначаємо за формулою із [с.96]:

$$I = \frac{P_n K_3}{1,73 \cdot U \cos \varphi \eta},$$

де  $P$  – номінальна потужність двигуна, кВт;

$U$  – лінійна напруга, В;

$\eta$  – ккд двигуна;

$\cos \varphi$  – номінальний коефіцієнт напруги;

$K_3$  – коефіцієнт загрузки двигуна.

$$I = \frac{4 \cdot 1 \cdot 1000}{1,73 \cdot 3,16 \cdot 0,84 \cdot 84,0} = 10,3 \text{ А}$$

Таким чином обраний допустимий ділительний струм для трьхжильного провода перерізом струмопровідної жили  $1.5 \text{ мм}^2$  із мідними жилами з резинової ізоляцією у металевих захисних оболонках при прокладанні у повітрі становить 19 А.

#### 2.3.4 Вибір апаратів керування і захисту

#### 2.3.5 Вибір магнітних пускачів

Магнітний пускач — електромеханічний комутаційний апарат, призначений для керування живленням електродвигунів: їх пуску, розгону, забезпечення неперервної роботи, відключення живлення та захисту електродвигунів від перевантажень [7. с. 68].

Найважливішим правилом при виборі магнітного пускача є вимога, щоб струм навантаження не перевищує допустимого струму контактів.

$$I_B = 6 \cdot I_p = 6 \cdot 0,24 = 1,44 \text{ А}$$

Потужність  $P_p$  при роботі:

$$P_p = U \cdot I_p = 110 \cdot 0,24 = 26,4 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Потужність при вмиканні:

$$P_B = U \cdot I_B = 110 \cdot 1,44 = 158,4 \text{ В} \cdot \text{А}$$

Таблиця 2.4 – Технічні дані магнітних пускатів

Позиційне позначення на схемі	Тип вмикання апарата	Тип магнітного пускача	Струм пускача I, А	Напряга котушки пускача U, В	Струм споживання котушки при роботі I <sub>p</sub> , А	Струм споживання котушки при вмиканні I <sub>B</sub> , А	Потужність споживання котушки при роботі P <sub>p</sub> , ВА	Потужність споживання котушки при вмиканні P <sub>B</sub> , ВА
KM1	4AA132M 4У3	ПМА- 3102	25	110	0,24	1,44	26,4	158,4
KM2	4A100S4У 3	ПМА- 2101	10	110	0,14	0,84	15,4	92,4

### 2.3.6 Вибір апарати захисту

Для захисту ланцюгів і двигунів від струму короткого замикання застосовуються запобіжники. Відношення пускового струму I<sub>п</sub> до I<sub>п.вс.</sub> не повинно перевищувати 2,5, інакше запобіжник не витримає стартових перевантажень [5. с. 11]. Пусковий струм двигуна I<sub>п</sub> А вираховується за формулою:

$$I_p = I_n \cdot \frac{I_p}{I_n} = 22 \cdot 7,5 = 165 \text{ А}$$

$$I_{п.вс.} = \frac{I_p}{2,5} = \frac{165}{2,5} = 66 \text{ А}$$

Запобіжник вибрано вірно, якщо буде виконуватись нерівність:  $I_{\text{доп.п.вс.}} \geq I_{\text{н.п.вс.}}$

Вибираємо запобіжник типу ПН2-100, номінальний струм 100А, номінальний струм плавкої вставки 80А. Інший запобіжник вибираємо аналогічно і дані заносимо в таблицю 2.5

Таблиця 2.5 – Технічні дані запобіжників.

Позиційне позначення на схемі	Тип запобіжника	Номінальний струм запобіжника, А	Номінальний струм плавкої вставки, А
FU1	ПН2-100	100	80
FU2	ПН2-100	100	40

Для захисту електродвигунів від перевантажень застосовують теплові реле. Теплове реле являє собою електричний пристрій, що охороняє електродвигун будь-якого електроприладу від критичних значень температури. [5. с. 13]. Визначаємо струм теплового елемента  $I_{\text{т.е.}}$  для теплового реле КК1:

$$I_{\text{т.е.}} = k \cdot I_{\text{н}} = 1,05 \cdot 22 = 23,1$$

де  $k$  – коефіцієнт, який дорівнює  $1,05 \div 1,15$ .

Беремо теплове реле РТЛ-1022,  $I_{\text{н.р.}} = 25 \text{ А}$

Інший теплові реле вибираємо аналогічно і дані заносимо в таблицю 2.6

Таблиця 2.6 – Технічні дані теплового реле

Позиційне позначення на схемі	Номінальний струм пускача, А	Тип реле	Діапазон регулювання струму не спрацювання, А	Потужність електродвигуна кВт, 380В	Кількість допоміжних контактів, замикаючих / розмикаючих

КК1	25	РТЛ-1022	18 ... 25	11	1/1
КК2	10	РТЛ-1014	7 ... 10	4	1/1

### 2.3.3 Вибір кнопок керування:

Кнопки застосовуються для дистанційного вмикання і вимикання електродвигунів, магнітів і другого електрообладнання [5. с. 20]. Кнопки бувають в основному з червоним і чорним штовхачем, які відповідно використовуються для вимкнення і вмикання. Вибираємо кнопки керування і дані заносимо в таблицю 2.7

Таблиця 2.7 – Технічні дані кнопок керування

Позиційне позначення	Тип	Вид штовхача	Колір штовхача	Ступінь захисту	Габарити, мм		
					Ширина	Висота	Глибина
SB1	ПКЕ-122-1 У3	циліндричний	червоний	IP00	74	75	54
SB2, SB3	ПКЕ-122-1 У3	циліндричний	чорний	IP00	74	74	54

### 2.5.4 Вибір перемикачів

Перемикачі потрібні для вмикання або вимикання електричних апаратів (двигунів, насосів, і т.д.), для реверсування двигунів, для зміни режимів роботи і т.д. [5. с. 28]. При виборі перемикача повинна виконуватись нерівність:

$$I_{н.е.а.} \leq I_{н.пер.}$$

де  $I_{н.е.а.}$  – номінальний струм електричного апарату;

$I_{н.пер.}$  – номінальний струм перемикача.

Вибираємо пакетний перемикач ПКП-25 на 25А. Перемикач вибрано вірно, так як виконується нерівність. Дані заносимо в таблицю 2.8

Таблиця 2.8 – Технічні дані перемикача.

Позиційне позначення на схемі	Тип	$I_n$ , А	$U_{ном}$ , А	Примітка
SA1	ПКП-25	25	380	реверс

### 2.5.5 Вибір автоматичних вимикачів

Для захисту електродвигунів і всього станку від струму короткого замикання застосовується автоматичний роз'єднувач (автомат).

Визначаємо струм вставки електромагнітного роз'єднувача  $I_{в.е.р.}$ :

$$I_{в.е.р.} = 1,3 \cdot \sum I_n, \text{ А}$$

$$\sum I_n = I_{н.г.д.} + I_{н.д.п.} + I_{н.д.о.} + I_{н.к.а.}, \text{ А}$$

де  $I_{н.г.д.}$ ,  $I_{н.д.п.}$ ,  $I_{н.д.о.}$ ,  $I_{н.к.а.}$  – номінальний струм головного двигуна, двигуна подачі, двигуна охолодження, комутаційної апаратури. [5. с. 24]

$$I_{в.е.р.} = 1,3 \cdot (22 + 0,32 + 6,7 + 2) = 40,33 \text{ А}$$

Вибираємо автомат АЕ 2046 на 50 А.

Автомат вибрано вірно так як виконується нерівність:

$$I_{н.а.} = 50 > I_{в.е.р.} = 40,33 \text{ А}$$

Інший автоматичний вимикач вибираємо аналогічно і технічні дані автоматів заносимо в таблицю 2.9

Таблиця 2.9 – Технічні дані автоматичного вимикача.

Позиційне позначення на схемі	Тип	Вид роз'єднувача	$I_{\text{ном.}}, \text{ A}$	$U_{\text{ном.}}, \text{ B}$	Частота струму, Гц	Примітка
QF1	AE 2046	електромаг.	50	660	50	
QF2	AE 2010	електромаг.	10	660	50	

### 3 Технологічна частина

#### 3.1 Підвищення надійності системи керування верстата

Під надійністю електродвигунів розуміють їх здатність виконувати свої функції протягом заданого проміжку часу. Одним з найважливіших показників надійності електродвигунів є його напрацювання до відмови, яка вимірюється кількістю годин роботи до першої відмови. Чим більше це число, тим вище надійність виробу.

Фактори, що впливають на надійність роботи електроустаткування.

Надійність роботи електрообладнання залежить від численних і різноманітних факторів, які умовно можуть бути розділені на чотири групи: конструктивні, виробничі, монтажні, експлуатаційні.

Конструктивні фактори обумовлені установкою в пристрій малонадійних елементів; вадами схемних і конструктивних рішень, прийнятих при проектуванні; застосуванням комплектуючих елементів, що не відповідають умовам навколишнього середовища.

Виробничі фактори обумовлені порушеннями технологічних процесів, забрудненістю навколишнього повітря, робочих місць і пристосувань, слабким контролем якості виготовлення і монтажу та ін.

У процесі монтажу електротехнічних пристроїв їх надійність може бути знижена при недотриманні вимог технології.

Умови експлуатації мають найбільший вплив на надійність електротехнічних пристроїв. Удари, вібрація, перевантаження, температура, вологість, сонячна радіація, пісок, пил, цвіль, корозійні рідини і гази, електричні та магнітні поля - все впливає на роботу пристроїв. [5. с. 115]

Розрізняють три типи відмов, які притаманні електродвигунам:

1. Відмови електродвигунів, які виникають протягом раннього періоду експлуатації. Їх виникнення пов'язане з дефектами, допущеними в процесі виробництва на заводах. Залишившись непомітними, вони проявляють себе в перший період експлуатації;
2. Раптові відмови електродвигунів в період нормальної експлуатації;
3. Відмови, які пов'язані з відпрацюванням певного ресурсу окремих частин електродвигунів;

В перший період роботи електродвигунів інтенсивність їх відмов буває набагато більшою, ніж в період їх нормальної експлуатації. Більшість дефектів, які були допущені при виготовленні електродвигунів, виявляють та усувають в процесі випробувань. Але при масовому виробництві неможливо перевірити кожен виріб. Частка машин може мати скриті дефекти, які викликають відмови в перший період експлуатації. Відмови першого періоду в подальшому впливають на надійність пристрою і в подальші періоди його експлуатації.

В період нормальної експлуатації відмови в роботі електродвигунів звичайно носять випадковий характер. Їх поява багато в чому залежить від умов роботи пристрою, перевантаження, відхилення від режимів роботи, на які розрахований двигун, збільшують ймовірність відмов. В цей період важливе значення має технічне обслуговування (ТО) та своєчасне усунення відхилень від нормальних умов роботи. Задача експлуатаційного персоналу полягає в тому, щоб період нормальної експлуатації не скорочувався нижче нормативних термінів. [5. с. 118]

Висока надійність – це низька інтенсивність відмов в роботі, що в свою чергу призводить до більшого часу безвідмовної роботи. Якщо на практиці налагоджено систематичні профілактичні обслуговування електродвигуна, то тривалість періоду його нормальної експлуатації досягає розрахункового значення – 8 років.

Наступний період «життя» електродвигунів – період старіння – характеризується швидким підвищенням інтенсивності відмов. Заміна чи ремонт окремих деталей не дає належного ефекту, зношується вся машина. Подальша її експлуатація стає нерентабельною. Відмова машини, яка пов'язана з її старінням, має в основному теоретичне значення. Рідко вдається так сконструювати та експлуатувати машину, щоб всі її деталі зношувалися рівномірно. Звичайно виходять з ладу її окремі частини та вузли. В електродвигунах найбільш слабким місцем є обмотка.

Важливим показником, від якого залежить надійність роботи технічного пристрою, є його ремонтпридатність, під якою розуміють здібність до виявлення та усунення відмов та неполадок при проведенні технічного обслуговування та ремонтів. Кількісно ремонтпридатність визначається часом та затратами праці, які необхідні для поновлення працездатності технічного пристрою.

Характер відмов електродвигуна може бути різним. Для поновлення його повної працездатності вимагається різний час. Але спостереження показують, що середній час поновлення працездатності при певних умовах технічного обслуговування характерний для всіх пристроїв. Ця величина вважається характеристикою працездатності.

Напрацювання на відмову характеризує надійність технічного пристрою в неповній мірі, а визначає лише той проміжок часу, протягом якого пристрій працює безвідмовно. Після настання відмови необхідний час для поновлення його працездатності. Узагальнюючим показником, який оцінює готовність пристрою до виконання своїх функцій в потрібний час, є коефіцієнт готовності, який визначається згідно формули 2.1.1 /5.с.67/

$$kt = \frac{t_{CP}}{t_{CP} + t_B}$$

де,  $t_{CP}$  – середній час напрацювання на відмову, год.;

$t_B$  – середній час поновлення, год.;

Низька надійність пристроїв може бути скомпенсована зменшенням часу поновлення працездатності.

Причиною низької готовності пристроїв може бути невелике середнє напрацювання на відмову і великий час поновлення. Перша з цих величин залежить від надійності виробу та рівня його технічної експлуатації. Чим вище якість виробу, тим більше середнє напрацювання на відмову. Використання високоякісного обладнання повинно доповнюватися високим рівнем технічного обслуговування та ремонту. Тільки в цьому випадку можливо досягти безперебійної роботи даного обладнання. З виробничої точки зору важливо мати, готове до дії та безвідмовне в роботі обладнання в цілому. Готовність основної енергетичної ланки (електродвигуна) залежить також від надійності роботи пускозахисної та регулюючої апаратури.

Роль пристроїв захисту від перевантаження полягає в тому, щоб попередити вихід з ладу електродвигуна, своєчасно вимкнувши його. Це дозволяє значно скоротити час поновлення працездатності електрообладнання. На усунення причин, які викликають аварійний режим, вимагається більше часу, чим на двигуна який вийшов з ладу.

З іншого боку, неможливо допускати необґрунтованого передчасного відключення електродвигуна, так як це зменшує надійність обладнання в цілому. Незалежно від причини, відключення є відмовою. Невірні дії захисту знижують напрацювання на відмову та коефіцієнт готовності.

В окремих випадках доцільно, щоб апаратура захисту не знеструмлювала електроустановку, а подавала сигнал про аварійний режим. Користуючись термінологією теорії надійності, можливо сказати, що загальне призначення захисту полягає в скороченні часу відновлення працездатності електроустановки в цілому за рахунок попередження виходу з ладу електродвигуна. Захист повинен реагувати на ті перевантаження, котрі дійсно створюють небезпеку пошкодження електродвигуна. [5. с. 119]

Деякі види перевантажень повинні долатися за рахунок запасу потужності. Хибні відключення знижують надійність роботи обладнання та наносять виробничі збитки.

Отже, якість експлуатації електротехнічних пристроїв залежить від ступеня наукової обґрунтованості застосовуваних методів експлуатації і кваліфікації обслуговуючого персоналу (знання матеріальної частини, теорії і практики надійності, вміння швидко знаходити і усувати несправності і т.п.).

Застосування профілактичних заходів (регламентні роботи, огляди, випробування), ремонту, використання досвіду експлуатації електротехнічних пристроїв забезпечують їх більш високу експлуатаційну надійність.

## 3.2 Організація пуску верстата

Перед первинним пуском верстата повинні бути:

- розроблені експлуатаційні інструкції та оперативні схеми, технічна документація;
- укомплектований, навчений (з перевіркою знань) експлуатаційний (електротехнічний і електротехнологічний) персонал або укладений договір із спеціалізованою організацією про обслуговування електроустановок споживача;
- підготовлені запасні частини й матеріали, випробувані захисні засоби й інструмент;
- введені в роботу засоби зв'язку, сигналізації та пожежогасіння, аварійного освітлення і вентиляції;
- вирішені питання (організаційні та технічні) охорони праці, пожежної безпеки, екологічної безпеки та промислової санітарії.

Перед пуском верстата чітко усвідомлюють послідовність операції включення (відключення) головного приводу та приводу подач, переконуються в правильному підключенні електродвигунів, напрямок їх обертання повинен відповідати вимогам технічного паспорта.

Первинне випробування верстата під навантаженням необхідно проводити на самих низьких обертах та при самих легких режимах з поступовим збільшенням навантаження верстата. При випробуванні верстата під навантаженням необхідно суворо керуватися правилами техніки безпеки, які відносяться до виконуваних на ньому робіт. [5. с. 129]

Технічну експлуатацію електрообладнання верстата необхідно проводити в суворій відповідності з діючими «Правилами технічної експлуатації електроустановок споживачів» та «Правилами техніки безпеки при експлуатації електроустановок споживачів».

Знов змонтоване та відлагоджене електрообладнання і пускорегулюючу апаратуру при первинному пуску оглядають, перевіряють роботу механічної частини в

відповідності з заводськими та монтажними інструкціями і потім проводять прийомоздаточні випробування в відповідності з вимогами правил устрою електроустановок .

### **3.3 Організація технічного обслуговування та ремонту електрообладнання верстата**

Робота електроустаткування неминуче пов'язана з його поступовим зносом і внаслідок цього з необхідністю періодичних ремонтів. Знос електроустаткування по характеру і причинам, що його викликають можна умовно розділити на: механічний, електричний і моральний.

Механічний знос електроустаткування відбувається через тривалі змінні або постійні механічні дії на його окремі деталі або складальні одиниці, внаслідок чого змінюються їх первинні форми або погіршуються якості, наприклад, утворення на поверхні колектора електричної машини глибоких борозен – «доріжок», виробіток. Причиною швидкого механічного зносу колектора може стати тривала дія на нього щітки, притиснутої із зусиллям, що перевищує допустиме зусилля натиснення, або неправильний підбір марки щітки, наприклад, твердішої, ніж та, на яку розрахований колектор.

У електричних апаратах механічний знос виражається в стиранні (абразивному зносі) і зміні первинної форми контактів, в ослабленні пружин механізму. Електричний знос – невідновна втрата електроізоляційними матеріалами електроустаткування ізоляційних властивостей. Електрично зношуються, наприклад, пазова ізоляція електричних машин, ізоляція дротів обмотки трансформатора, і ізолюючі деталі апаратів. Електричний знос ізоляції найчастіше є наслідком тривалої роботи електроустаткування, дії на ізоляцію недопустимо високих температур або хімічно агресивних речовин, що призводить до інтенсивного «старіння» ізоляції і в результаті цього до виткових замикань в обмотках і котушках, пробою ізоляції і появи потенціалів небезпечної величини на частинах електроустаткування, що нормально не знаходяться під напругою, тобто до пошкоджень, усунення яких вимагає капітального ремонту електроустаткування. [5. с. 162]

Моральний знос – результат старіння сповна справного резервного або працюючого електроустаткування, подальша експлуатація якого недоцільна через

створення нового, технічно більш досконалого або економічнішого устаткування аналогічного призначення. Цей вид зносу електрообладнання – закономірний процес, обумовлений розвитком науки і безперервним технічним прогресом. Проте експлуатація електроустаткування, що морально зносилося, може стати технічно і економічно доцільною, якщо при капітальному ремонті здійснити модернізацію, при якій його техніко-економічні параметри можуть бути максимально наближені до параметрів аналогічного досконалішого електроустаткування.

Технічна експлуатація та обслуговування електроустаткування верстата полягає в забезпеченні щоденного контролю за виконанням правил експлуатації та інструкцій заводу-виготовлювача.

Одним з істотних елементів обслуговування електрообладнання верстата, є систематичні огляди цього обладнання. Основою їх обов'язків при оглядах є спостереження за правильною експлуатацією електрообладнання, щоб перевантаження не перевищували допустимі, і щоб воно містилося в чистоті, своєчасно змащувати. Крім зазначених оглядів, експлуатоване електрообладнання час від часу піддають ремонтам та профілактичним (міжремонтним) випробуванням. Призначення цих випробувань полягає у своєчасному виявленні таких дефектів, які не можуть бути виявлені зовнішніми оглядами. Профілактичні [випробування](#) електричних машин і апаратів з використанням засобів технічної діагностики, дозволяють виявити рівень граничного вироблення ресурсу їх вузлів та деталей і попередження аварійних ситуацій. Систематичні огляди і профілактичні випробування електроустаткування забезпечують своєчасний вивід його в ремонт, збільшуючи тим самим термін його служби. Сукупність перерахованих заходів по обслуговуванню обладнання, що експлуатується промислових підприємств носить назву системи планово-попереджувального ремонту (ППР). [5. с. 166]

Система ППР має профілактичну сутність, оскільки роботи з технічного обслуговування і ремонту електроустаткування виробляються з метою запобігання наростаючого зносу, попередження аварійних ситуацій. Виникаючі в практиці експлуатації обладнання аварійні ситуації, пов'язані з неполадками і відмовою техніки призводять до додаткових позапланових витрат. З цієї причини важливу роль в організації виробництва відіграє діяльність, спрямована на профілактику аварій, а не на їх усунення. В основі системи ППР закладені роботи з технічного [обслуговування](#)

обладнання і з виконання планових ремонтів - поточних, середніх і капітальних. Організація і планування ремонту обладнання при системі ППР ґрунтуються на певних нормативах, що дозволяють планувати обсяги ремонтних робіт, їх черговість, терміни проведення, як по групах однорідних верстатів, так і в цілому по підприємству і його окремих підрозділах. [5. с. 169]

Підводячи підсумок вище сказаного, слід зазначити, що основним завданням технічного обслуговування і ремонту є забезпечення безперебійної експлуатації устаткування при мінімальних витратах. Поставлена задача вирішується шляхом раціональної організації поточного обслуговування обладнання в процесі його експлуатації для попередження прогресуючого зносу, організацією своєчасного планово-попереджувального ремонту та модернізацією застарілого обладнання.

### 3.3.1 Несправності і ушкодження реле

Апарат, призначений для приведення в дію якогось потужного пристрою або для регулювання якогось процесу при впливі на нього відносно малої потужності, називається реле.

Відмінною особливістю реле є те, що при впливі на нього деякої потужності, званою вхідною величиною, вихідна величина її змінюється стрибком, досягаючи певного значення.

По виду застосовуваної для їх дії енергії, реле можна розділити на електричні та неелектричні.

За своїм призначенням застосовувані в схемах металорізальних верстатів реле діляться на реле захисту і управління.

Перші служать для забезпечення захисту різних ланцюгів від появи ненормальних режимів роботи (зниження напруги, перевищення струму тощо), другі - для перемикання різних ланцюгів з метою здійснення певної послідовності виконання операцій управління.

За способом включення в електричний ланцюг електричні захисні реле, у свою чергу, поділяються на первинні, що вмикаються у захисний ланцюг, і вторинні, які вмикаються у захисний ланцюг через трансформатори струму і напруги. [5. с. 174]

У схемах металорізальних верстатів застосовуються в основному первинні реле, так як напруга на їх затискачах не перевищує 500 В, а струми в їх ланцюга не

перевищують 100 А. За способом дії реле діляться на реле прямої дії, що безпосередньо впливають на пристрої, що відключають, і реле непрямої дії, що впливають на ланцюг управління допоміжним струмом, який називається оперативним.

Як джерело оперативного струму можуть бути використані: між фазна напруга, напруга між фазою і нулем, трансформатори струму або напруги, випрямлячі.

Роботу реле характеризують такі параметри:

1) величина спрацьовування - значення вхідної величини, при якому реле переходить зі стану спокою в стан спрацювання, при якому вихідна величина реле досягає певного значення і далі залишається на цьому рівні;

2) величина відпускання - значення вхідної величини, при якому реле переходить у стан спокою;

3) час спрацьовування - час, протягом якого реле переходить зі стану спокою в стан спрацювання;

4) час відпускання - час, протягом якого реле переходить з стану спрацьовування в стан спокою.

За останніми двома параметрами розрізняють реле миттєвої дії, час спрацьовування й відпускання яких не перевищує 0,1-0,15 сек., і реле часу, у яких ці параметри можуть змінюватися в межах від 0,1 сек. і більше. У цьому випадку вживається термін «витримка часу реле». Витримка часу зазвичай регулюється. [5. с. 177]

У схемах управління приводом металорізальних верстатів найбільшого поширення набули такі види реле: 1) електричні - електромагнітні, електромагнітні поляризовані, з приводом від електродвигуна (моторні реле), електронні та індукційні; 2) неелектричні - теплові та деякі типи реле швидкості.

Обмотки електричних реле можуть харчуватися або постійним, або змінним струмом. З числа електромагнітних реле зазвичай виділяються так звані проміжні реле.

## ВИСНОВОК

В результаті виконання дипломного проекту були проведені наступні роботи:

1. На основі аналітичного огляду літературних джерел було розроблено модернізацію системи керування координатно-розточного верстата. Сформульовані вимоги, що висуваються до локальних засобів автоматички цих механізмів.
2. В основу проекту покладений розрахунок потужності електродвиуна та його вибір.
3. Вибір проводів і кабелів живлення. Вибір апаратів керування і захисту.
4. Розробка та удосконалення схеми керування електрообладнання верстата.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бернштейн-Коган В.С. Електрообладнання координатно-розточних і різьбошліфувальних верстатів, 1969.
2. Земин Е.Н., Преображенский В.И. „Електрооборудование промышленных предприятий и установок“.
3. Глухов Н.М. Робота на координатно-розточних верстатах, 1953.
4. Кирпота Р.Р. , Бороздін М.К. Аналіз нелінійних систем автоматичного керування. Тези за матеріалами 73 наукової конференції професорів, викладачів, студентів Національного університету „Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка” 21.04.21 по 13.05.21 р. с. 22-24.
5. Малов А.Н. Справочник технолога-машиностроителя. Том 2. М., „Машиностроение”. 1973. 568 с.
6. Нефедов Н.А., Осипов К.А. Сборник задач и примеров по резанию металлов и режущему инструменту. М., "Машиностроение". 1990. 448 с.
7. Соколов Н. Г., Елисеев В. А. Расчеты по автоматизированному электроприводу металлорежущих станков. Высшая школа. 1969. 296 с.
8. Ипатов С.С. Координатно-розточні верстати в точному приладобудуванні, 1954.
9. Кудряшов А.А. Верстати інструментального виробництва, 1968.
10. Кашепава М.Я. Сучасні координатно-розточувальні верстати, 1961.
11. Богданов А.В. Розточувальна справа, 1960.

ДОДАТКИ

## Додаток А

### Переклад розділу І на англійську мову

#### 1 ANALYTICAL PART

1.1 Analysis of the shortcomings of the control system of the electric machine and setting the design problem

##### 1.1.1 Purpose of the machine:

The coordinate boring machine of the 2A430 model is intended for processing of precisely located apertures in details of the small and average sizes.

The machine also allows to carry out finishing milling of planes and measurements of finished products - check of coordinates of marking of apertures.

Coordinate-boring machine 2A430 - single-rack with a "cross" table measuring 270 x 470 mm, inductive measuring system with screw-through sensors, a device for pre-set coordinates and automatic stopping of the table and sled in a given position. The machine has a correction disk, kinematically associated with the movement of the table, and a lever transmission.

Accuracy of distance between axes of marking of openings of 0,006 mm, accuracy of diameter of marking of openings of 0,004 mm.

Simple and universal dividing tables are added to the machine for processing of concentrically and inclinedly located apertures.

In addition, various auxiliary accessories and a special cutting tool are added to the machine, which significantly expands its operational capabilities. [3. c. 25-27]

Rational use of the machine with a careful attitude to it is a guarantee of long-term preservation of accuracy of its main working elements and high-quality processing of products.

The exact distances between the axes of the machined holes and the received base surfaces are obtained without the use of any devices to guide the tool.

For exact counting of movements of mobile knots the machine has special devices:

- rigid and adjustable end measures together with indicator devices
- precision scales in combination with optical instruments
- inductive bushings

The machine is equipped with a cross table, which can move in two mutually perpendicular directions (longitudinal and transverse). The spindle has a rotational motion and a feed motion in the axial direction.

The 2A430 coordinate boring machine can be used both as the measuring machine for check of the sizes of details, and especially exact marking works.

#### 1.1.2 Limitations of existing machines belonging to the drilling group

Currently, there is a large fleet of morally and physically obsolete jig-boring machines models 2A430, 2D450, 2E450 and their modifications. The age of these machines reaches 30-40 years, so their design solutions do not meet modern requirements for machines. In addition, high wear of components and loss of accurate parameters cause problems with their operation. All this requires the renewal of machine tools, but most companies in today's economic environment do not have sufficient funds for this. Therefore, in these conditions it is economically feasible to upgrade existing equipment, as a result of which the consumer would receive a modern machine, the design of which would embody many years of experience in machine tools that meet all requirements for point (for this machine), equipped with modern components and control systems. Thus the customer, having handed over the machine for modernization, can not wait when all production cycle of modernization of the machine will pass, and to receive the modernized machine of this model (or the machine of other model). In this case, the estimated cost of the delivered machine will be deducted from the price of the purchased machine. [8. c. 48].

It should be noted that there are certain limitations in the existing system of automatic control of the investigated boring machine, namely:

limitation in the time of over-regulation, which is more than 30%; restrictions in the adjustment process, which are much more than 1 second; limitations in insufficiently implemented existing devices of machine control.

#### 1.1.3 Proposals for modernization of the automatic control system of the boring machine model 2A430

Therefore, taking into account the analysis of these contradictions, it is proposed to modernize the coordinate-boring machines with manual control:

- Installation of an electronic counting and measuring system, which includes photoelectric converters of linear displacements and a digital indication device instead of optical counting devices;

- Use of the programmable controller for construction of the scheme of electroautomatics of the machine instead of the relay control circuit;
- Ball screw pairs and adjustable high-torque DC motors in the drives of table and sled movements instead of gear-rail gears, simple adjustable DC motors and worm gearboxes;
- Installation of a pneumatic clamp of a table and a sledge instead of electromechanical clamps;
- Mechanization of spindle box movement;
- Application of a design of the drive of movement of a sleeve with the adjustable DC motor.

Studying the content and structure of existing boring machines, in particular their electrical equipment, we see a significant advantage over the used automation devices and modern electric drive, which meets the requirements of the fourth industrial revolution.

The most widespread are electric drives that provide automatic control of the processes of starting, braking and reversing the engine. Their share among all electric drives used in Ukraine exceeds 80%. In such systems contact and contactless electric devices of relay action are used. In the power circuits that supply the motor windings, electromagnetic contactors of alternating and direct current, electromagnetic starters, thyristor switches are used.

In control circuits, various relays of time, voltage, current, frequency, power, etc. Commands to perform one or another operation are given using push-button control posts, command controllers, control keys, and so on. In addition, signals to start, stop, reverse or change the engine speed can come to the control system from track or limit switches, pressure sensors, temperature and other sensors that monitor the operation of technological machines. [4. c. 22]

In this group of electric drives automation of the starting process is most simply carried out for BP with a short-circuited rotor: after the command to start the control operation is reduced to turning on the motor windings at full mains voltage, ie to direct engine start. Induction motors with short-circuited rotor and high-power synchronous motors (more than 100 kW) are started at low voltage with subsequent automatic switching to full voltage. When starting DPT and JSC with a phase rotor automatically switches off the starting rheostat steps from the armature current circuit of the armature or rotor, respectively. Automation of the braking process of a running engine with any type of electric braking

involves two basic control operations: 1-after the command to brake the switching in the engine power circuits, which leads to a change in the direction of engine torque, ie making it braking; 2-at the end of braking at a speed close to zero, the engine that brakes to stop is disconnected from the mains and braked by a mechanical brake. Otherwise, the main circuits make the switching required to reverse the engine, ie to accelerate in the opposite direction. [4. c. 24]

Systems of automatic control of start, braking and reverse are constructively executed in the form of the standard knots realizing the above operations as a function of time, speed or current. To increase the reliability of the electric drive as a whole to prevent failure of its individual elements, the typical nodes are supplemented by nodes of electrical protections of the main circuits and control circuits.

## 1.2 Description of the main components and mechanisms of the boring machine model 2A430

In the spindle head there is a wedge-shaped belt drive, which communicates to the spindle three upper revolutions per minute and a gear reducer, which transmits the spindle three lower revolutions per minute.

Switching from one range of revolutions per minute to another is done with the handle.

At inclusion of high numbers of turns in a minute the cam coupling disconnects a reducer and includes a sleeve of a pulley of a belt drive, combining it directly with a drive shaft. The movement of the spindle feed mechanism is transmitted by the worm. [9. c. 12]

Installation movement of a spindle head (manual) is carried out by rail pair by means of the flywheel located on a column.

The spindle head is provided with the indicator device for exact measurement of the set depth of boring.

The oil of the spindle head and the spindle feed box is produced by a piston pump, which receives motion from the eccentric. The pump is monitored through a control cell.

The mechanical supply of the spindle is carried out by a worm wheel, which receives rotation from the spindle.

The mechanism of a transmission allows to receive giving with reversing of giving through conic gear wheels and a cam coupling. Reverse is carried out by the handle. Switching of feeds is made by handles.

The feed is switched on by moving the handles on itself. The rod with a cone pushes the cams and includes a clutch with a worm wheel. Switching off the spindle feed is done by moving the handles away from you. Automatic shutdown of supply of a spindle after achievement of certain, in advance established on a limb of size of movement is made by an emphasis. The latter disconnects the clutch.

The three-speed electric motor of rotation of a spindle fastens to a pipe flange. Inside the pipe is a vertical shaft that carries at its end a pulley that transmits the rotation of the shaft through a belt drive. The upper part of the pipe is equipped with pins with rubber rollers stretched on them, on which it is suspended from a special hook. The new rollers are used to dampen the vibration of the machine during operation of the motor. For the same purpose, the middle part of the pipe is attached to the frame with a tile with a rubber ring, and the lower part of the motor is supported by a special jack equipped with rubber rings. [9. c. thirteen]

The head clamping mechanism is an eccentric with a handle that acts on the bars through the lever system.

The column, the electric motor of the table and sledge drive, the control mechanism of the table and sledge drive, the cross sensor and a number of auxiliary mechanisms are fastened to the basis.

For chip removal the bed is provided with a special hatch.

The guide frames are protected from chips by special devices.

The table drive receives rotation from a separate electric motor. Quick movement of a table and a sledge is carried out by inclusion of the coupling by means of an electromagnet. Working feed of a sledge is reached by inclusion of the coupling with a worm wheel by means of a spring. In the future, the transmission of the table is carried out by a clutch, which is controlled by the cams of the handle and levers.

At the same time the handle through the cam sleeve controls microswitches by means of which inclusion of the movement of the electric motor of the drive of a table and a sledge and inclusion of the electromagnet of fast moves is carried out.

The handle has 9 positions, of which the middle is neutral; position at an angle of  $15^\circ$  which, serves to include working feeds, and position at an angle of  $30^\circ$  - for fast movements.

For exact manual movement of a table on fractions of millimeters after installation of its automatic movement handles of verniers serve. To turn on the vernier calipers are handles that need to be pressed down all the way. [9. c. 15]

From the table drive shaft, the rotation is transmitted to the table lead screw.

Transverse movement of the sled is done with a screw. The table is clamped by the handle. Each of the clamps is locked with the electric motor of the table drive. Therefore mechanical movement of a table or a sledge is possible only at the pressed position of the handle of the corresponding mechanism.

The system of exact reference of coordinates is electroinductive with a preliminary set of coordinates on the counting mechanism and the subsequent automatic stop of a table at approach to the typed coordinate.

The essence of the mechanism of electroinductive reference is as follows. The sensor consisting of through nuts with a step of cutting of 5 mm fastens to a table. The sensor is equipped with coils that create a magnetic flux in the nuts. Passing by the screw-armature with exactly the same step of 5 mm, the sensor fixes by means of an arrow of the electric indicator zero position, ie such at which the smallest backlash between end faces of turns of nuts and turns of the screw-anchor is formed. And this position is repeated at each step of the screw-anchor.

Since the sensor is fixed on the table and moves with it, it fixes the exact position of the table every 5 mm. Setting the exact position of the table within less than 5 mm (millimeters and their fractions up to 0.001) is achieved as follows: the screw-anchor is rotated around the axis, observing the magnitude of the rotation of the corresponding limb (performed by dialing). When the table with the sensor moves, the latter accurately fixes the zero position. Thus, a continuous inductive scale of reference coordinates is created.

Given that the sensor when moving with the table captures each step of the screw-anchor, ie every 5 mm, it is necessary that the electrical indicator is turned on only before the desired turn. This is done by a movable stop, which is automatically set against a given turn of the anchor screw when dialing.

Two microswitches are attached to the sensor, which operate sequentially when the table moves through the lever system.

The microswitch operates 0.8-1.2 mm to the specified coordinate, preparing the relay for the command "Stop" of the electric motor to drive the table [9. c. 19].

The device of the mechanism is as follows: the screw anchor is installed in the exact supports of the brackets, which are fixed to the sled.

Axial beating of the anchor screw is perceived by the ball, which is supported by a helical spring. A gear is mounted on the right neck of the screw. The latter is engaged with the gear wheel of the lead screw, the moving nut with a movable stop.

The limb, which is rotated by the flywheel through the worm gear, is used to adjust to the required coordinate. It shows the set value of whole millimeters. Limb indicates fractions of millimeters (up to 0.01 mm), and with the help of a vernier set thousandths of a millimeter.

For automatic correction of errors of all reading device (inaccuracy of a step and beating of the screw-anchor, inaccuracy of electric system of the mechanism) the correcting disk serves. The latter through the system of the lever on the previously detected errors returns the vernier relative to the limb.

For fine installation of a limb the gear transmission controlled by the handle serves correctly.

The microswitch switches off 2.5-3 mm to the required coordinate of the high-speed table or sled electromagnet and at the same time turns on the working feed.

A transverse sensor is used to set and set the transverse coordinates. The principle of its operation and design are similar to the operation and design of the longitudinal sensor.

After performing these works, the machine can be connected to the mains [9. c. 20].

When starting work on the machine for the first time, you should carefully read all sections of this manual, safety rules.

The machine is idling and works for 2-3 hours at different spindle speeds. In the first period after starting the machine, it is not recommended to work with the maximum spindle speed.

After inspection and elimination of all noticed malfunctions in work of the machine it is possible to start its operation.

### 1.3 Requirements for the machine control system

Main motion drive:

- 1) Asynchronous short-circuited motor
- 2) asynchronous motor with pole switching
- 3) DC motor

Braking:

- 1) mechanical by means of a friction coupling
- 2) using an electromagnet
- 3) dynamic with recovery (at a direct current).

Auxiliary drives: drive clamp \ table print; clamp drive / slide impression; electric cooling motor.

Special electromechanical devices and locks:

- 1) Automation of control of the main drive when switching gears of a gearbox [10. c. 31]
- 2) use of direct current drives with a wide range of regulation both for working feeds, and for fast movements
- 3) devices for illuminating microscopes
- 4) a device for reading coordinates with an inductive sensor.

## ДОДАТОК Б

**Мета:** вивчення та вибір електрообладнання координатно-розточного верстата, розробка та удосконалення схеми керування. За його технічними характеристиками виберемо електродвигуни, апарати захисту, проводи для ланцюга управління і кабелі для силового ланцюга.

**Об'єкт дослідження:** система автоматичного керування верстатом моделі 2А430.

**Предмет дослідження:** моделі та методи системи керування верстатом моделі 2А430.

### **Завдання:**

1. Провести аналітичний огляд літературних джерел групи свердлильних верстатів з метою виявлення особливостей та обмежень щодо існуючого електрообладнання та систем автоматичного керування.

2. З'ясувати можливість проведення на верстаті операції свердління деталі заданого розміру, де здійснити перевірку потужності електродвигуна.

3. Здійснити дослідження сліdkючого приводу переміщення столу роточного верстата моделі 2А430.

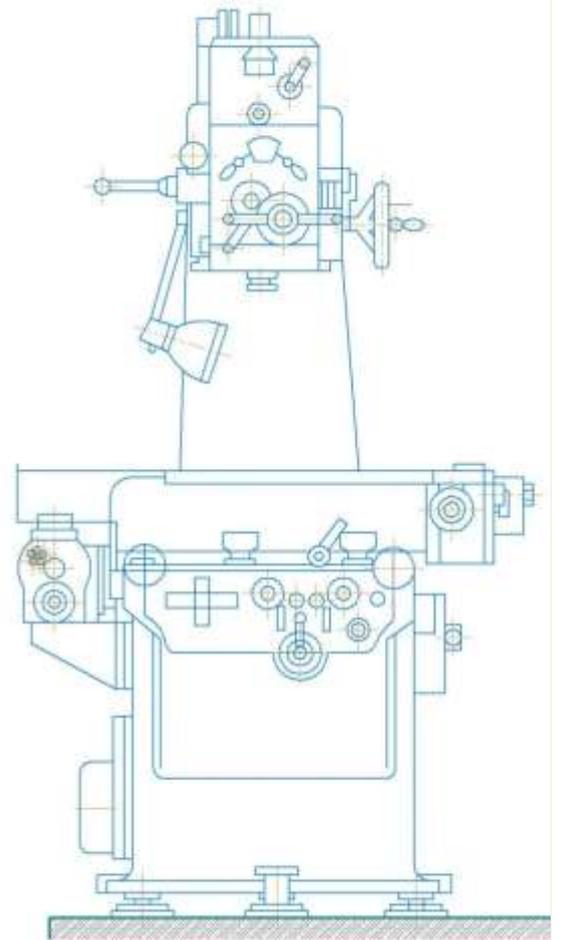
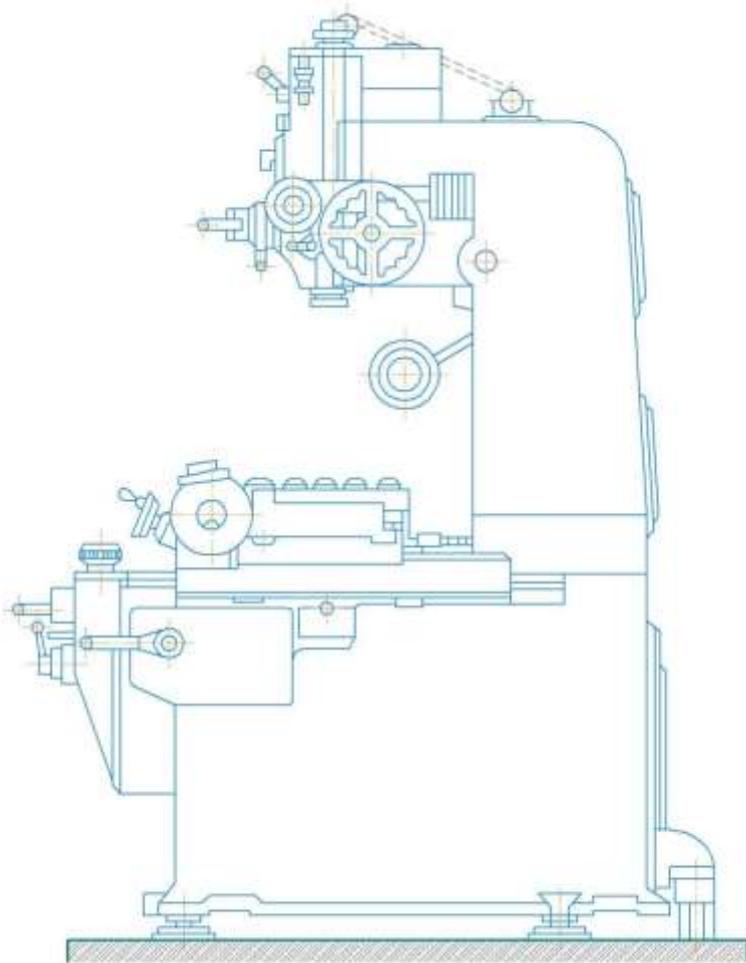
4. Здійснити дослідження приводу переміщення салазок розточного верстата моделі 2А430.

4.1 Розробити структурну та функціональну схеми електродвигуна приводу переміщення салазок розточного верстата моделі 2А430.

4.2 Розробити сліdkуючу систему приводу переміщення салазок розточного верстата моделі 2А430 та визначення якісних параметрів системи.

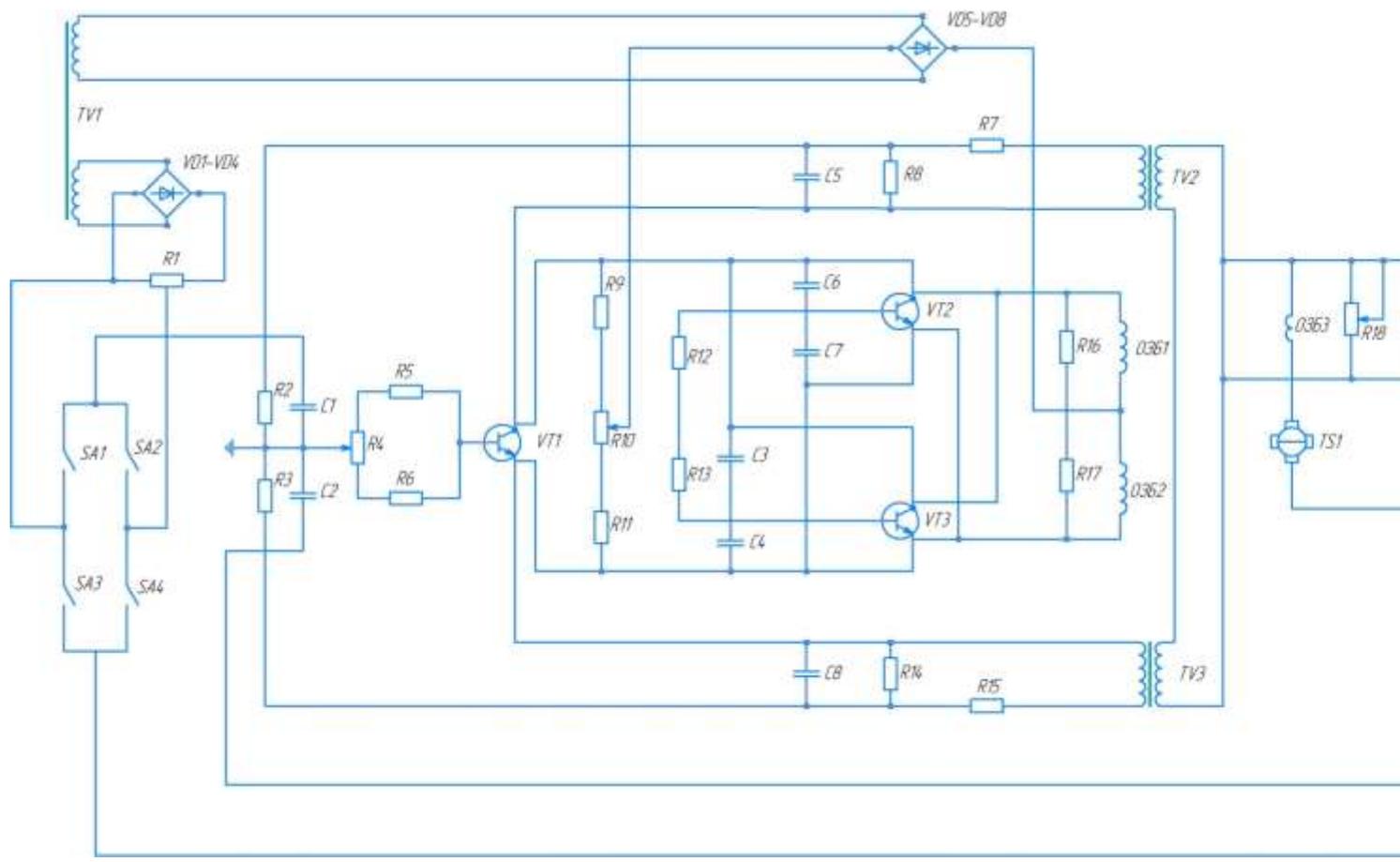
5. Обрати електрообладнання.

# I. ЗГАЛЬНИЙ ВИГЛЯД РОЗТОЧУВАЛЬНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 2А430





### III. МОДЕРНІЗОВАНА СХЕМА КЕРУВАННЯ ПРИВОДУ ПОДАЧІ РОЗТОЧНОГО ВЕРСТАТА 2А430



**IV. ЗВЕДЕНА ВІДОМІСТЬ РОЗРАХУНКУ ШВИДКІСНИХ ХАРАКТЕРИСТИК ПРИВОДУ ПОДАЧІ РОЗТОЧНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 2A430**

Характер подачі столу	$U_{з,в}$	$t$	$I_{в}, A$	$I, A$	$K_e$	$K_{e1}$	$n, об/хв$
Мінімальна робоча подача	0,091	0,03	0,01	4,35	800	4,2	2,7
			0,05	5,88	750	4,2	2,34
			0,1	6,76	720	4,21	1,96
			0,2	7,3	660	4,3	1,24
			0,3	7,4	530	4,4	0
Максимальна робоча подача	21,015	0,03	0,01	4,35	780	3	699,8
			0,1	6,76	530	3,4	699,5
			0,2	7,3	200	3,54	695
			0,4	7,5	72,3	4,42	670
			0,44	7,54	3,1	4,31	0
Прискорене переміщення	21,015	0,00465	0,05	5,88	26,9	2,58	4000
			0,1	6,76	14,4	2,77	3500
			0,2	7,3	9,2	3,43	3000
			0,4	7,5	3,76	4,42	804
			0,44	7,54	3,1	4,3	0

## V. ДОСЛІДЖЕННЯ ПРИВОДУ ПЕРЕМІЩЕННЯ САЛАЗОК РОЗТОЧНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 2A430

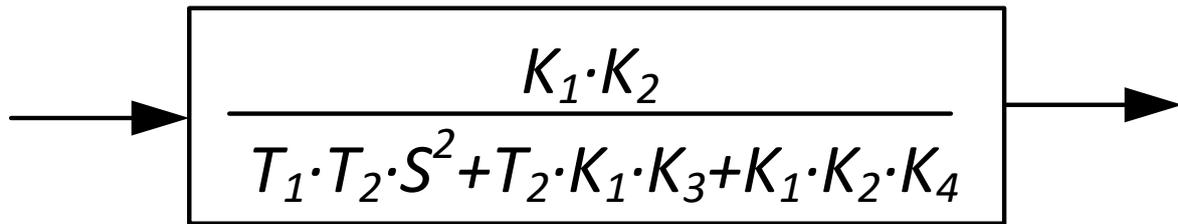


Рис. 1 Структурна схема електродвигуна приводу переміщення салазок розточного верстата моделі 2A430, що підготовлена до дослідження у середовищі імітаційного моделювання

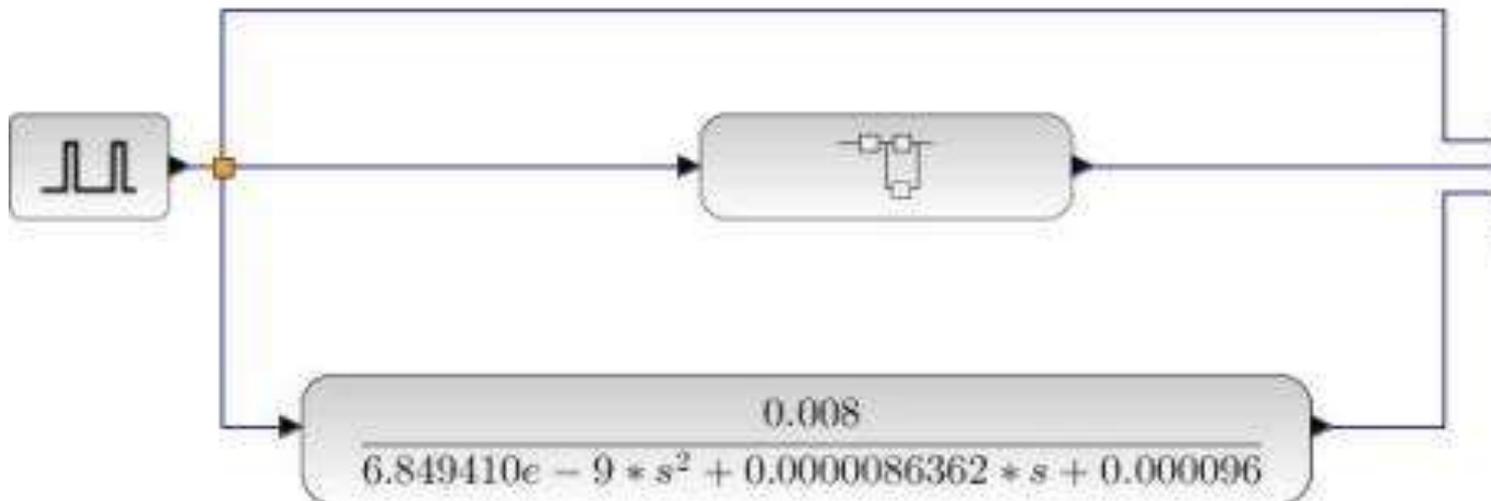


Рис. 2 Імітаційна модель електродвигуна приводу переміщення салазок розточного верстата моделі 2A430

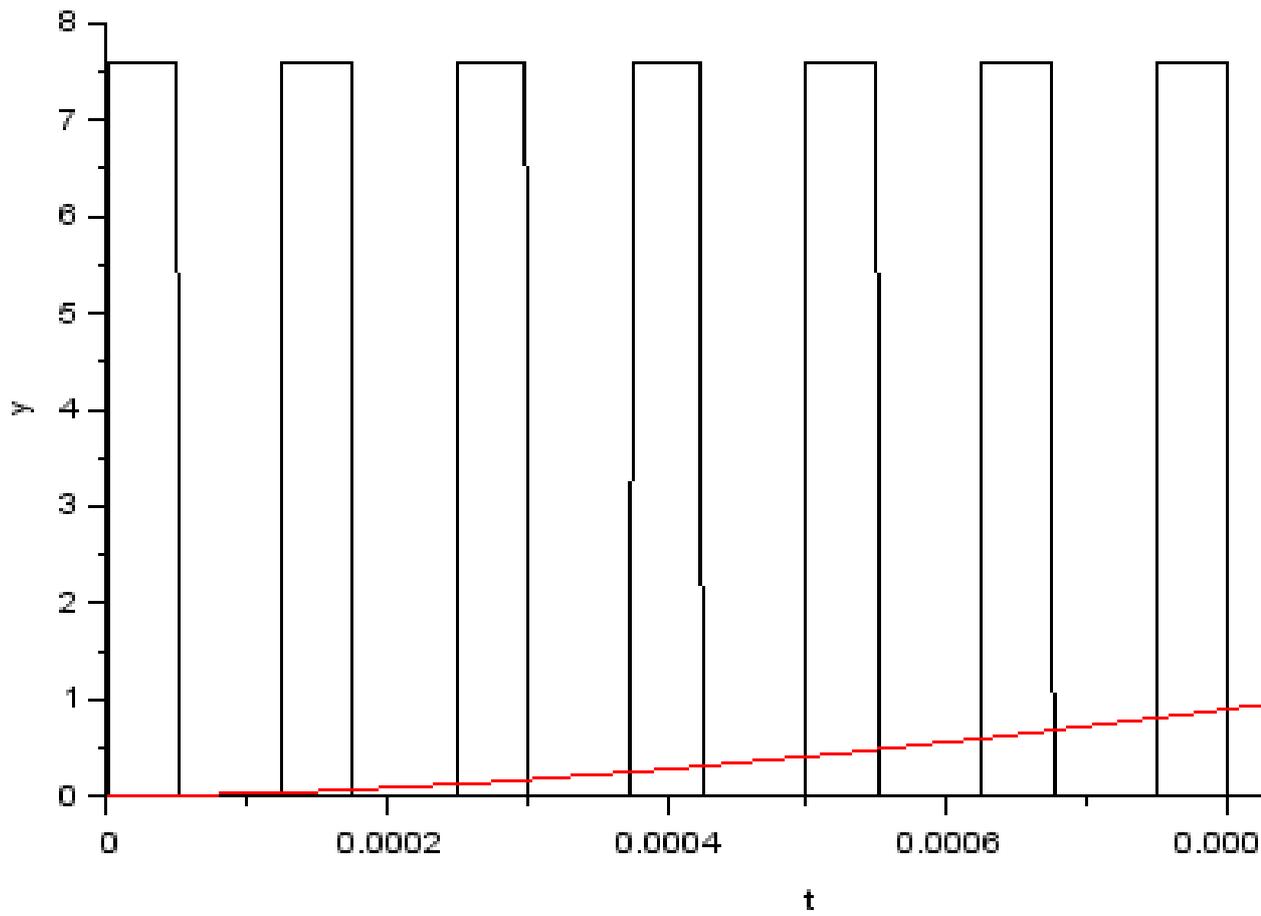


Рис. 3 Результати моделювання впливу керуючої дії на швидкість обертання електродвигуна приводу переміщення салазок розточного верстата моделі 2A430

# VI. РОЗРОБКА СЛІДКУЮЧОЇ СИСТЕМИ ПРИВОДУ ПЕРЕМІЩЕННЯ САЛАЗОК РОЗТОЧНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 2А430 ТА ВИЗНАЧЕННЯ ЯКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ

## 6.1 ДОСЛІДЖУВАНА ПЕРЕДАВАЛЬНА ФУНКЦІЯ

$$W_{lin}(s) = \frac{kl \cdot (T_2s + 1)}{s \cdot (T_1s + 1) \cdot (T_3s + 1) \cdot (T_4s + 1)}$$

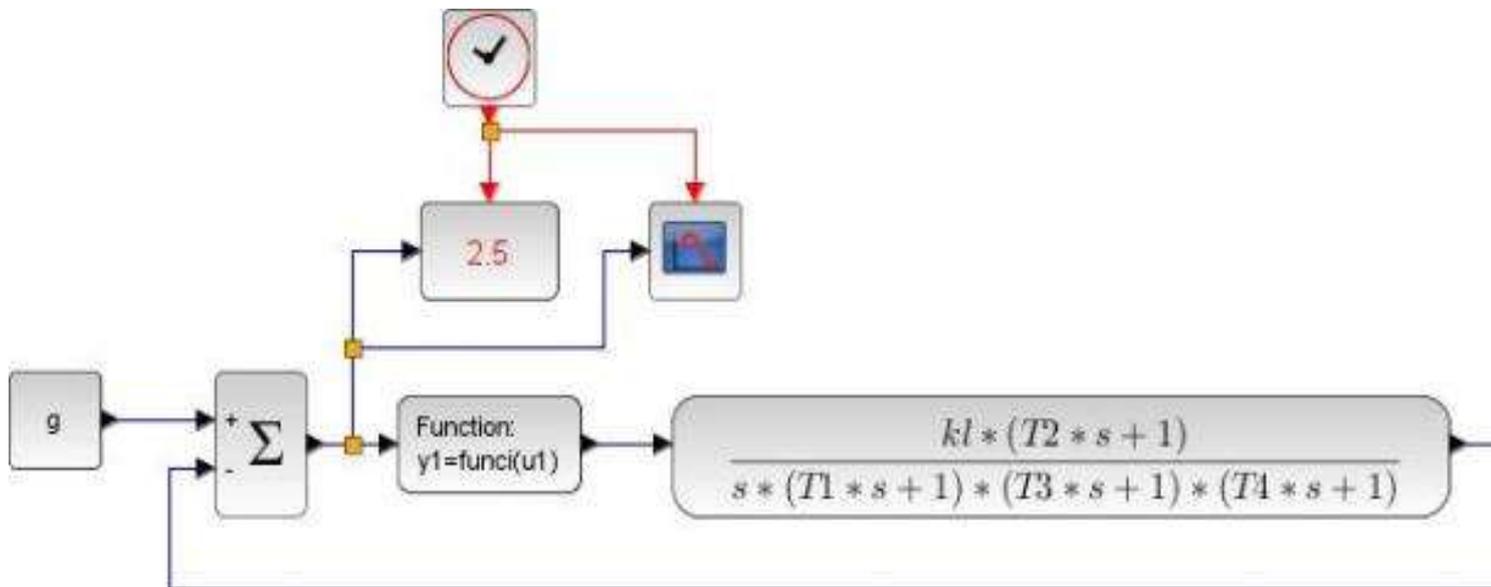


Рис. 4 Імітаційна модель сліdkуючого приводу електродвигуна приводу переміщення салазок розточного верстата моделі 2А430

## VII. ДОВЕДЕННЯ ЯКІСНИХ ПАРАМЕТРІВ СИСТЕМИ

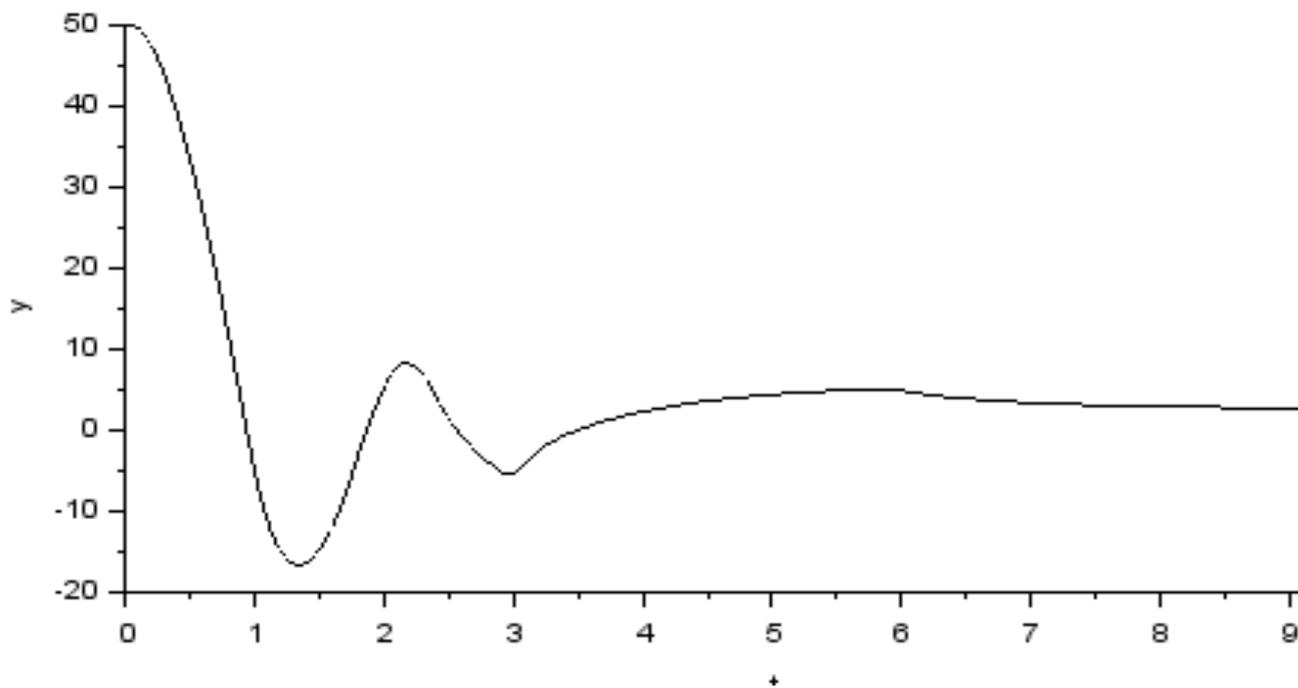


Рис. 5 Графік перехідного процесу слідкуючої системи приводу переміщення салазок розточного верстата моделі 2А430