

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова
Навчально науковий інститут автоматики та електротехніки

Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«Допущений до захисту»
Завідувач кафедри


20 грудня 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня вищої освіти «магістр»

**на тему: Комп'ютеризована система керування електроприводами подач
фрезерного верстата**

Виконав: студент групи 6341м


(підпис) **Оглоблев О.В.**

Керівник роботи:
зав. каф. КСУ, д.т.н., проф.


(підпис) **Черно О.О.**

Національний університет кораблебудування імені адмірала Макарова

ННІ	автоматики та електротехніки
Кафедра	комп'ютеризованих систем управління
Рівень вищої освіти	другий (магістерський)
Спеціальність	174– «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка»
ОПП	«Комп'ютеризовані системи управління і автоматика»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри КСУ
 Черно О.О.
15 жовтня 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

Оглоблеву Олександр Вікторовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Комп'ютеризована система керування електроприводами подач фрезерного верстата

керівник роботи Черно Олександр Олександрович, д.т.н., професор
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "14" жовтня 2024 р. №_1075-уч

2. Строк подання роботи 18.12.2024 р.

3. Вихідні дані до роботи параметри електроприводів подач фрезерного верстата та вимоги якості управління: електродвигуни ПБВ-132ЛГ; максимальна швидкість 0,06 м/с; максимальне прискорення 0,35 м/с²; максимально-припустима помилка керування 0,05 мм; максимальне перерегулювання не більше 5%.

4. Мета дослідження Проектування системи автоматичного керування електроприводами подач фрезерного верстата

5. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (основні задачі дослідження)
Аналіз структури та режимів роботи фрезерного верстата і постановка задачі проектування.
Побудова динамічної моделі системи керування електроприводами подач фрезерного верстата.
Синтез і аналіз системи автоматичного керування електроприводами подач фрезерного верстата.
Розробка принципової схеми системи керування електроприводами фрезерного верстата.
Охорона праці.
Охорона навколишнього середовища.

6. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

Функціональна схема САУ електроприводами подач фрезерного верстата.

Принципова електрична схема системи керування електроприводами фрезерного верстата.

Динамічна структурна схема САУ електроприводами подач фрезерного верстата.

Синтез коригуючих пристроїв.

Розрахунок частотних характеристик та визначення запасів стійкості САУ.

Дослідження динаміки системи у програмі «Simulink».

Результати моделювання системи.

7. Консультанти розділів роботи

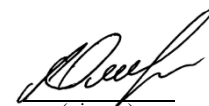
Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Охорона праці	Черно О.О., зав. каф. КСУ	24.10.24	04.11.24
Охорона навколишнього середовища	Черно О.О., зав. каф. КСУ	04.11.24	15.11.24

8. Дата видачі завдання: « 5 » вересня 2024р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проектування	Строк виконання	Примітка
1	Аналіз структури та режимів роботи фрезерного верстата і постановка завдання проектування	21.09.2024	виконано
2	Побудова динамічної моделі системи управління електроприводами подачі фрезерного верстата.	30.09.2024	виконано
3	Синтез і аналіз системи автоматичного управління електроприводами подачі фрезерного верстата.	12.10.2024	виконано
4	Розробка принципової схеми системи управління сервоприводами фрезерного верстата.	24.10.2024	виконано
5	Охорона праці	04.11.2024	виконано
6	Охорона навколишнього середовища	15.11.2024	виконано

Студент


(підпис)

Оглоблєв О. В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Черно О. О.
(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота викладена на 101 сторінках, та включає в себе: 26 рисунків, 8 таблиць та 25 найменування використаних джерел.

В дипломній роботі розроблено комп'ютеризовану систему керування електроприводами подач фрезерного верстата.

Під час розробки системи керування було розроблено функціональну схему комп'ютеризованої системи керування електроприводами подач фрезерного верстата; розроблено динамічну структурну схему комп'ютеризованої системи керування електроприводами фрезерного верстата; визначено структуру та параметри коригувальних пристроїв; розраховано перехідні процеси; визначено якість керування та запаси стійкості системи; розглянуто питання охорони праці під час роботи з вертикально-фрезерним верстатом в умовах цеху.

Ключові слова: фрезерний верстат, електродвигун, електропривод, автоматичне керування, коригуючі пристрої, моделювання.

ABSTRACT

The qualification work is set out on 101 pages, and includes: 26 figures, 8 tables and 25 references.

In the diploma work developed a computerized control system for electric drives of milling machine feeds.

During the development of the control system was developed a functional diagram of the computerized control system of electric drives of milling machine feeds; developed a dynamic block diagram of the computerized control system of electric drives of the milling machine; determined the structure and parameters of the corrective devices; calculated transients; determined the quality of control and stability reserves of the system; considered the issue of labor protection when working with a vertical milling machine in the shop.

Keywords: milling machine, electric motor, electric drive, automatic control, corrective devices, modeling.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ	8
ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА І ПОСТАНОВКА ЗАВДАННЯ ПРОЕКТУВАННЯ	10
1.1. Особливості фрезерних верстатів.....	10
1.2. Загальна характеристика вертикально-фрезерного верстата 65А60Ф1	14
1.3. Програмне керування верстатами з ЧПУ.....	22
1.3.1. Класифікація систем програмного керування.....	24
1.3.2. Принципи керування в електроприводі.....	32
1.4. Мета задачі проектування.....	37
РОЗДІЛ 2. ПОБУДОВА ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОДАЧ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА	39
2.1. Розробка функціональної схеми системи автоматичного керування електроприводами подач фрезерного верстата	39
2.2. Розробка динамічної структурної схеми системи керування електроприводами подачі верстата	41
2.3. Визначення динамічних параметрів системи керування електроприводами подачі верстата	43
РОЗДІЛ 3. СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОДАЧ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА	47
3.1. Визначення бажаної передавальної функції системи автоматичного керування	47
3.2. Визначення передавальних функцій коригуючих пристроїв.....	52
3.3. Визначення дискретних передавальних функцій коригуючих пристроїв	54
3.4. Розрахунок частотних характеристик і визначення запасів стійкості системи керування.....	55
3.5. Моделювання динаміки системи управління і визначення показників якості керування	60

РОЗДІЛ 4. РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ СХЕМИ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА.....	65
4.1. Вибір привода для керування електродвигунами постійного струму	65
4.2. Вибір промислового контролера	68
4.3. Вибір датчиків переміщення.....	69
4.4. Розробка принципової електричної схеми системи керування електроприводами подач фрезерного верстата	71
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ.....	73
5.1. Аналіз небезпек і шкідливих для здоров'я людини факторів, характерних для робіт, пов'язаних з налагодженням і обслуговуванням електроприводів фрезерного верстата.....	76
5.2. Розробка заходів щодо підвищення безпечності робіт, пов'язаних з експлуатацією й налагодженням автоматизованої системи керування електроприводами подач фрезерного верстата	83
5.3. Розрахунок загального освітлення цеху, в якому експлуатується фрезерний верстат	87
РОЗДІЛ 6. ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА.....	92
6.1. Загальні положення	92
6.2. Аналіз джерел забруднення	94
6.3. Методи боротьби з забрудненнями	95
ВИСНОВКИ	97
ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ	99

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ, УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, ТЕРМІНІВ

Зенкер – круглий багатолезовий або зубчатий ріжучий пристрій, який використовується для кінцевої обробки круглих отворів, що просвердлені в будь-яких твердих матеріалах;

Шпиндель – вал металорізних та деревообробних верстатів, з'єднаний з приводом, в якому є пристрої для закріплення заготовок або різального інструмента;

Бабка - назва вузла, використовуваного в багатьох видах металорізальних або деревообробних верстатів. Бабка призначається для точного підтримки і переміщення оброблюваної на верстаті деталі щодо різального інструменту або обробної поверхні. Розташовується і кріпиться на станині;

ЕОМ – електронна обчислювальна машина;

ГВМ – гнучкий виробничий модуль;

ІВС – інформаційно-вимірювальна система;

ЕП – електропривод;

ВПД – система верстат-пристрій-інструмент-деталь;

ЧПК – числове програмне керування;

СЧПК - система числового програмного керування;

САК – система автоматичного керування.

УЦІ – устрійство цифрової індикації

ВСТУП

Протягом останнього часу машинобудівна галузь збагатилася новими особливостями, такими як універсальність та ефективність, високий коефіцієнт автоматизації технологічних операцій, мінімальна енерго та сировинна затратність. Можливість мобільності устаткування для виробництва різної продукції здійснюється за рахунок робототехнічних комплексів з мікропроцесорною або комп'ютерною технікою, гнучких автоматизованих комплексів і універсальних виробничих систем з багатофункціональними верстатами, автоматичною зміною інструменту і деталей. З урахуванням довготривалих перспектив розвитку машинобудування виділено такі найважливіші шляхи вдосконалення металорізальних верстатів: зростання потужності верстатів за рахунок інтенсифікації методів обробки та скорочення непродуктивних витрат часу; підвищення ступеня механізації та автоматизації металорізальних верстатів завдяки значному збільшенню номенклатури автоматичних і напівавтоматичних верстатів та скороченню номенклатури верстатів з ручним керуванням.

Автоматизовані електроприводи в поєднанні з механічними, гідравлічними та іншими системами гарантують високу продуктивність і якість сучасних металообробних верстатів і є базою для комплексної автоматизації технологічних процесів в машинобудуванні.

Ця дипломна робота спрямована на дослідження та розробку мікропроцесорного керування електроприводами фрезерних верстатів. Перехід фрезерних верстатів до верстатів з ЧПК і мікропроцесорним керуванням направлений на вдосконалення технологічного процесу, отримання переваг в строках і якості виготовлення продукції, зменшення потреби в необхідності здійснення постійного нагляду з боку людини, а тому створення і реалізація таких систем є нагальним завданням.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ СТРУКТУРИ ТА РЕЖИМІВ РОБОТИ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ПРОЕКТУВАННЯ

1.1. Особливості фрезерних верстатів

Фрезерними називають верстати, які застосовують при фрезеруванні плоских, фасонних і гвинтових поверхонь, нарізуванні шліців, різьби та зубів зубчастих коліс, утворенні гвинтових канавок тощо.

Металорізальні верстати фрезерної групи поширені в цехах машино- і приладобудівних заводів і посідають друге місце, а перше належить верстатам токарної групи. Фрезерні верстати застосовують для виготовлення деталей машин з плоскими поверхнями, пазами та виступами, різьбовими та фасонними поверхнями, шліцами, фасонними канавками тощо. Залежно від різального фрезерного інструмента оброблювані поверхні набувають плоскої, фасонної та інших форм, а процес оброблення називають відповідно фрезеруванням площин, фрезеруванням канавок, фрезеруванням шліців і прорізу, фрезеруванням фасонних поверхонь тощо. Процес відокремлення готової деталі від заготовки називається відрізуванням.

Класифікують верстати фрезерної групи залежно від виконуваної роботи, положення осі шпинделя, конструктивної особливості стола тощо та поділяють на такі типи:

- горизонтально-фрезерні;
- вертикально-фрезерні;
- універсально-фрезерні;
- поздовжньо-фрезерні;
- агрегатно-фрезерні;
- копіювально-фрезерні;
- карусельно-фрезерні;
- спеціальні фрезерні;

- різьбофрезерні;
- зубофрезерні [4].

У вертикально – фрезерних верстатах з хрестовим столом (рис.1.1. а) стіл переміщується в поздовжньому (вісь X) і поперечному (вісь Y) горизонтальних напрямках, а фрезерна бабка – в вертикальному напрямку (вісь Z).

У консольно-фрезерних верстатах стіл переміщується по трьом координатним вісям (X , Y , Z), а бабка нерухома. (рис. 1.1.б)

У поздовжньо – фрезерних верстатах з рухомою поперечною (рис.1.1. в) стіл переміщується по осі X , шпиндельна бабка – по осі Y . А поперечна по осі Z .

У поздовжньо – фрезерних верстатах з нерухомою поперечною (рис. 1.1. г) стіл переміщується по осі X , а шпиндельна бабка по осях Y і Z . У широко інструментальних універсальних фрезерних верстатах стіл переміщується по осях X і Y , а шпиндельна бабка – по осі Z .(рис. 1.1. д) [4].

Усі фрезерні верстати, незалежно від конструкції, призначені для фрезерування багатолезовим інструментом — фрезою. Працюють вони за одним принципом — фреза виконує рух різання (обертальний), а деталь поступально рухається вперед, перпендикулярно до осі обертання, виконуючи рух подачі.

Фрезерні верстати бувають різних конструкцій, які, залежно від виконуваної на них роботи й конструктивних особливостей, поділяють на дві основні групи:

- верстати загального призначення;
- спеціальні та вузькоспеціалізовані верстати.

До верстатів універсального призначення відносяться: вертикально- і горизонтально-фрезерні верстати зі консоллю, вертикально- і поздовжньо-фрезерні верстати без консолі.

Найбільш поширеними типами спеціальних фрезерних верстатів є шпонкові, копіювально-фрезерні, барабанно-фрезерні, кругло-фрезерні та деякі інші типи верстатів.

За ступенем спеціалізації металорізальні верстати поділяють на універсальні, спеціалізовані та спеціальні.

На універсальних верстатах можна обробляти деталі найрізноманітніших назв і розмірів.

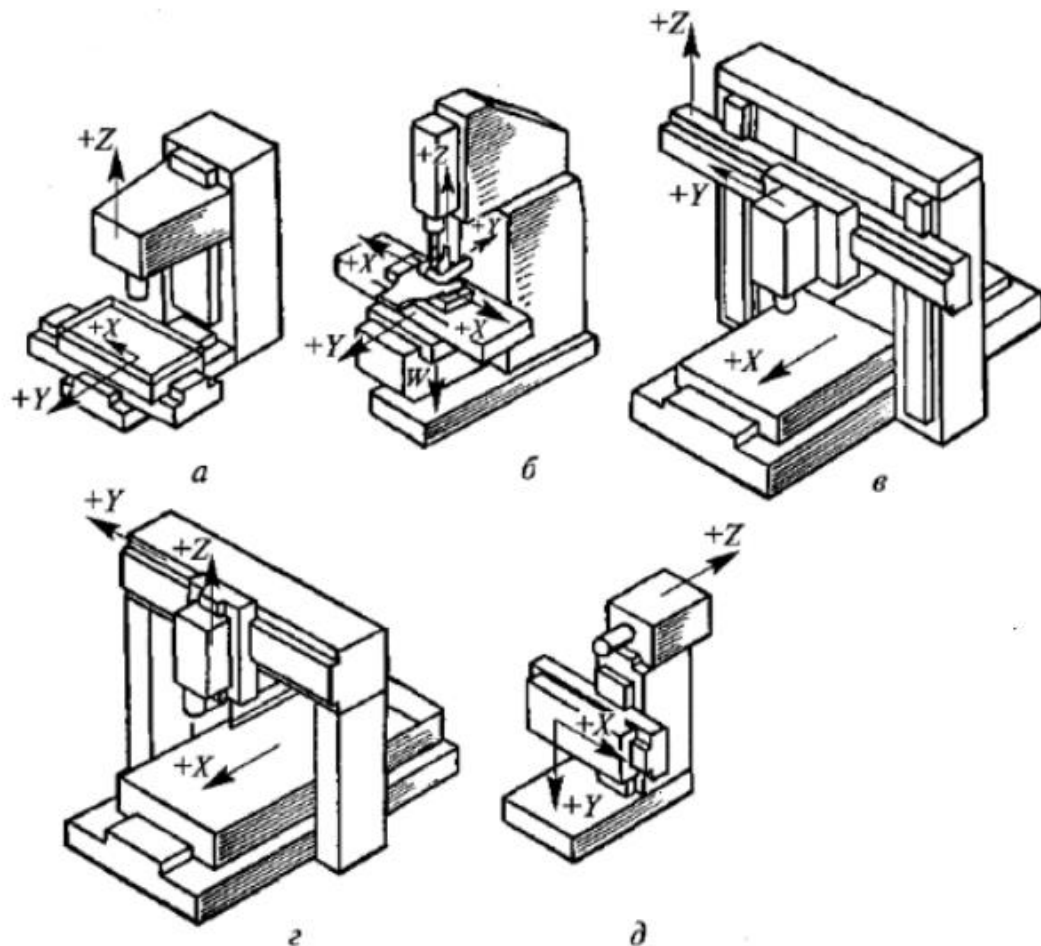


Рис.1.1. Компонування фрезерних верстатів з позначенням осей координат:

а – вертикально – фрезерні з хрестовим столом; б - консольно-фрезерний;
в - поздовжньо – фрезерні з рухомою поперечиною; г – поздовжньо – фрезерні з нерухомою поперечиною; д - широко універсальні інструменти.

Спеціалізовані верстати призначені для обробки деталей різних розмірів, але лише однієї назви. Спеціальні верстати призначені лише для обробки однієї певної деталі.

За ступенем точності розрізняють верстати нормальної точності та високоточні (прецизійні). За масою розрізняють верстати нормальної маси (до 10 т), важкі (10...100 т) і особливо важкі (понад 100 т).

Горизонтально-фрезерні верстати характеризуються горизонтальним розташуванням шпинделя та наявністю у верстата трьох взаємно перпендикулярних рухів — поздовжнього, поперечного та вертикального.

Останнім часом з метою реалізації переваг спеціалізованих і вузькоспеціалізованих верстатів в умовах виробництва, пов'язаних з частою зміною об'єктів обробки, застосовуються фрезерні верстати, що складаються з окремих вузлів (агрегатів): станин, столів, моторних головок і т. п.. Такі верстати називаються агрегатними верстатами.

Копіювальні фрезерні верстати характеризуються наявністю шаблону (еталона), форма якого копіюється ріжучим інструментом (фрезою). Цим визначається принцип дії копіювально-фрезерних верстатів. Вони мають у своєму розпорядженні копіювальний пристрій.

Типові габарити верстата залежать від площі робочої поверхні столу або розмірів оброблюваного об'єкта. За таблицею 1.1, розрізняють п'ять градацій верстатів:

Таблиця 1.1

Градації верстатів залежно від розмірів

Розмір/гра дація	0	1	2	3	4
Площа стола, мм	200× 800	200× 1000	320× 1250	400× 1600	500× 2000

В останні роки все більшої популярності набувають верстати з програмним керуванням. При програмному керуванні верстат працює в

автоматичному (або напівавтоматичному) режимі, а керування заготовками відбувається в чітко визначеній послідовності за заздалегідь складеною програмою, без втручання оператора.

1.2. Загальна характеристика вертикально-фрезерного верстата 65А60Ф1

Вертикально-фрезерний верстат моделі 65А60Ф1 з хрестовим столом та УЦІ призначений для швидкісного фрезерування великогабаритних деталей в основному торцевими фрезами в умовах індивідуального та серійного виробництва.

Верстат моделі 65А60Ф1 безконсольного типу призначений для високопродуктивного фрезерування деталей із чавуну, сталі та кольорових металів. На верстаті виконується обробка не тільки сирих, а й загартованих деталей із застосуванням сучасного інструменту з ножами з ельбору, надтвердих композиційних матеріалів із металокераміки. На верстаті проводиться фрезерування, свердління, зенкерування, розгортання та розточування [3].

Клас точності верстата - Н за ГОСТ 8-82Е.

Принцип роботи фрезерного верстата 65А60Ф1

Деталь, що обробляється, закріплюється на столі верстата. У шпинделі укріплюється фреза. Налаштування на розмір за висотою здійснюється переміщенням шпиндельної бабки. Остаточне точне налаштування на розмір здійснюється переміщенням гільзи шпинделя. Затискач поперечних санок, шпиндельної бабки та гільзи виробляється автоматично, в момент пуску верстата від гідравлічної системи. На верстаті можлива робота з напівавтоматичного циклу: швидке підведення, робоча подача, швидке відведення у вихідне положення та «стоп». При зворотному відведенні столу з виробом для запобігання обробленої поверхні від пошкодження фрезою остання разом із гільзою шпинделя піднімається на 5 мм.

Компонування та особливості конструкції верстата

До специфічних особливостей конструкції верстата моделі 65А60Ф1, що робить його особливо придатним для швидкісних методів обробки, відносяться:

- значна потужність та достатня швидкохідність, як приводу руху різання, так і приводу подачі;
- масивність станини, стійки та столу;
- відсутність консолі;
- застосування черв'ячно-рейкового приводу для поздовжньої подачі столу, що має високу жорсткість;
- наявність важкого маховика на шпинделі фрезерної бабки.

На верстаті змонтований хрестовий стіл та стійка, що несе шпиндельну бабку.

Напрявні по всіх координатах комбіновані: ковзання - фторопласт за загартованим чавуном, кочення - роликові опори кочення по сталевих загартованих планках.

Направляючі санчат, станини та стійки:

- основний напрямок – фторопласт
- бічне напрямок – блоки кочення за загартованим планка.

Робоче місце верстата має огорожу для захисту оператора.

Наявність маховичків сервоприводу у верстаті 65А60Ф1 дозволяє здійснювати легке керування всіма координатами при налаштуванні та обробці з розмітки деталей масою 4000 кг відповідно.

Між столом і стійкою розташований вібротранспортер для механічного прибирання стружки, який транспортує стружку зі столу рухомий ящик, встановлений на баку СОЖ.

Усі верстати мають:

- охолодження підшипників шпинделя
- охолодження різального інструменту емульсією

- захист напрямних від попадання стружки та СОЖ
- централізовану систему змащення вузлів.
- Загальні характеристики верстата наведені у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2

Загальні характеристики верстата 65A60Ф1

Розміри робочої поверхні стола, мм		2000×630
Гранична відстань від торця шпинделя до робочої поверхні стола, мм		125..900
Найбільше переміщення, мм	в подовжньому напрямі, вісь X	1600
	в поперечному напрямі, вісь Y	630
	у вертикальному напрямі, вісь Z	775
Конус кінця шпинделя		50
Межі частоти обертання шпинделя, хв^{-1}		5..2000
Номінальна потужність електродвигуна головного приводу, кВт		20
Найбільша вага деталі на столі верстата (з пристосуванням), кг		3000
Габаритні розміри верстата разом з окремо розташованими агрегатами і електроустаткуванням, мм, не більше	довжина	6185
	ширина	3825
	висота	4100
Маса верстата (разом з окремо розташованими агрегатами і електроустаткуванням) , кг		16130

Загальний вид безконсольно-фрезерного верстата 65A60Ф1 представлений на рис. 1.2.



Рис. 1.2. – Фото фрезерного верстата 65А60Ф1

На рисунку 1.3. наведена схема, як розташовуються компоненти верстата [3].

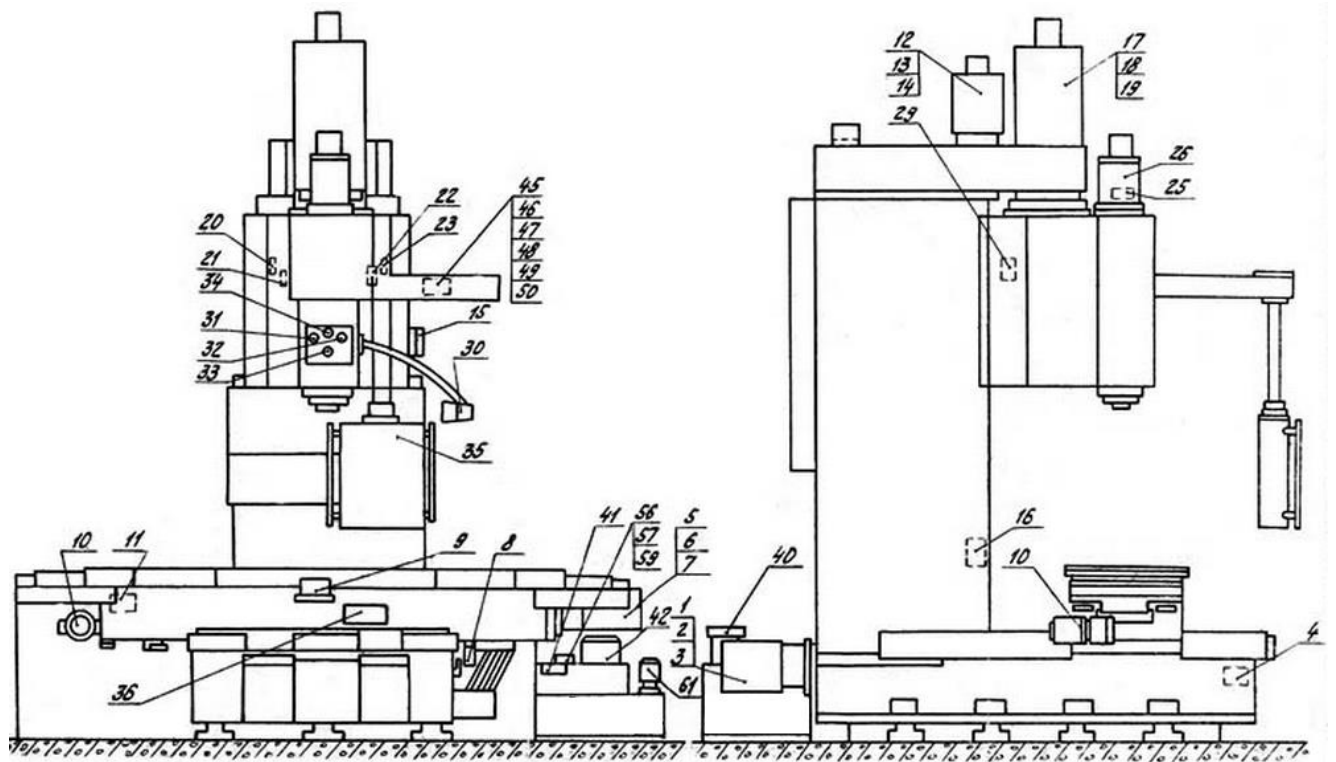


Рис. 1.3. Схема розміщення компонентів верстата 65A60Φ1

- 1 – електродвигун для пересування салазок;
- 2 – тахогенератор електродвигуна приводу переміщення салазок;
- 3 – термодатчик, електромагнітне гальмо;
- 4 – датчик лічильника руху візка;
- 5 – електродвигун привода столу, змонтований на салазках;
- 6 – тахогенератор електродвигуна для пересування столу;
- 7 – датчик температури, електромагнітне гальмо;
- 8, 9 – блоки мікровимикачів рейки;
- 10 – електродвигун приводу вібраційного транспортера;
- 11 – датчик лічильника руху стола;
- 12 – електродвигун для пересування шпиндельної бабки;
- 13 – тахогенератор електродвигуна приводу пересування шпиндельної бабки;
- 14 – датчик температури, електромагнітне гальмо;
- 15 – блок мікроперемикачів шпиндельної бабки;
- 16 – датчик лічильника руху бабки;
- 17 – електродвигун приводу шпинделя;

- 18 – тахогенератор шпиндельного електродвигуна;
- 19 – електродвигун для вентилятора;
- 20 – 23 – неконтактні кінцеві вимикачі КПП;
- 25 – кінцевий вимикач для перевірки стану затиску інструменту;
- 26 – електродвигун для закріплення та розкріплення інструменту;
- 29 – електромагніт гідравлічного регулювання подачі мастила;
- 30 – світильник для підсвічування зони різання;
- 31 – кнопка "Затиск" на панелі управління затискачем інструмента;
- 32 – кнопка "Розтиск" на панелі управління затискачем інструмента;
- 33 – кнопка "Стоп Затиск-Розтиск" на панелі управління затискним модулем інструмента;
- 34 – індикатор "Затиск-Розтиск" на панелі управління затискним модулем інструмента;
- 35 – підвісний пульт управління з цифровим дисплеєм;
- 36 – коробка тахогенератора;
- 40 – електродвигун змащення станції гідросистеми;
- 41 – реле тиску перевірки присутності мастила;
- 42 – електродвигун гідростанції;
- 45 – 48 – редукторні блоки;
- 49 – розтиск бабки;
- 50 – перевірка, регулятор розтиску бабки;
- 56 – реле перевірки низького тиску в гідроаккумуляторі;
- 57 – реле перевірки високого тиску в гідроаккумуляторі;
- 59 – реле перевірки низького тиску;
- 61 – електродвигун приводу помпи системи охолодження.

Основні вузли та блоки верстата описані нижче.

Привод обертання шпинделя. Використовується для обертання інструменту. Діапазон частот обертання шпинделя 5...2000 об/хв. Діапазон частоти обертання приводного двигуна становить 50..2500 об/хв. Для керування обертанням двигуна застосовується модуль, який включає силові вимикачі і схему керування. Керування досягається шляхом регулюванням

струму якоря і струму збудження. Швидкість руху задається тахогенератором. Контролер приводу керування забезпечує також захист двигуна від короткого замикання, перевантаження і обриву обмотки збудження. Двигун охолоджується за допомогою окремого вентилятора.

Привод переміщення стола. Призначений для здійснення поступального пересування столу в горизонтальному напрямку (координата x). Діапазон подач 2...6000 мм/хв. Швидкість швидкого та повільного руху складає 10000 мм/хв та 2 мм/хв відповідно. Частота і обертання електродвигунів контролюється зміною напруги на якорі в межах від 0,2 до 600 об/хв за допомогою блоку, що складається з силових вимикачів і схем керування. Під час керування проводиться замірювання швидкості обертання двигуна ω_x за допомогою тахогенератора, а використання безконтактного сельсина маємо змогу дізнатись - координати переміщення столу x . Контролер приводу також передбачає захист двигуна від перевантаження і короткого замикання. Для гальмування двигуна застосовуються електродинамічні та електромагнітні гальма. Кінцеві вимикачі обмежують рух столу.

Привод переміщення каретки. Привід для переміщення каретки. Каретка повинна забезпечувати поступальні рухи в горизонтальному напрямку (координата y). Керування аналогічно керуванню переміщенням столу.

Привод переміщення бабки. Призначений для здійснення поступального пересування шпіндельної бабки у вертикальному напрямку (координата z). Керування схоже на керування рухом столу і каретки.

Для приводу столу, кареток та підголовника використовуються ті ж самі двигуни постійного струму з постійними магнітами ПБВ-132ЛГ. Характеристики електродвигуна наведені в таблиці 1.3.

У черв'ячних передачах приводів переміщень застосовуються сталеві шпінделі діаметром $d_{гв} = 0,08$ м з кроком $h_{гв} = 0,01$ м.

Коробка швидкостей шпинделя. Призначена для ступінчастого регулювання частоти обертання інструменту. Містить 2 редуктори. 4

взаємних розташування блоків забезпечує наступні частоти обертання шпинделя: 5..160 об/хв; 12,5..400 об/хв; 25..800 об/хв; 63..2000 об/хв. Зміна швидкості досягається за допомогою електромагнітів від гідророзподільників. Кінцеві положення шестерень регулюються безконтактними кінцевими вимикачами. Якщо блоки не переміщуються в кінцеві позиції впродовж 3-х секунд, вони на короткий час повертаються в попереднє положення, а потім знову переміщуються відповідно до обраної секції.

Таблиця 1.3

Характеристики електродвигуна ПБВ-132LG

Параметр, одиниця виміру	Позначення	Величина
Номінальна потужність, кВт	P_n	5,5
Номінальна частота обертання, об/хв	n_n	1000
Номінальний момент, Н·м	M_n	52,9
Номінальний струм якоря, А	I_n	60,7
Номінальна напруга, В	U_n	110
Коефіцієнт корисної дії	η_d	82,9
Електромагнітна постійна часу, мс	T_e	6.58
Електромеханічна постійна часу, мс	T_m	28.9
Момент інерції ротора, кг·м ²	J_d	0.2940

Затискний пристрій для інструменту. Призначений для кріплення інструменту на бабці. Блокування і розблокування інструменту виконується асинхронним двигуном. Електродвигун вимикається при блокуванні інструменту з включеним кінцевим вимикачем і при відпусканні інструменту після закінчення часу, необхідного для розблокування.

Гідравлічна станція. Служить для гідравлічного розвантаження бабки, для притискання бабки до направляючих при переміщенні столу або супорта під час обробки заготовки, для з'єднання бабки з зубчастими колесами коробки швидкостей. Містить насос (з окремим вентилятором) та

гідроаккумулятор. За допомогою гідроаккумулятора в системі зберігається постійний тиск 40...50 атм, необхідний для штатної роботи гідравлічного обладнання машини. Тиск гідроаккумулятора регулюється реле мінімального і максимального тиску. До складу станції також входить реле тиску в системі гідравлічної розвантажувальної головки, гідронасосів та гідроаккумулятора, а також датчик засмічення масляного фільтра.

Мастильна станція. Призначена для забезпечення надходження мастила в вузли тертя. Масляний насос, який містить асинхронний двигун, працює безупинно впродовж усього терміну експлуатації машини. Тиск в системі змащення регулюється реле тиску. При переміщенні шпindel'ної бабки відбувається змащування її направляючих.

Охолоджувальна станція. Використовується для примусового охолодження верстата. Вмикання та вимикання двигуна насоса охолодження відбувається вручну перемикачем на панелі індикації та вводу.

Транспортер. Використовується для очищення стружки. Ручне керування двигуном транспортера відбувається за допомогою перемикача на блоці індикації та введення.

1.3. Програмне керування верстатами з ЧПК

Автоматизація повсюдно вважається головним, найбільш перспективним напрямком в розвитку промислового виробництва. Завдяки звільненню людини від безпосередньої участі у виробничих процесах, а також високій концентрації основних операцій значно поліпшуються умови праці і економічні показники виробництва

Числове програмне керування (ЧПК) – керування автоматом за заданою робочою програмою, розробленою технологом-програмістом і записаною у вигляді набору чисел на програмоносієві. Програмоносії розміщується у пристрої ЧПК – електронно-механічному пристрої, який

містить мікропроцесорні вузли, призначені для зчитування робочої програми з програмоносія, зберігання її в електронному запам'ятовуючому пристрої і видачі послідовності команд програми на виконавчий пристрій автомата [5].

Робочою програмою в цьому випадку називається набір команд, почергове виконання яких забезпечує задану процедуру обробки деталі на станку.

У випадку, якщо роботою станка з ЧПК або оброблювального центру управляє ЕОМ, робоча програма зберігається безпосередньо в пам'яті цієї ЕОМ.

В даний час намітилася тенденція до широкого використання методів числового програмного керування (ЧПК) практично у всіх видах механообробки і стадіях виробництва. Висока продуктивність устаткування з ЧПК, висока конструктивна складність оброблюваних деталей, легка переналагоджуваність верстата під широку номенклатуру деталей, можливість майже повної автоматизації технологічного процесу роблять метод ЧПК незамінним у виробництвах, для яких характерна висока складність, швидка змінюваність і стислі терміни освоєння виробів. Саме тому в гнучких автоматизованих виробництвах на нижньому рівні ієрархії стоїть гнучкий виробничий модуль (ГВМ), який визначений як технологічне устаткування з ЧПК, оснащене засобами автоматизації допоміжних операцій (роботами) і засобами видалення відходів виробництва.

Числове програмне керування (ЧПК) стало універсальним засобом керування станками. Його застосовують для всіх груп і типів станків. Застосування станків з ЧПК дозволило якісно змінити металообробку, дістати більший економічний ефект. Обробка на станках з ЧПК характеризується:

- ростом виробництва праці оператора-станочника завдяки скороченню основного і додаткового часу (переналадки);
- можливістю застосування багатостаночного обслуговування;
- підвищеною точністю;

- зниженням затрат на спеціальне пристосування; скороченням або повною ліквідацією розміточних і слюсарно-підгоночних робіт.

Велика перевага обробки на станках з ЧПК полягає також в тому, що значно зменшується доля важкої ручної праці робітників, зменшується необхідність в кваліфікованих станочниках-універсалах, змінюється склад робітників металооброблюючих цехів.

Застосування ЧПК не тільки змінило характер організації виробництва в металооброблюючих цехах, але й корінним чином вплинуло на конструкцію самих станків.

1.3.1. Класифікація систем програмного керування

Система числового програмного керування (СЧПК) – це комплекс спеціальних пристроїв, способів і методів, необхідних для втілення числового програмного керування. Система ЧПК характеризується, в основному, програмуванням циклів, методами обробки і траєкторіями руху робочих столів верстата. При цьому вся потрібна інформація кодується у вигляді послідовності літер і цифр (алфавітно-цифровий код) на носії програмного забезпечення.

Системи з ЧПК класифікуються за трьома наступними ознаками:

- кількість інформаційних потоків;
- вишуканість та функціональність;
- тип руху робочих органів верстата, що задається геометричною інформацією, яка міститься в програмі.

За ступенем досконалості і функціональності системи числового програмного керування можна розділити на наступні типи:

- HNC (Hand NC) – тип системи ЧПК з ручним налаштуванням програми для дистанційного керування інструментом (за допомогою кнопок, перемикачів і т.п.). На сьогоднішній день є різні типи систем HNC, такі як TNC (Total NC), що включає в себе зовнішню пам'ять на гнучких дисках (для зберігання керуючих програм) і дисплеї для організації зв'язку між

операторами і системою ЧПК, і VNC (Voice NC), в якому керуюча інформація вводиться напряду голосом і відтворюється на екрані, що дозволяє візуально контролювати правильність вводу інформації;

- NC (Numerical control) – числове програмне керування виконанням обробки на верстаті за програмою, визначеною в алфавітно-цифровим кодом. Ці системи базуються на «жорсткій логіці». Програма зазвичай вводиться з перфострічки;

- CNC (Computer NC) – відокремлена система ЧПК з комп'ютером (як правило, міні- або мікрокомп'ютером) або процесором у складі верстата;

- DNC (Direct NC) – система керування групою верстатів з комп'ютера який запам'ятовує і поширює програми відповідно до вимог пристроїв керування верстатом (NC, SNC, пристрої ЧПК, встановлені на верстатах).

- SNC (Speicher NC) або MNC (Memory NC) – це система ЧПК з пам'яттю для запам'ятовування повної програми керування;

На фрезерних верстатах використовуються два типи систем числового програмного керування: розімкнуті (без зворотного зв'язку) і замкнуті (зі зворотним зв'язком) [6].

В розімкнутих системах (рис. 1.4) запрограмовані інструкції подаються до блоку керування через пристрій введення даних. Потім блок керування перетворює ці інструкції на електричні імпульси (сигнали) і відправляє їх в сервопідсилювач для пуску сервомоторів.

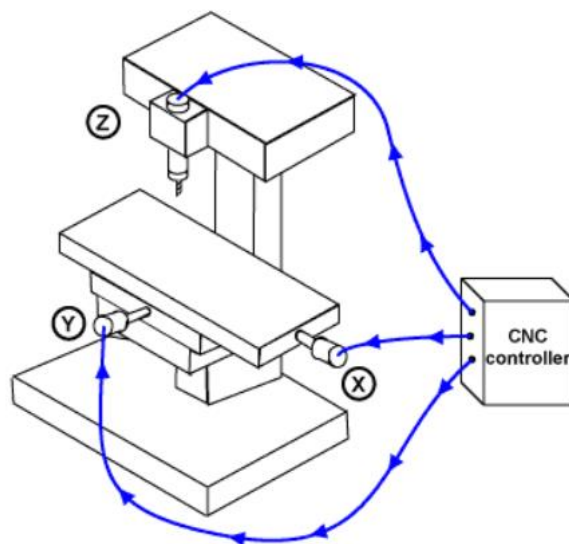


Рис. 1.4 – Розімкнена система керування верстатом.

Основним недоліком ЧПК-верстатів з розімкнутою системою керування є відсутність системи зворотного зв'язку, яка б перевіряла точність і швидкість ріжучого інструменту. Якщо продуктивність системи залежить від навантаження, температури, вологості або змазки то фактична потужність може відрізнятись від необхідної.

ЧПК - верстати із замкнутим контуром (рис. 1.5) оснащені системою зворотного зв'язку для контролю фактичної продуктивності та виправлення розбіжностей із запрограмованими даними. Система зворотного зв'язку може бути або аналоговою, або цифровою. Аналогові системи вимірюють зміну фізичних змінних, таких як положення та швидкість, з точки зору рівнів напруги.

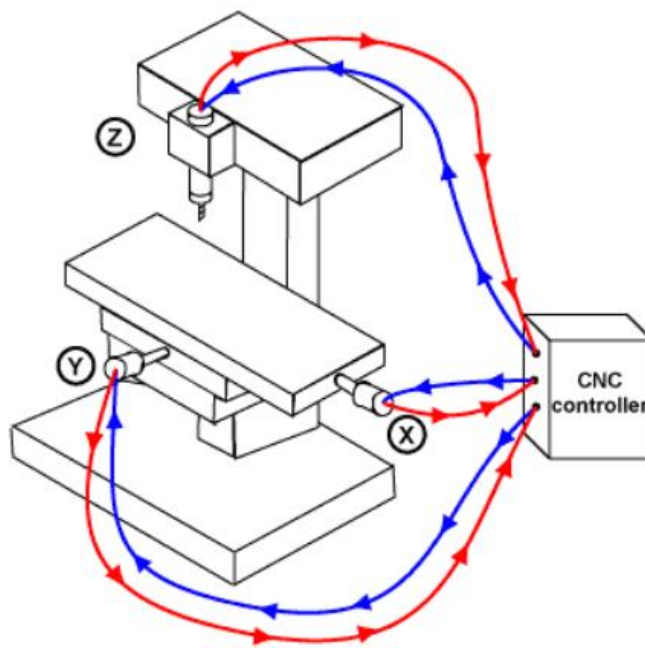


Рис. 1.5 – Замкнута система керування верстатом.

Цифрові системи контролюють зміни продуктивної потужності за допомогою електричних імпульсів. Різні датчики контролю положення використовуються для керування динамічними характеристиками та координатним положенням верстата шпинделя. Більшість систем ЧПК працюють від сервомеханізму, тобто за принципом замкнутого контуру.

Якщо виявляється невідповідність між тим, де має бути інструмент машини згідно з заданою інструкцією, і тим, де він насправді знаходиться, датчик-вимірювач подає сигнал приводного блоку для виправлення, переводячи пересувний компонент верстата в потрібне місце. Верстати із замкнутим контуром – дуже потужні та точні, тому що вони здатні контролювати робочі параметри за допомогою систем зворотного зв'язку та автоматично вносити потрібні виправлення у процес обробки в режимі реального часу.

Основна функція верстата з ЧПК полягає в тому, щоб забезпечити автоматичне та точне керування рухів його елементів, таких як платформа, шпиндель тощо. Привідна система складається з приводних двигунів та кульково-гвинтових передач. Блок керування посиляє інтенсивні керуючі сигнали для активації приводних двигунів, які, у свою чергу, обертають кульково-гвинтові передачі, щоб встановити платформу верстата у потрібне положення або викликати обертання шпинделя.

По типу привода верстати з ЧПК бувають таких типів:

- електричні,
- гідравлічні,
- пневматичні.

Гідравлічні приводи мають велику габаритну потужність і забезпечують плавний та надточний рух ріжучого інструменту. Але двигуни з гідравлічним приводом складно обслуговувати, і вони великі за об'ємом. Як правило, такі двигуни використовують гідравлічне масло на нафтовій основі, яке може займатися при високих робочих температурах. Також гідравлічні приводи потребують спеціальної обробки для захисту від корозії.

Електричний привід є серводвигуном постійного або змінного струму. Такі двигуни дуже малі та прості в керуванні.

Пневматичні приводи використовують повітря як робочу речовину, яка є загальнодоступною і є пожежобезпечною. Пневматичні приводи прості за конструкцією та відносно недорогі. Однак ці приводи малопотужні, досить шумні та мають меншу точність позиціонування порівняно з іншими типами приводів.

Залежно від виду руху виконавчих органів верстата, який обумовлюється геометричною інформацією в програмі, системи ЧПК розділяють на комбіновані, централізовані, позиційні і контурні системи.

Система позиціонування з ЧПК - це система, яка здійснює позиціонування заготовки верстата в положенні, визначеному програмою керування верстатом, переважно без будь-якої обробки під час переміщення робочого механізму верстата. Ці системи використовуються для керування верстатами групи свердлильно-розточувальних верстатів.

Контурна система ЧПК - це система, яка виконує автоматичне переміщення робочого механізму верстата по маршруту з заданою контурною швидкістю. На сьогодні ці системи є одними з найпоширеніших і служать для управління токарними, фрезерними та іншими верстатами для обробки складнопрофільних деталей.

Комбінована система ЧПК включає в себе системи контурної обробки і розташування і в основному застосовуються для керування багатозмінними верстатами (оброблювальними центрами).

У узагальненому виді найбільш розповсюджені системи ЧПК типу CNC мають принципову схему, зображену на рис. 1.6.

Основу системи становить мікро-ЕОМ, запрограмована на виконання функцій ЧПК верстатом. Особливістю таких систем керування є їхня структура, що відповідає структурі звичайної ЕОМ [7].

У системах класу CNC можна змінювати та коригувати в період експлуатації (а не тільки в період проектування та виготовлення системи) як програму обробки деталі, так і програми функціонування самої системи з метою максимального врахування особливостей даного верстата.

Кожна з функцій забезпечується своїм комплексом підпрограм, а не спеціальними схемами, як у системах класу NC. Підпрограми пов'язуються загальною координуючою програмою-диспетчером, що здійснює гнучку взаємодію всіх блоків системи. Тобто система будується програмним чи програмно-апаратним методом.

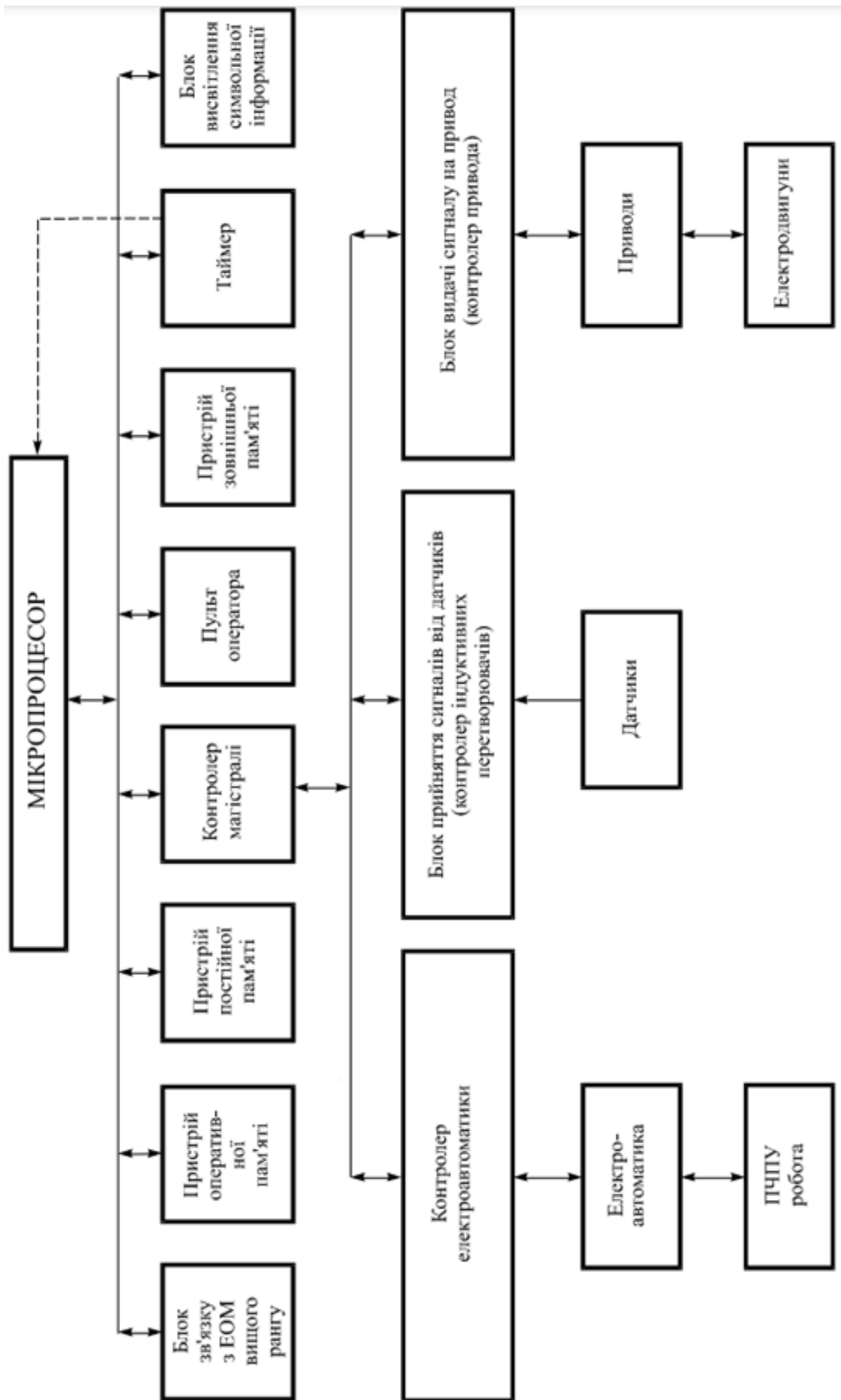


Рис. 1.6. Блок-схема системи ЧПУ типу CNC

Переваги програмного методу:

- універсальність ЧПК. Одну й ту ж саму систему після перепрограмування можна використовувати для верстатів іншого класу або взагалі іншого обладнання (ковальсько-пресового, ливарного та ін.)
- гнучкість ЧПК. Будь-яка функція може бути змінена, скоригована, доповнена залежно від умов обробки.

Однією з важливих характеристик системи ЧПК класу CNC є число керованих координат [7]. У технічних характеристиках систем завжди вказується два параметри: число керованих координат та кількість одночасно керованих координат. Це означає, що система ЧПК може забезпечувати керування декількома виконавчими органами, кількість яких може сягати 10. Залежно від складності пристрою система може видавати керуючі сигнали одночасно на кілька виконавчих механізмів, забезпечуючи узгоджене переміщення по двох, трьох і більшій кількості координат.

За кількістю керованих координат системи ЧПК умовно поділяються на три групи:

- з числом координат не більше трьох;
- з числом координат від 4 до 6;
- з числом координат понад 6.

У запам'ятовуючий пристрій системи ЧПК програма може бути введена повністю не тільки з перфострічки, з дискети або по каналу зовнішнього зв'язку, але й окремими кадрами — вручну з пульта. У кадрах програми можуть записуватися не тільки команди на завдання окремих рухів робочих органів, а й команди, що задають цілі групи рухів, які називаються постійними циклами. Ряд систем має бібліотеку типових програм. Це призводить до різкого зменшення кількості кадрів програми, скорочення термінів її підготовки та відповідного підвищення надійності роботи верстата.

Системи класу CNC дозволяють досить просто виконувати в режимі діалогу доопрацювання та налагодження програм та їх редагування,

використовуючи ручне введення інформації та виведення її на дисплей (на переносний графобудівник), а також отримати відредаговану та відпрацьовану програму на магнітному диску (дискеті), плівці і т. п. Крім того, по одній програмі можна працювати в різних масштабах, в режимі "матриця - пуансон", в режимі дзеркального відображення і т. д. У процесі роботи допускаються різні види корекцій.

Маючи порівняно низьку вартість, малі габарити і високу надійність, системи класу CNC дозволили закласти в систему керування нові властивості, які раніше не могли бути реалізовані. Так, багато ЧПК цього класу мають математичне забезпечення, за допомогою якого можна враховувати та автоматично коригувати постійні похибки верстата і цим впливати на сукупність причин, що визначають точність обробки (компенсація люфту або зони нечутливості приводів у напрямку переміщення по координатах та ін.). Використання систем контролю та діагностики підвищує надійність та працездатність верстатів з ЧПК класу CNC.

Наприклад, деякі ЧПК класу CNC мають спеціальні тест-програми для перевірки працездатності всіх структурних частин системи. Ці тест-програми відпрацьовуються при кожному включенні пристрою, і у разі справності всіх частин виникає сигнал готовності до роботи. У процесі роботи верстата та ЧПК тест-програми частинами відпрацьовуються у фоновому режимі, не заважаючи відпрацюванню основної програми. У разі появи несправності на табло світлової індикації виникає код, потім за допомогою коду по таблиці визначаються місце і причина несправності.

Крім того, система визначає помилки, пов'язані з неправильною експлуатацією пристрою або з перевищенням параметрів теплового режиму, що дозволяє знайти напругу для живлення та інші параметри.

Невід'ємною частиною сучасних ЧПК класу CNC є велика вбудована пам'ять, яка може бути використана як архів для програм. До системи може додаватися широкий набір периферійних засобів як традиційних (фотозчитувач, накопичувач на магнітній стрічці або гнучких дисках,

телетайп, перфоратор), так і спеціальних (наприклад, графобудівник, друкувальний пристрій, мікропроцесорні засоби діагностичного контролю, у тому числі і допускають зв'язок з дистанційним діагностичним центром).

Дуже важливим засобом оптимізації зв'язку процесорного ЧПК та верстата є введення в пам'ять параметрів чи констант верстата. За допомогою цих констант можуть бути автоматично враховані обмеження на зону обробки, задані вимоги до динаміки конкретних приводів, сформовані фазові траєкторії розгонів і гальмування, враховані конкретні особливості коробок швидкостей, подач приводів, скомпенсовані систематичні похибки цих передачі ін.

Реальне представлення ЧПК класу CNC високого рівня передбачає наявність двох пультів — панель оператора та верстатний пульт, суміщення блоків ЧПК з програмованим контролером, роздільного типу системи керування приводами подач (крокові двигуни) та шпинделя (аналоговий привід). Система відрізняється простим програмуванням і комфортом користувача, забезпечує всі види функцій сучасного ЧПК, посилену систему корекцій по компенсації люфту, помилок вимірювальної системи, помилок ходу гвинта, помилок програми, має набір стандартних циклів для програмування, універсальний інтерфейс і т.п.

1.1.1. Принципи керування в електроприводі.

Під керуванням в електроприводі слід розуміти таку організацію перетворення електричної енергії в механічну, при якій забезпечується необхідний закон зміни в часі регульованих координат і, отже, реалізується необхідний алгоритм функціонування електроприводу і обслуговується їм технологічної установки. Керування по основній регульованою координаті називається одновимірним, а за кількома - багатовимірним.

Об'єкти керування в електроприводі - це сукупність елементів, що входять в силовий канал електроприводу: електричний, електромеханічний,

механічний перетворювачі і робочий орган. Ці елементи можуть бути представлені моделями в змінних вхід-вихід або структурними схемами. Всі вхідні впливи можна розділити на дві групи: керуючі і впливи, закони зміни яких визначаються зовнішніми факторами (момент навантаження на валу (M_c), напруга мережі живлення (U_c) і т. п.). Процесом керування називається процес формування керуючих впливів на об'єкт керування для реалізації необхідного закону зміни вихідних регульованих координат, а пристроєм керування - сукупність технічних засобів, що забезпечують процес керування [8].

У загальному випадку пристрій керування забезпечує прийом команд (запуск, зупинка процесу керування та ін.) і уставок регульованих координат, званих далі задаючими впливами, від системи керування більш високого рівня і (або) від людини-оператора (рис. 1.7) і здійснює в відповідно до цих "вказівок" процес керування. Якщо всі функції керування виконуються без участі людини-оператора, керування називається автоматичним, а електропривод з таким керуючим пристроєм - автоматизованим.



Рис. 1.7 - Загальна структура системи керування електроприводом

Сукупність усіх елементів інформаційного каналу, що беруть участь в процесі керування, назовемо системою керування електроприводу (рис. 1.7).

Вона складається з пристрою керування, пристрої введення команд оператора, пристрої виведення інформації про стан приводу і технологічного процесу для контролю і прийняття оператором управлінських рішень, інформаційно-вимірювальної системи і схем сполучення (інтерфейсу) пристрої керування з вищепереліченими пристроями.

Інформаційно-вимірювальна система (ІВС) може включати в себе: датчики параметрів мережі (напруги, частоти і ін.); датчики електричних змінних всередині і на вихідних затискачах електричних перетворювачів (напруги, струму, потужності та ін.); датчики електричних і електромагнітних величин, що характеризують стан електромеханічного перетворювача (напруги, струму, потоку і т. д.); датчики механічних змінних на валу двигуна і робочого органу (швидкості, положення, прискорення, моменту, зусилля); датчики параметрів технологічного процесу

(температури, тиску, витрати і т. д.). Датчиками є пристрої, що забезпечують перетворення величин фізичних змінних в електричний сигнал. Ідеальний датчик забезпечує лінійність перетворення у всьому діапазоні вимірюваних змінних.

Отже, пристрій керування на основі інформації про значення задаючих впливів і інформації, що надходить з об'єкта керування через ІВС про фактичні значення координат, виробляє керуючі впливи на об'єкт керування. ІВС знаходиться на кордоні між силовим і інформаційним каналами електроприводу, тому вона, з одного боку, належить до системи керування, а з іншого, - до об'єкта керування. Класичне зображення електроприводу як системи, прийняте в теорії автоматичного управління показано на рис. 1.8.

Терміни "система керування електроприводом" і "система керування електроприводами" буде використовуватись для позначення систем керування більш високого рівня, що відносяться вже не до окремого електроприводу, а до технологічної установки в цілому. По відношенню до системи керування такої установки електропривод є підсистемою. Так, система керування металорізального верстата керує декількома підсистемами: приводом головного руху, подачі, допоміжним обладнанням (насосом для подачі в зону обробки охолоджуючої рідини, пристроями автоматичної зміни інструменту та ін.).



Рис. 1.8 – Электропривод как система.

У складі окремого електроприводу завжди можна виділити підсистеми керування нижчого рівня, наприклад підсистему керування тиристорного перетворювача, яка, в свою чергу, містить підсистеми ще більш низького рівня керування, наприклад підсистему керування тиристорного ключа (рис. 1.9).

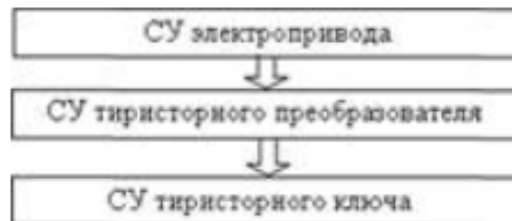


Рис. 1.9 – Ієрархія керування в електроприводі по системі "перетворювач - двигун"

Принцип організації багаторівневих ієрархічних систем керування ілюструє рис. 1.10. Всі системи нижчого рівня для системи керування верхнього рівня розглядаються як об'єкти керування третього рівня, які виробляють керуючі впливу для n підсистем (ПС) другого рівня, пристрій керування другого рівня - для do підсистем першого рівня і т. д. У кожній підсистемі можуть бути свої локальні ІВС. Деякі датчики (штрихові лінії на рис. 1.10) можуть використовуватися системами керування різних рівнів одночасно.

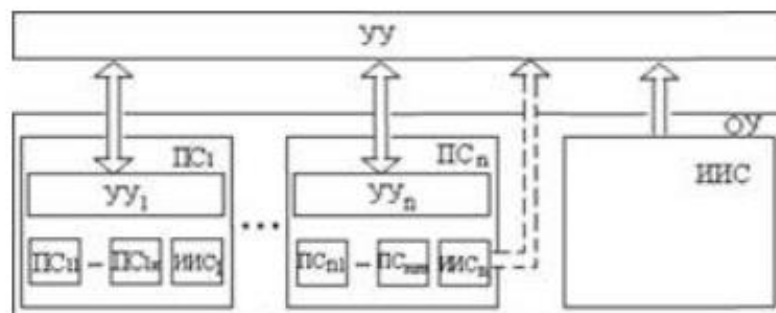


Рис. 1.10 – Принцип організації багаторівневих систем керування.

Електропривод як виріб завжди поставляється з вбудованим пристроєм керування, яке надає йому певні властивості. При цьому керування електроприводом може зводитися лише до формування в тій чи іншій формі задає впливу від системи верхнього рівня, наприклад уставки швидкості або положення. Решта операцій керування з відтворення заданого значення регульованої координати будуть виконуватися автоматично пристроєм керування електроприводу.

Залежно від кількості каналів передачі інформації між пристроєм керування і об'єктом керування все системи керування діляться на два великі класи: розімкнуті і замкнуті. У розімкнутих системах алгоритм керування реалізується керуючим пристроєм без наявності будь-якої інформації про поточний стан об'єкта керування, і існує тільки один канал передачі інформації - керуючих впливів від контрольних пристроїв до об'єкту керування. Таким чином, в розімкнутих системах відсутній контроль за фактичним зміною регульованих координат. Такі системи можна успішно застосовувати для регулювання швидкості робочого органа при невисоких вимогах до точності і діапазону регулювання швидкості.

Діапазон застосування розімкнутих систем керування надзвичайно широкий: від найпростіших схем автоматизації пуску, реверса і гальмування в нерегульованому приводі до складних мікропроцесорних систем керування. В останньому випадку алгоритм керування будується на основі рішення в реальному часі рівнянь динаміки електроприводу з метою отримання для будь-якого бажаного закону зміни регульованої координати y необхідного закону зміни керуючого впливу $u(t)$. Таке керування отримало назву керування по моделі. Крім того, якщо на нижньому рівні завдання керування вирішені якісно, то система керування верхнього рівня може працювати по розімкнутій схемою, "довіряючи" системам нижнього рівня і не контролюючи їх. У найпростішому випадку вона може лише запускати автономно працюючі системи нижнього рівня.

Головний недолік розімкнутих систем - керування "наосліп". Пристрій керування може продовжувати виконувати свої функції навіть тоді, коли

відбулася відмова у виконавчому механізмі, наприклад, вийшов з ладу двигун або перетворювач.

Підвищити якість роботи і надійність системи керування можна, забезпечивши її своєрідними "органами почуттів" - датчиками, точніше, інформаційно-вимірювальною системою (ІВС), додавши канал передачі інформації до пристрою керування, тобто запровадивши зворотний зв'язок (див. рис. 1.7 , 1.8). Такі системи керування називаються замкнутими.

1.4. Мета і задачі проектування

Здійснений аналіз дозволяє сформулювати такі висновки:

- верстат 65А60Ф1 створений для важкого фрезерування, свердління, зенкерування, точіння і розточування заготовок з чавуну, заліза, сталі та кольорових металів;
- електроприводи силової подачі не автоматизовані;
- автоматизація приводів подач і створення на їх основі верстатів з ЧПК є актуальним напрямком збільшення ефективності роботи при використанні фрезерних верстатів;
- новітні системи ЧПК базуються на мікропроцесорній техніці.

Метою магістерської роботи є проектування системи автоматичного керування електроприводами фрезерного верстата. Для реалізації цієї мети потрібно вирішити наступні завдання:

- розробити принципову функціональну схему системи автоматичного керування електроприводами фрезерного верстата;
- розробити динамічну структурну схему системи автоматичного керування електроприводом подачі фрезерного верстата;
- визначення структури та властивостей коригувальних елементів системи керування;
- розрахувати перехідні процеси в системі керування силовим електроприводом;

– розглянути питання охорони праці та охорони навколишнього середовища.

РОЗДІЛ 2

ПОБУДОВА ДИНАМІЧНОЇ МОДЕЛІ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОДАЧ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

2.1. Розробка функціональної схеми системи автоматичного керування електроприводами подач фрезерного верстата

Оскільки рух механізму подачі фрезерного верстата повинен бути відтворений з високою точністю, в основу системи автоматичного керування має бути покладен принцип керування за відхиленням керованої величини [2]. Принцип керування за відхиленням керованої величини полягає в тому, що вимірюється керована величина, порівнюється з потрібним значенням (керуючим впливом) і виникаюче при цьому відхилення перетворюється в керуючий вплив, який впливаю на об'єкт, прагне зменшити або усунути це відхилення. Для механізму подачі стола система керування повинна вимірювати фактичні значення координат x , y , z переміщення столу, порівнювати їх з програмними або приписаними (заданими) значеннями координат $x_{пр}$, $y_{пр}$, $z_{пр}$, генерувати сигнал похибки, формувати залежний від похибки сигнал керування за визначеним законом, посилювати цей сигнал і у виді напруги подається на обмотку електродвигуна.

Для отримання потрібної якості процесу керування в систему автоматичного керування (САК) додатково вводяться корегуючі пристрої. Корегуючі пристрої за способом введення в загальну систему керування поділяються на паралельні та послідовні пристрої [10].

Паралельні корегуючі пристрої виконується за рахунок введення додаткових місцевих (жорстких та гнучких) зворотних зв'язків.

Послідовні корегуючі *пристрої* виконується за рахунок введення послідовної додаткової ланки.

Для забезпечення високих показників якості керування в систему керування разом з послідовним корегуючим пристроєм також вводять і паралельний корегуючий пристрій.

Таким чином, складаємо функціональну схему системи автоматичного керування електроприводами подач фрезерного верстата (рис. 2.1).

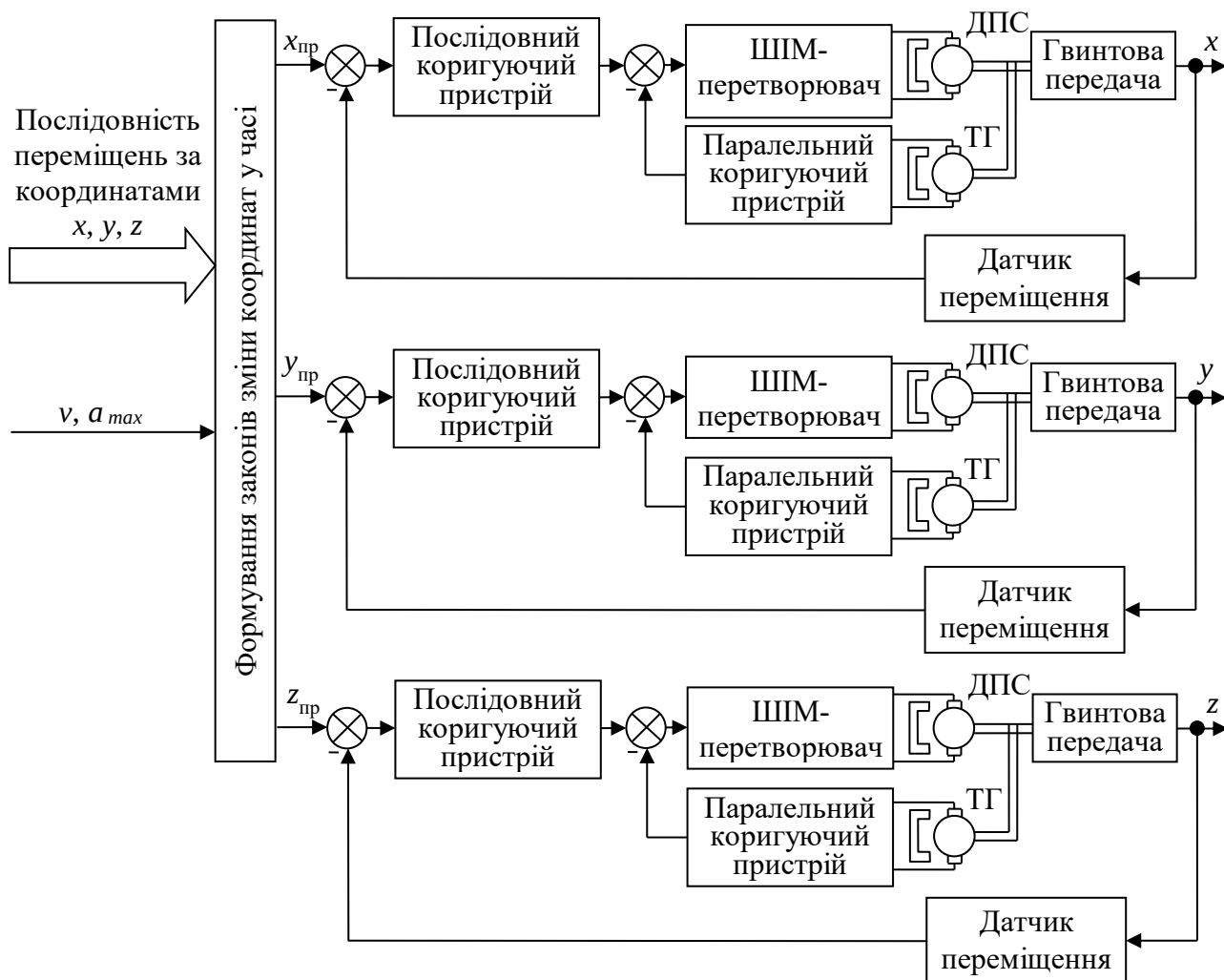


Рис. 2.1. Функціональна схема системи автоматичного керування механізмами подачі фрезерного верстата

На схемі використані такі позначення: x, y, z – координати переміщень, $x_{пр}, y_{пр}, z_{пр}$ програмні значення координат; a_{max} – максимальне прискорення, v – швидкість переміщення; ТГ – тахогенератор; ШІМ-перетворювач – широтно-імпульсний модулятор; ДПС – двигун постійного струму.

Система керування працює наступним чином. Траєкторія руху по координатам x, y, z , і швидкість переміщення v вводяться в мікроконтролер, де формуються закономірності зміни в часі заданих значень координат $x_{пр}, y_{пр}, z_{пр}$. Ці дані порівнюються з фактичними значеннями переміщень по осях x, y, z , які вимірюються датчиками, і генеруються відповідні сигнали про помилки. В залежності від сигналів помилок і вихідних сигналів від тахогенераторів на виході мікроконтролера формуються керуючі впливи за законом керування, обумовленим структурою електроприводу. Вони посилюються ШІМ-перетворювачами і поступають на обмотки якоря виконуючих електродвигунів. Обертання двигунів за допомогою кульково-гвинтових пар перетворюється в поступальні переміщення столу, салазок і бабки. Завдяки такому методу, отримуємо фактичні значення переміщень координат x, y, z , які вже узгоджуються із заданими координатами із зазначеною точністю.

2.2. Розробка динамічної структурної схеми системи керування електроприводами подачі верстата

Враховуючи, що всі три електроприводи є однаковими, для описування їх динаміки використаємо стандартну структурну схему електропривода постійного струму. Двигун постійного струму описується такими передавальними функціями:

$$W_m(p) = \frac{k_m}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1}; \quad W_t(p) = \frac{k_t \cdot (T_e p + 1)}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1},$$

де $W_m(p)$ - передавальна функція двигуна за вхідною напругою; $W_t(p)$ - передавальна функція двигуна за моментом [9].

Коригуючі пристрої визначають закон керування, за яким в залежності від величини помилки ε та кутової швидкості ω формується керуюче діяння,

яке подається у вигляді напруги на електродвигун. Таким чином відтворюється заданий рух механізму подачі фрезерного верстата.

Обертання від двигуна через кульку гвинтову пару перетворюється в лінійне переміщення столу. Таким чином переміщення по координатам x, y, z є інтегралом від лінійної швидкості.

На підставі функціональної схеми (рис. 2.1) складаємо динамічну структурну схему системи автоматичного керування електроприводом механізму подачі фрезерного верстата (рис. 2.2).

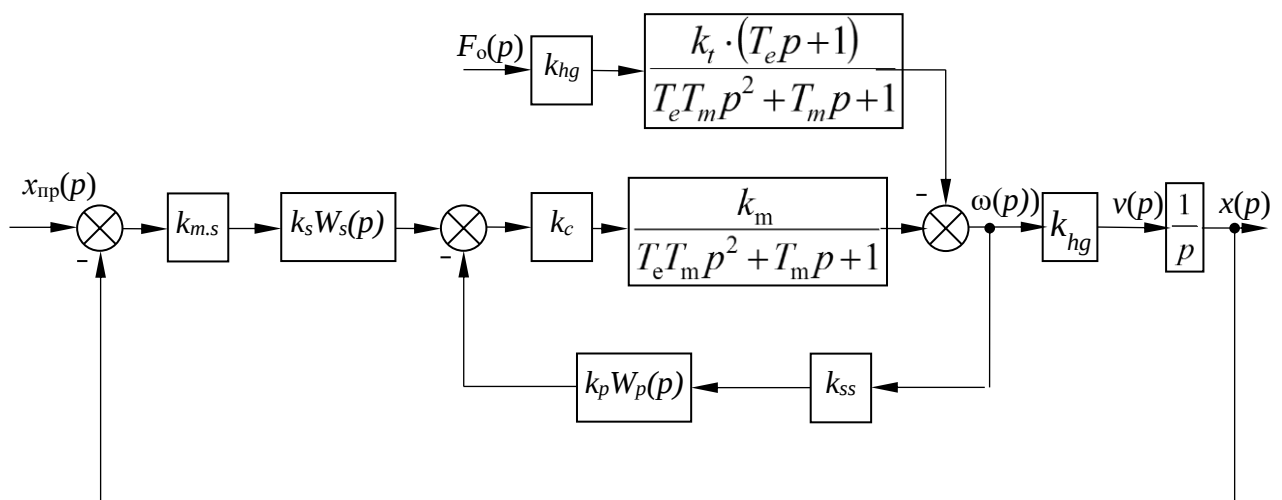


Рис. 2.2. Динамічна структурна схема системи автоматичного керування електроприводом подачі стола фрезерного верстата.

На схемі позначено: F_o – сила опору; ω – частота обертання двигуна; v – швидкість переміщення столу; T_e, T_m – електромагнітна та електромеханічна постійні часу двигуна; $W_s(p), W_p(p)$ – передаточні функції пристроїв корекції, що відповідають умові $W_s(0) = W_p(0) = 1$; коефіцієнти трансформації: $k_{m.s}$ – датчик переміщення; k_{ss} – датчик швидкості; k_s, k_p – прилади корекції; k_c – конвертор; k_m, k_t – напруга та крутний момент двигуна; k_{hg} – черв'ячна передача.

На даний момент наведені на схемі динамічні параметри незмінної частини системи керування (двигуна та гвинтової пари) є відомими, а передавальні функції коригуючих пристроїв визначемо в результаті синтезу.

2.3. Визначення динамічних параметрів системи керування електроприводами подачі верстата.

Розраховуємо номінальну кутову швидкість двигуна:

$$\omega_n = \frac{\pi \cdot n_n}{30} = \frac{\pi \cdot 1000}{30} = 104.72 \text{ (рад/с)}$$

Обчислюємо активний опір якірної обмотки:

$$R_a = \frac{U_n}{I_n} - \frac{P_n}{I_n^2} = \frac{110}{60.7} - \frac{5.5 \cdot 10^3}{60.7^2} = 0.319 \text{ (Ом)}$$

Коефіцієнт проти-електрорушійної сили двигуна:

$$c_e = \frac{U_n - I_n R_a}{\omega_n} = \frac{110 - 60.7 \cdot 0.319}{104.72} = 0.865 \text{ (В} \cdot \text{с)}$$

Коефіцієнт крутного моменту двигуна:

$$c_m = \frac{M_n}{I_n} = \frac{52.9}{60.7} = 0.871 \text{ (Н} \cdot \text{м/А)}$$

Коефіцієнт перетворення двигуна за напругою:

$$k_m = \frac{1}{c_e} = \frac{1}{0.865} = 1.156 \text{ (1/(В} \cdot \text{с))}$$

Коефіцієнт перетворення двигуна за моментом:

$$k_t = \frac{R_a}{c_e c_m} = \frac{0,319}{0,865 \cdot 0,871} = 0,424 \text{ (1/(Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с))}$$

Передавальний коефіцієнт кулькової гвинтової пари:

$$k_{hg} = \frac{h_{hg}}{2\pi} = \frac{0,01}{2\pi} = 1,592 \cdot 10^{-3} \text{ (м)}$$

Дані кулькової гвинтової пари:

$l_{hg} = 5 \text{ м}$ – протяжність гвинта; $d_{hg} = 0,08 \text{ м}$ – діаметр гвинта; $h_{hg} = 0,01 \text{ м}$ – шаг гвинта; $\eta_{hg} = 0,8$ – коефіцієнт корисної дії гвинтової передачі.

Обчислюємо масу і момент інерції гвинта:

$$m_{hg} = \rho_{st} l_{hg} \frac{\pi d_{hg}^2}{4} = 7,8 \cdot 10^3 \cdot 5 \cdot \frac{\pi \cdot 0,08^2}{4} = 196,035 \text{ (кг)}$$

$$J_{hg} = \frac{1}{12} m_{hg} d_{hg}^2 = \frac{1}{12} \cdot 196,035 \cdot 0,08^2 = 0,105 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)},$$

де $\rho_{st} = 7,8 \cdot 10^3 \text{ (кг} \cdot \text{м}^3\text{)}$ – густина сталі.

Момент інерції навантаження - це момент інерції, приведений на валу електродвигуна. Його значення може змінюватися в залежності від маси заготовки. Мінімальна величина моменту інерції визначається при відсутності заготовки на столі, а максимальна - при максимальній масі заготовки (табл. 1.2).

Визначаємо мінімальний і максимальний моменти інерції навантаження на валу двигуна:

$$J_{min} = J_e + J_{hg} + m_t k_{hg}^2,$$

де $J_e = 0,294 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}$ – момент інерції ротора (табл. 1.3); $m_t = 2 \cdot 10^3 \text{ кг}$ – вага стола.

$$J_{min} = 0,294 + 0,105 + 2 \cdot 10^3 \cdot (1,592 \cdot 10^{-3})^2 = 0,404 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}$$

$$J_{max} = J_e + J_{hg} + (m_t + m_{c.max})k_{hg}^2,$$

де $m_{c.max} = 3 \cdot 10^3$ кг – маса заготовки (табл. 1.2).

$$J_{max} = 0,294 + 0,105 + (2 + 3) \cdot 10^3 (1,592 \cdot 10^{-3})^2 = 0,411 \text{ (кг} \cdot \text{м}^2\text{)}$$

Обчислюємо мінімальне та максимальне значення електромеханічної постійної часу:

$$T_{min} = \frac{J_{min}}{c_e c_m} R_a = \frac{0,404}{0,865 \cdot 0,871} \cdot 0,319 = 0,171 \text{ (с)}$$

$$T_{max} = \frac{J_{max}}{c_e c_m} R_a = \frac{0,411}{0,865 \cdot 0,871} \cdot 0,319 = 0,174 \text{ (с)}$$

Враховуючи, що діапазон варіювання електромеханічної сталої часу є меншим за 4% від її максимального значення, то беремо $T_m = T_{max} = 0,174 \text{ (с)}$ і будемо вважати цю величину незмінною.

Висновки за розділом

В рамках цього розділу магістерської роботи було розроблено функціональну схему мікропроцесорного керування електроприводами подач вертикально-фрезерного верстата. Система складається з блоку встановлення законів зміни координат у часі та 3-х замкнутих систем керування, кожна з них оснащена датчиком руху, датчиком швидкості, послідовним та паралельним корегуючими пристроями, ШІМ перетворювачем, потужним електродвигуном постійного струму та черв'ячним редуктором. Модуль утворення схеми від часових варіацій координат і пристроїв корекції реалізований в мікроконтролері, який отримує сигнали від контролера вищого рівня і виконує операції управління приводними електродвигунами.

Створено динамічну структурну схему мікропроцесорного керування електроприводом, до якої увійшли: передаточні функції двигуна постійного

струму та пристроїв корекції, а також коефіцієнти перетворення датчиків, силового перетворювача та черв'ячного редуктора.

Проведено розрахунок динамічних параметрів приводу столу. Побудована динамічна модель застосовна до всіх трьох приводів подач фрезерного верстата, оскільки використовуються однакові електродвигуни та черв'ячні передачі.

РОЗДІЛ 3

СИНТЕЗ І АНАЛІЗ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОДАЧ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА

3.1. Визначення бажаної передавальної функції системи автоматичного керування.

Задача синтезу системи автоматичного керування полягає у визначенні місць включення, структури та параметрів коригуючих пристроїв, що забезпечують необхідні показники якості керування [9, 2]. Оскільки місця включення коригуючих пристроїв уже відомі, потрібно визначити їх передавальні функції, тобто знайти $k_s, k_p, W_s(p)$ і $W_p(p)$. Необхідні показники якості керування – це задані у вихідних даних до магістерської роботи вимоги точності та обмеження максимального перерегулювання:

- максимальна похибка керування $\varepsilon_{max} = 0,05$ мм при максимальній швидкості $v_{max} = 0,05$ м/с, силі опору, що задовольняє номінальному навантаженню двигуна, і максимальному прискоренні $a_{max} = 0,35$ м/с²;
- максимальне перерегулювання σ_{max} не може сягати більше 5%.

Згідно з типовими режимами руху навантаження обирають припустимі програмні діяння:

- 1) переміщення з незмінною швидкістю v_{max} при подоланні максимальної сили лобового опору $F_{o,max}$;
- 2) переміщення за гармонічним законом $x_{np}(t) = X_s \sin(\omega_s t)$, при якому амплітудні значення швидкості та прискорення відповідають заданим максимальним значенням v_{max} і a_{max} .

Оцінка рівня помилки, викликаной цими діяннями, здійснюється з урахуванням тільки помилки в усталеному режимі. Для того, щоб при діянні першого типу усталена помилка не збільшувалася до нескінченності, система повинна бути астатичною. Оскільки вимагається відсутність швидкісної та

моментної складових помилки, для даної системи керування доцільно обрати 2-й порядок астатизму. Це означає, що бажана (desired) передавальна функція розімкненої системи повинна мати наступний вигляд:

$$W_{des}(p) = \frac{k}{p^2} N(p),$$

де k – коефіцієнт підсилення розімкненої системи; $N(p)$ – дробно-раціональна функція, що задовольняє умові $N(0) = 1$. Тому перша низькочастотна асимптота типових бажаних ЛАЧХ має нахил -40 дБ/дек.

При діянні другого типу переміщення, швидкість і прискорення змінюються за наступними законами:

$$x_{pr}(t) = X_s \sin(\omega_s t), \quad (3.1)$$

$$v_{pr}(t) = X_s \omega_s \cos(\omega_s t), \quad (3.2)$$

$$a_{pr}(t) = -X_s \omega_s^2 \sin(\omega_s t), \quad (3.3)$$

Якщо значення амплітуд v_{max} і a_{max} підставити в (3.2) і (3.3), отримаємо:

$$v_{max} = X_s \omega_s,$$

$$a_{max} = X_s \omega_s^2,$$

Звідки

$$X_s = \frac{v_{max}^2}{a_{max}} = \frac{0,06^2}{0,35} = 0,01 \text{ (м)} \quad (3.4)$$

$$\omega_s = \frac{a_{max}}{v_{max}} = \frac{0,35}{0,06} = 5,833 \text{ (с}^{-1}\text{)} \quad (3.5)$$

Синусоїдальне вхідне діяння призводить до появи гармонічної (harmonic) складової помилки, амплітудне значення якої визначається в залежності від частоти наступним рівнянням:

$$\varepsilon_h(\omega_s) = \frac{X_s}{|1 + W_{des}(j\omega_s)|} \quad (3.6)$$

Враховуючи, що при низьких частотах $W_{des}(j\omega) \gg 1$, одиницею в нерівності (3.6) можна знехтувати. Тоді дане рівняння можна переписати в наступному вигляді:

$$\varepsilon_h(\omega_s) = \frac{X_s}{|W_{des}(j\omega_s)|} \quad (3.7)$$

Запишемо рівняння низькочастотної асимптоти:

$$L_{des}(\omega) = 20 \lg k - 40 \lg \omega \quad (3.8)$$

Робимо заміну $\omega = \omega_s$ і одержуємо:

$$20 \lg |W_{des}(j\omega_s)| = 20 \lg k - 40 \lg \omega_s$$

$$20 \lg |W_{des}(j\omega_s)| = 20 \lg \frac{k}{\omega_s^2}$$

$$|W_{des}(j\omega_s)| = \frac{k}{\omega_s^2} \quad (3.9)$$

Підставляємо (3.9) в (3.7) і отримаємо:

$$\varepsilon_h = \frac{X_s \cdot \omega_s^2}{k} \quad (3.10)$$

З виразу (3.10) визначаємо мінімальне значення коефіцієнта підсилення розімкненої системи:

$$k = \frac{X_s \cdot \omega_s^2}{\varepsilon_{max}} = \frac{0,01 \cdot 5,833^2}{5 \cdot 10^{-5}} = 7 \cdot 10^3 \text{ (с}^{-1}\text{)} \quad (3.11)$$

Будуємо шукану асимптотичну ЛАЧХ системи управління (рис.3.1):

Перша і друга спрягаючі частоти ω_1 і ω_2 визначаються за умови забезпечення стійкості замкненої системи і бажаної якості перехідного процесу. З критерію стійкості Найквіста і властивостей асимптотичних ЛАЧХ виходить, що запас стійкості виявиться достатнім, якщо ЛАЧХ пройде через нульовий рівень з нахилом -20 дБ/дек, причому тривалість ділянки з таким нахилом займе не менше однієї декади ($\omega_2 / \omega_1 \geq 10$), а сама ділянка розташується приблизно симетрично відносно частоти зрізу [9]. В цьому випадку перерегулювання в системі не буде перевищувати 20..30%, а час установлення перехідного процесу можна оцінити за формулою

$$t_{set} = (1..2) \frac{2\pi}{\omega_c},$$

де ω_c – частота зрізу

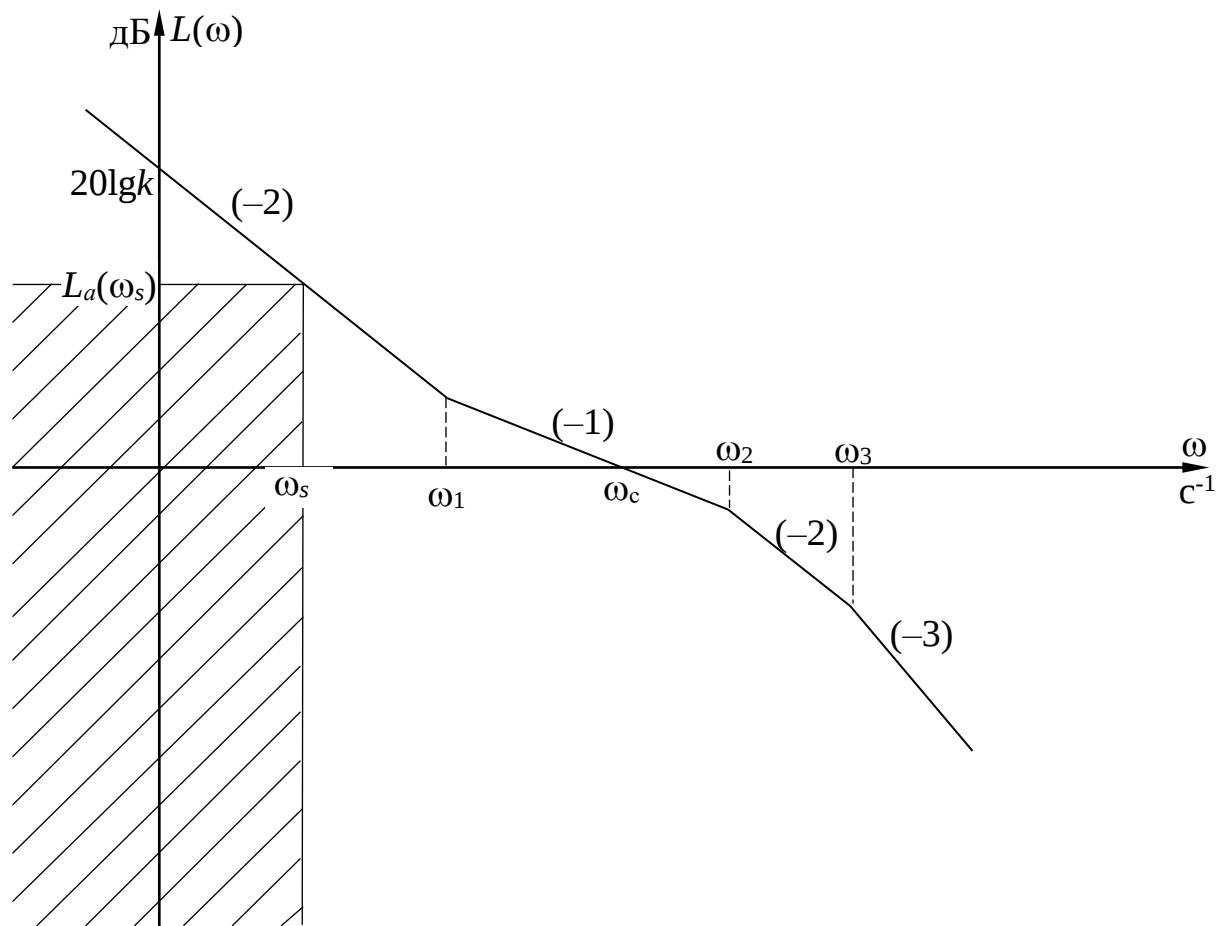


Рис. 3.1. Асимптотична бажана ЛАЧХ системи керування.

Оскільки, згідно завданню, перерегулювання не повинно перевищувати 5%, тривалість середньочастотної ділянки повинна бути значно більшою за декаду. Виберемо відношення:

$$\frac{\omega_2}{\omega_1} = 80$$

Запишемо рівняння середньочастотної асимптоти бажаної ЛАЧХ:

$$L_2(\omega) = -20 \lg \frac{\omega}{\omega_c} \quad (3.12)$$

Підставивши $\omega = \omega_1$ і прирівнявши (3.12) до (3.8) отримаємо:

$$\omega_1 = \frac{k}{\omega_c}$$

Коефіцієнт $\frac{\omega_c}{\omega_1} = \alpha$ вибирається приблизно так, щоб ω_c знаходилась приблизно посередині середньочастотного діапазону. Якщо $\frac{\omega_2}{\omega_1} = 80$, то α може перебувати в діапазоні від 20 до 40. Чим вище коефіцієнт α , тим вище

швидкість дії, але й вище перерегулювання. Тому приймаємо $\alpha = 20$ і визначаємо першу спрягаючу частоту:

$$\omega_1 = \sqrt{\frac{k}{\alpha}} = \sqrt{\frac{7 \cdot 10^3}{20}} = 18,708 \text{ (с}^{-1}\text{)} \quad (3.13)$$

Обчислюємо частоту ω_2 ;

$$\omega_2 = 80 \cdot \omega_1 = 80 \cdot 18,708 = 1,497 \cdot 10^3 \text{ (с}^{-1}\text{)} \quad (3.14)$$

Поведінка ЛАЧХ за частотою ω_2 не впливає на точність та стійкість системи, однак з метою захисту від впливу високочастотних перешкод раціонально забезпечити швидке падіння коефіцієнту підсилення на високих частотах. Для цього вводять додатковий злом асимптотичної ЛАЧХ на частоті ω_3 :

$$\omega_3 = 10 \cdot \omega_2 = 10 \cdot 1,497 \cdot 10^3 = 1,497 \cdot 10^4 \text{ (с}^{-1}\text{)} \quad (3.15)$$

Побудована асимптотична бажана ЛАЧХ (рис. 3.1) визначає бажану передавальну функцію розімкненої системи:

$$W_{des}(p) = \frac{k}{p^2} \frac{T_1 p + 1}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)}, \quad (3.16)$$

де $T_i = \omega_i^{-1}$; $i = 1 \dots 3$.

Отримана передавальна функція є основою для визначення структури і параметрів коригуючих пристроїв системи керування.

Чисельні значення постійних часу наведені у таблиці 3.1.

Таблиця 3.1

Постійні часу, с

T_1	T_2	T_3
0,053	$6,682 \cdot 10^{-4}$	$6,682 \cdot 10^{-5}$

3.2. Визначення передавальних функцій коригуючих пристроїв

Передавальні функції коригувальних пристроїв встановлюються, виходячи з того, що передавальна функція системи регулювання має відповідати бажаній передавальній функції.

Як показано на структурній схемі (рис. 2.2):

$$W(p) = k_{ms}W_s(p) \frac{\frac{k_c k_m}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1} \cdot \frac{1}{p}}{1 + k_{s.s} \frac{k_c k_m}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1} \cdot \frac{1}{p} \cdot p \cdot W_p(p)} \cdot k_{hg}, \quad (3.17)$$

або

$$W(p) = k_{ms}W_s(p) \frac{\frac{k_c k_m}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1}}{1 + k_{s.s} \frac{k_c k_m}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1} \cdot W_p(p)} \cdot \frac{k_{hg}}{p} \quad (3.18)$$

Датчики руху та швидкості будуть оснащені цифровими виходами (в якості датчиків руху застосовуються оптичні інкрементні енкодери, в якості датчиків швидкості - тахогенератори постійного струму, які мають вмонтований аналого-цифровий перетворювач). Силкові транзисторні перетворювачі оснащені цифровими входами. Тому приймаємо $k_{m.s} = 1 \text{ м}^{-1}$, $k_{s.s} = 1 \text{ с/м}$, $k_c = 1 \text{ В}$.

Тоді

$$W(p) = W_s(p) \frac{\frac{k_m}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1}}{1 + \frac{k_m}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1} \cdot W_p(p)} \cdot \frac{k_{hg}}{p} \quad (3.19)$$

Як паралельний коригуючий пристрій обираємо форсуючу ланку:

$$W_p(p) = k_p \cdot (\tau p + 1), \quad (3.20)$$

де τ – постійна часу, k_p – коефіцієнт підсилення.

Підставляємо (3.20) в (3.19):

$$W(p) = \frac{1}{p} W_s(p) \frac{k_m k_{hg}}{T_e T_m p^2 + (T_m + k_m k_p \tau) p + k_m k_p + 1},$$

або

$$W(p) = \frac{k_m k_{hg}}{(k_m k_p + 1)} \cdot \frac{1}{p} W_s(p) \frac{1}{\frac{T_e T_m}{k_m k_p + 1} p^2 + \frac{T_m + k_m k_p \tau}{k_m k_p + 1} p + 1} \quad (3.21)$$

Прирівнюємо отриману передавальну функцію розімкненої системи керування до бажаної, що визначається рівнянням (3.16):

$$\begin{aligned} \frac{k_m k_{hg}}{(k_m k_p + 1)} \cdot \frac{1}{p} W_s(p) \frac{1}{\frac{T_e T_m}{k_m k_p + 1} p^2 + \frac{T_m + k_m k_p \tau}{k_m k_p + 1} p + 1} = \\ = \frac{k}{p^2} \frac{T_1 p + 1}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)} \end{aligned} \quad (3.22)$$

Звідки

$$k = \frac{k_m k_{hg} k_s}{k_m k_p + 1}, \quad (3.23)$$

де k_s - коефіцієнт підсилення послідовного коригуючого пристрою.

Приведемо знаменник останньої дробі виразу (3.21) до наступного вигляду $(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)$:

$$\frac{T_e T_m}{k_m k_p + 1} p^2 + \frac{T_m + k_m k_p \tau}{k_m k_p + 1} p + 1 = T_2 T_3 p^2 + (T_2 + T_3) p + 1,$$

Прирівнявши коефіцієнти при однакових ступенях p , отримуємо:

$$\frac{T_e T_m}{k_m k_p + 1} = T_2 T_3 \quad (3.24)$$

$$\frac{T_m + k_m k_p \tau}{k_m k_p + 1} = T_2 + T_3 \quad (3.25)$$

З рівняння (3.24) виражаємо k_p :

$$k_p = \frac{1}{k_m} \left(\frac{T_e T_m}{T_2 T_3} - 1 \right) \quad (3.26)$$

$$k_p = \frac{1}{1,156} \left(\frac{6,58 \cdot 10^{-3} \cdot 0,174}{6,682 \cdot 10^{-4} \cdot 6,682 \cdot 10^{-5}} - 1 \right) = 2,222 \cdot 10^4 \text{ (В} \cdot \text{с)}$$

З рівняння (3.25) отримаємо τ :

$$\tau = \frac{1}{k_m k_p} ((T_2 + T_3)(k_m k_p + 1) - T_m) \quad (3.27)$$

$$\tau = \frac{1}{1,156 \cdot 2,222 \cdot 10^4} ((6,682 \cdot 10^{-4} + 6,682 \cdot 10^{-5})(1,156 \cdot 2,222 \cdot 10^4 + 1) - 0,174) = 7,282 \cdot 10^{-4} \text{ (с)}$$

З рівняння (3.23) визначаємо k_s :

$$k_s = \frac{k}{k_m k_{hg}} (k_m k_p + 1) \quad (3.28)$$

$$k_s = \frac{7 \cdot 10^3}{1,156 \cdot 1,592 \cdot 10^{-3}} (1,156 \cdot 2,222 \cdot 10^4 + 1) = 9,771 \cdot 10^{10} \text{ (В/м)}$$

Тоді з (3.22) виходить:

$$\frac{W_s(p)}{(T_2 p + 1)(T_3 p + 1)} = k_s \frac{T_1 p + 1}{p \cdot (T_2 p + 1)(T_3 p + 1)},$$

Звідки

$$W_s(p) = k_s \frac{T_1 p + 1}{p} \quad (3.29)$$

Таким чином, структура і параметри коригуючих пристроїв визначаються рівняннями (3.20), (3.26)–(3.29).

Оскільки коригуючі пристрої будуть реалізовані як програма мікроконтролера, потрібно знайти їх дискретні передавальні функції.

3.3. Визначення дискретних передавальних функцій коригуючих пристроїв

Для визначення дискретних передавальних функцій зазвичай використовується один з чотирьох методів: відображення диференціалів, інваріантного перетворення імпульсної характеристики, білінійного z-перетворення та узгодженого z-перетворення. В даній задачі найбільш доцільним є використання методу відображення диференціалів, що полягає у підстановці в неперервні передавальні функції $(1 - z^{-1})/T$ – замість

оператора p , де $T = 1/f_d$ – період дискретизації; f_d – частота дискретизації, яку обирають на порядок вищою за максимальну спрягаючу частоту асимптотичної ЛАЧХ розімкненої системи.

Максимальна спрягаюча частота: $\frac{\omega_3}{2\pi} = 2,382 \cdot 10^3$ Гц.

Обираємо $f_d = 3 \cdot 10^4$ Гц.

Тоді період дискретизації $T = 1/3 \cdot 10^4 = 3,333 \cdot 10^{-5}$ с.

Застосувавши цей метод, отримуємо дискретну передавальну функцію паралельного коригуючого пристрою:

$$W_{p.d}(z) = W_p \cdot \left(\frac{1 - z^{-1}}{T} \right) = k_p \cdot \left(\tau_d \frac{1 - z^{-1}}{T} + 1 \right) \quad (3.30)$$

Дискретна передавальна функція послідовного коригуючого пристрою:

$$\begin{aligned} W_{s.d}(z) &= W_s \cdot \left(\frac{1 - z^{-1}}{T} \right) = k_s \cdot \frac{T_1 \frac{1 - z^{-1}}{T} + 1}{\left(\frac{1 - z^{-1}}{T} \right)} = \\ &= k_s \frac{T}{1 - z^{-1}} \cdot \left(T_1 \frac{1 - z^{-1}}{T} + 1 \right) \end{aligned} \quad (3.31)$$

За отриманими дискретними передавальними функціями коригуючих пристроїв можна скласти програму мікроконтролера, що буде реалізовувати закон керування.

3.4. Розрахунок частотних характеристик і визначення запасів стійкості системи керування

Для визначення запасів стійкості систем керування необхідно розрахувати їх частотні характеристики. При цьому потрібно врахувати дискретизацію сигналів, а також затримку сигналу завдання при його передачі за послідовним інтерфейсом та сигналів зворотних зв'язків при їх аналого-цифровому перетворенні [9].

Припустимо, що періоди дискретизації АЦП та послідовного прийомопередавача співпадають і дорівнюють T . Тоді, щоб урахувати затримку сигналів, необхідно передавальні функції коригуючих пристроїв помножити на e^{-pT} . Для врахування дискретизації необхідно замість неперервних передавальних функцій $W_s(p)$ і $W_p(p)$ підставити дискретні $W_{s.d}(e^{pT})$ і $W_{p.d}(e^{pT})$, а оператор p , що помножується на $W_p(p)$, замінити на $\frac{1-z^{-1}}{T}$ – , оскільки кутова швидкість двигуна визначається шляхом числового диференціювання сигналу з датчика кута повороту. Таким чином, у рівняння (3.17) підставляємо $e^{-pT}W_{s.d}(e^{pT})$ – замість $W_s(p)$ та $e^{-pT} \cdot \frac{1-z^{-1}}{T} \cdot W_{p.d}(e^{pT})$ замість $p \cdot W_p(p)$:

$$W(p) = e^{-pT}W_{s.d}(e^{pT}) \frac{\frac{k_m}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1} \cdot \frac{1}{p}}{1 + \frac{k_m}{T_e T_m p^2 + T_m p + 1} \cdot \frac{1}{p} \cdot e^{-pT} \cdot \frac{1-z^{-1}}{T} \cdot W_{p.d}(e^{pT})} k_{hg}$$

Замінивши оператор p на $j\omega$, отримуємо комплексну передавальну функцію розімкненої системи:

$$W(p) = e^{-pT}W_{s.d}(e^{pT}) * \frac{\frac{k_m}{T_e T_m (j\omega)^2 + T_m j\omega + 1} \cdot \frac{1}{j\omega}}{1 + \frac{k_m}{T_e T_m (j\omega)^2 + T_m j\omega + 1} \cdot \frac{1}{j\omega} e^{-pT} \frac{1-z^{-1}}{T} W_{p.d}(e^{pT})} k_{hg} \quad (3.32)$$

де j – комплексний множник. У рівнянні (3.32) вона представлена як функція двох змінних, оскільки електромеханічна постійна часу є змінною величиною.

ЛАЧХ та ЛФЧХ визначаються шляхом розрахунку модуля та аргумента комплексної передавальної функції відповідно:

$$L(j\omega, T_m) = 20 \lg |W(j\omega, T_m)| \quad (3.33)$$

$$\varphi(j\omega, T_m) = \arg(W(j\omega, T_m)) \quad (3.34)$$

Для побудови логарифмічних частотних характеристик необхідно задати фіксоване значення T_m і послідовність значень ω з кроком, однаковим на логарифмічній шкалі (у декадах). При цьому початкову частоту ω_{begin} слід обирати на порядок меншою за ω_1 , а кінцеву ω_{end} – як мінімум вдвічі більшою за ω_3 . Для того, щоб число декад було цілим, обидві частоти повинні бути кратними ступеню десяти. Число декад на осі частот:

$$N_{dec} = \lg \frac{\omega_{end}}{\omega_{begin}} \quad (3.35)$$

Для того, щоб за графіками ЛАЧХ та ЛФЧХ можна було точно визначити запаси стійкості, число точок N_{points} повинно бути не менше, ніж 10^3 . Крок за частотою у декадах визначається як відношення числа декад до числа точок:

$$\Delta\omega_{dec} = \frac{N_{dec}}{N_{points}} \quad (3.36)$$

Значення частоти у декадах:

$$\omega_{deci} = i \cdot \Delta\omega_{dec}, \quad i = 0 \dots N_{points} \quad (3.37)$$

Значення частоти у рад/с:

$$\omega_i = \omega_{begin} \cdot 10^{\omega_{deci}}, \quad i = 0 \dots N_{points} \quad (3.38)$$

На підставі рівнянь (3.30) – (3.32) [9] складемо програму для розрахунку комплексної передаточної функції, розімкнутих систем керування ЛАЧХ та

$$j := \sqrt{-1}$$

Комплексні передавальні функції:

$$W(\omega, T_m) := e^{-j\omega \cdot T_d} \cdot W_{s_d}(e^{j\omega \cdot T_d}) \cdot \frac{\frac{k_m}{T_e \cdot T_m \cdot (j\omega)^2 + T_m \cdot (j\omega) + 1} \cdot \frac{1}{j\omega}}{1 + \frac{k_m}{T_e \cdot T_m \cdot (j\omega)^2 + T_m \cdot (j\omega) + 1} \cdot \frac{1}{j\omega} \cdot e^{-j\omega \cdot T_d} \cdot \frac{1 - e^{-j\omega \cdot T_d}}{T_d} \cdot W_{p_d}(e^{j\omega \cdot T_d})} \cdot k_{hg}$$

ЛАЧХ та ЛФЧХ:

$$L(\omega, T_m) := 20 \cdot \log(|W(\omega, T_m)|) \quad \phi(\omega, T_m) := \begin{cases} \phi \leftarrow \arg(W(\omega, T_m)) \\ \phi \leftarrow \phi - 2\pi \text{ if } \phi > \frac{-\pi}{2} \end{cases}$$

ЛФЧХ (рис. 3.2).

Рис. 3.2. Програма розрахунку комплексної передавальної функції, ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкнених систем керування.

За рівняннями (3.35) – (3.38) [9] визначаємо параметри осі частот (рис. 3.3)

Найменша та найбільша спрягаючі частоти рад/с:		
$\omega_1 = 18.708$	$\omega_3 = 1.497 \times 10^4$	
Початкова та кінцева частоти, рад/с:	$\omega_{\text{begin}} := 10^{-1}$	$\omega_{\text{end}} := 10^5$
Число декад:	$N_{\text{dec}} := \log \left(\frac{\omega_{\text{end}}}{\omega_{\text{begin}}} \right)$	$N_{\text{dec}} = 6$
Число точок:	$N_{\text{points}} := 10^3$	
Крок за частотою, дек:	$\Delta\omega_{\text{dec}} := \frac{N_{\text{dec}}}{N_{\text{points}}}$	$\Delta\omega_{\text{dec}} = 6 \times 10^{-3}$
Матриця значень частоти, рад/с:		
$\omega := \begin{array}{ l} \text{for } i \in 0..N_{\text{points}} \\ \quad \left \begin{array}{l} \omega_{\text{dec}} \leftarrow i \cdot \Delta\omega_{\text{dec}} \\ \omega_i \leftarrow \omega_{\text{begin}} \cdot 10^{\omega_{\text{dec}}} \end{array} \right. \\ \omega \end{array}$		
Номер точок:	$u := 0.. \text{rows}(\omega) - 1$	

Рис. 3.3. Програма та результати розрахунку параметрів осі частот.

Так як $T_{\min} = T_{\max} = T_m$ (див. розділ 2.3), то будуємо графіки ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкненої системи керування електроприводами вертикально-

фрезерного верстата для максимального та подвійного максимального значень електромеханічної постійної часу (рис. 3.4 - 3.5).

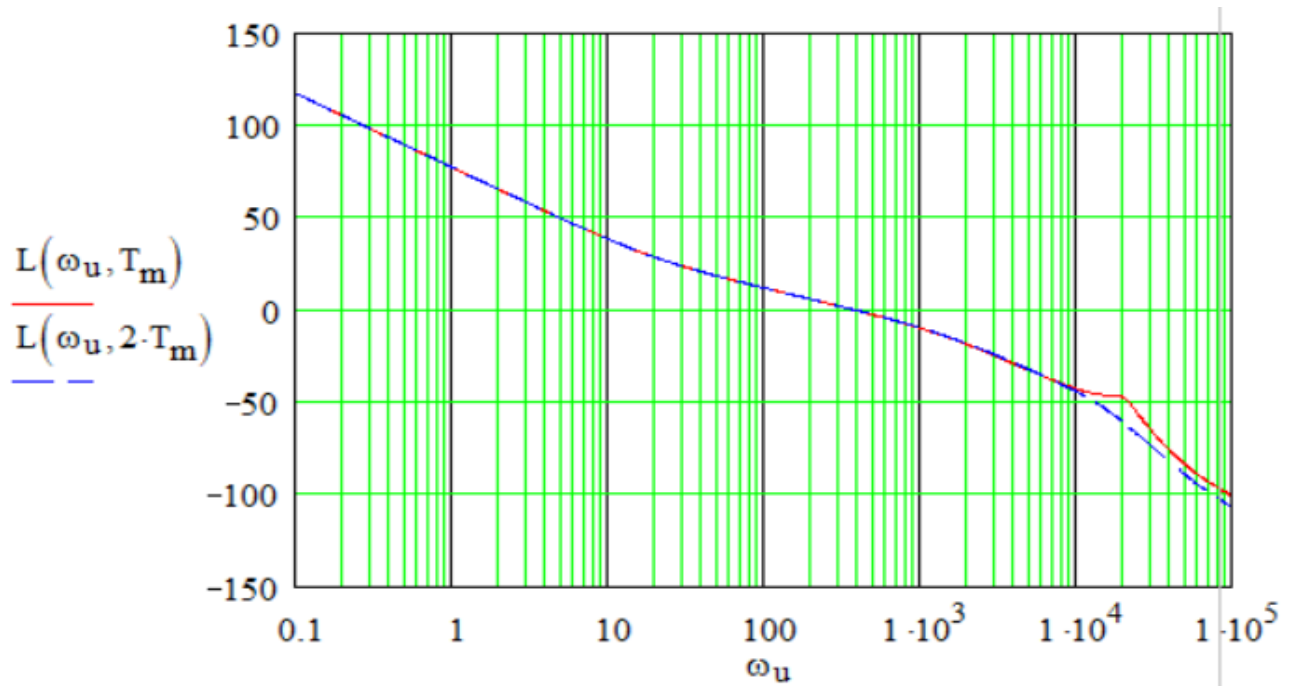


Рис. 3.4. Амплітудочастотна характеристика системи керування електроприводами вертикально-фрезерного верстата.

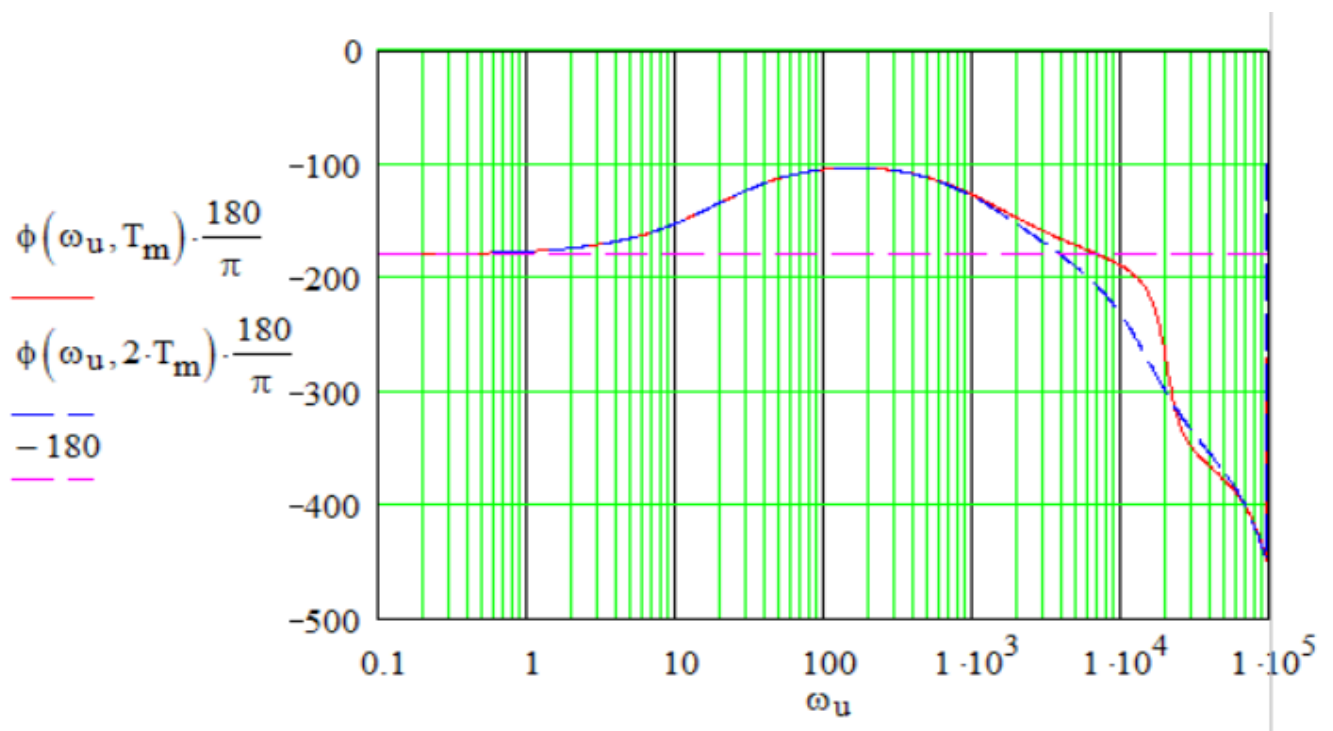


Рис. 3.5. Фазочастотна характеристика системи керування електроприводами вертикально-фрезерного верстата.

Зміна постійної часу T_m в межах від T_{max} до $2T_{max}$ призводить до істотного відхилення ЛАЧХ та ЛФЧХ розімкненої системи від бажаної тільки на високочастотних ділянках (рис. 3.4 – 3.5). На низькочастотних та середньочастотних ділянках вони, не залежать від величини T_m , практично співпадають з бажаними, що свідчить про робастність систем керування. За отриманими графіками частотних характеристик визначаємо запаси стійкості за фазою $\Delta\varphi$ та амплітудою ΔL :

для $T_m = T_{max}$ $\Delta L = 38$ дБ – запас стійкості за амплітудою, $\Delta\varphi = 72^\circ$ – запас стійкості за фазою;

для $T_m = 2T_{max}$ $\Delta L = 29$ дБ – запас стійкості за амплітудою, $\Delta\varphi = 72^\circ$ – запас стійкості за фазою.

При зміні електромеханічної постійної часу від максимального до подвійно максимального значення система керування залишаються стійкою, причому запас стійкості за фазою не змінюється, що свідчить про незмінність перерегулювання та часу перехідного процесу при двократному перевищенні маси об'єкта керування. Таким чином, моделювання динаміки системи керування можна проводити тільки для $T_m = T_{max}$.

3.5. Моделювання динаміки системи керування і визначення показників якості керування

Задачею моделювання є розрахунок перехідних процесів у системі керування при відпрацюванні типових вхідних діянь. Для цього необхідно створити модель системи керування електроприводом подачі фрезерного верстата у програмі Simulink (рис.3.6).

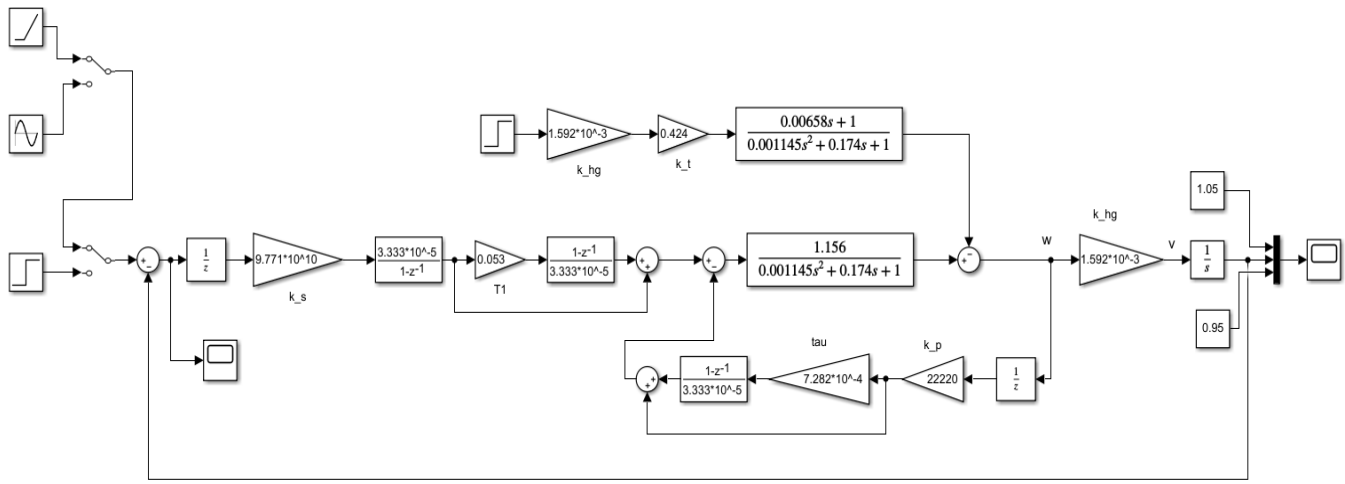


Рис. 3.6. Динамічна модель системи керування електроприводом подачі
фрезерного верстата у програмі Simulink

Розроблена модель використовується для обчислення реакції системи на різноманітні входні впливи: лінійні, синусоїдальні та ступінчасті. На рисунку 3.7 зображено графік зміни похибки при входному лінійно-наростаючому сигналі. В результаті моделювання на осцилографі відобразиться графік зміни у часі суми швидкісної та моментної складових помилки. Її усталене значення не повинно перевищувати максимально-припустимої помилки керування $\varepsilon_{max} = 0,05$ мм. Як бачимо з графіку (рис.3.7) усталено значення похибки дорівнює нулю.

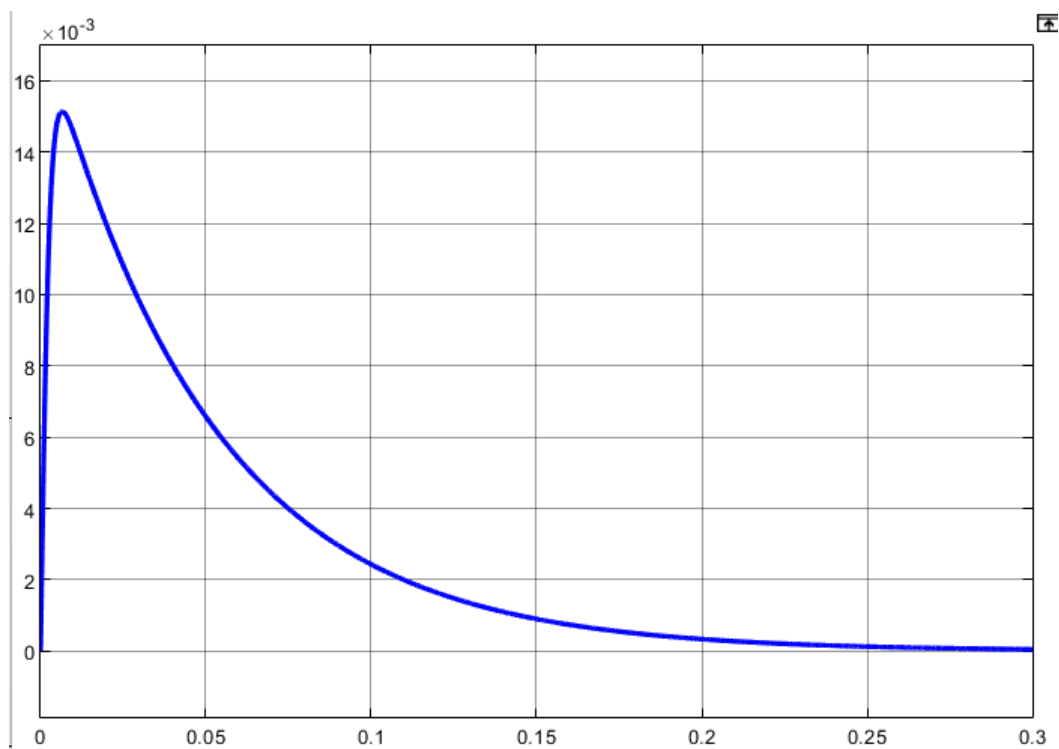


Рис. 3.7. Графік зміни помилки при лінійно-наростаючому
вхідному сигналі

На рисунку 3.8 наведено графік зміни помилки при вхідному синусоїдальному сигналі завдання. Амплітуда постійних коливань є гармонічною складовою похибки, яка становить приблизно 0,047 мм. Таким чином, моделюванням встановлено, що система керування відповідає вимогам точності, оскільки для двох типових вхідних впливів спостережувана похибка не перевищує заданого максимально допустимого значення $\varepsilon_{\max} = 0,05$ мм.

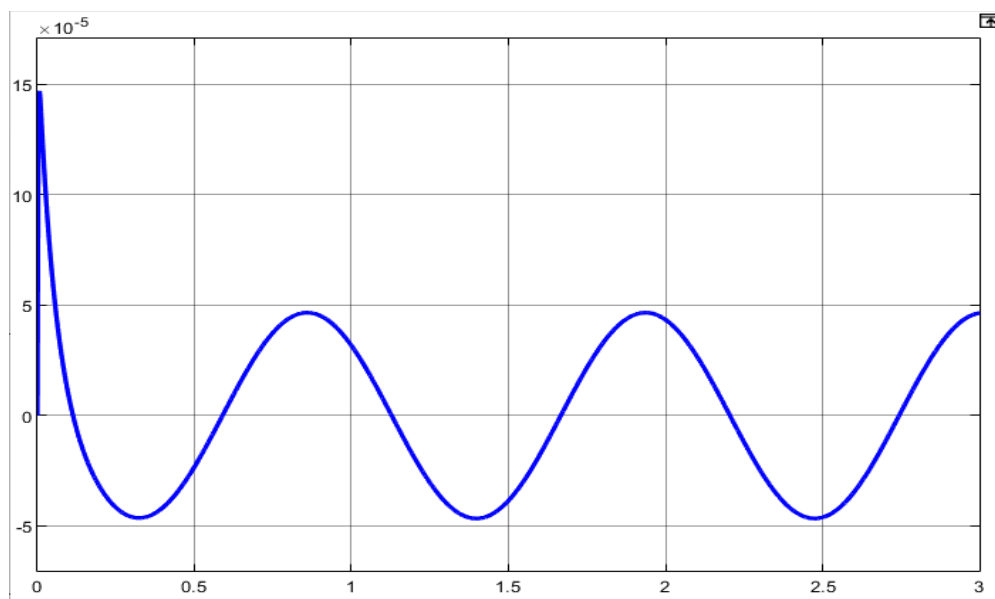


Рис. 3.8. Графік зміни помилки при синусоїдальному вхідному сигналі

Для визначення прямих показників якості керування потрібно подати на вхід системи одиничний сходячковий сигнал. В результаті отримуємо перехідну характеристику, яка представлена на рис. 3.9.

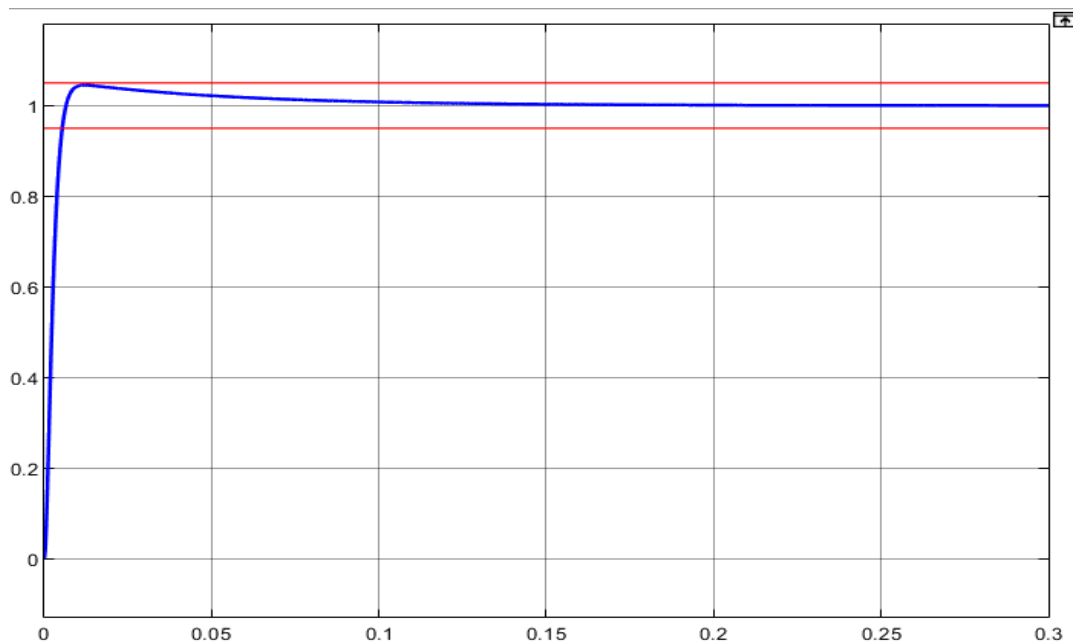


Рис. 3.9. Перехідна характеристика системи керування

За графіком перехідної характеристики (рис. 3.9), визначаємо прямі показники якості керування: максимальне перерегулювання $\sigma_{max} = 4,56\%$; час перехідного процесу $t_{set} = 5,45$ мс. Отримані значення показників повністю задовольняють вимогам до якості керування, заданих в початкових умовах.

Висновки за розділом

Визначено місця включень, структуру і параметри корегуючих пристроїв системи автоматичного керування електроприводом столу фрезерного верстата. Дискретні передавальні функції виконавчих механізмів системи керування визначаються методом відображення диференціалів, що дозволяє реалізувати їх у вигляді програми мікроконтролера.

В програмі Mathcad були розраховані і побудовані частотні характеристики системи керування електроприводом фрезерного верстата, визначені запаси стійкості при зміні електромеханічної постійної часу від максимального до подвійно максимального значення:

для $T_m = T_{max}$ $\Delta L = 38$ дБ – запас стійкості за амплітудою, $\Delta\varphi = 72^\circ$ – запас стійкості за фазою;

для $T_m = 2T_{max}$ $\Delta L = 29$ дБ – запас стійкості за амплітудою, $\Delta\varphi = 72^\circ$ – запас стійкості за фазою.

Аналіз перехідних властивостей системи керування при різних значеннях постійної часу T_m виявив, що підвищення електромеханічної постійної часу в 2 рази істотно не впливає на зміну перерегулювання та часу перехідного процесу. Це свідчить про те, що система - робастна і розраховані конструкції і показники коригуючих пристроїв можуть бути застосовані для всіх трьох електроприводів фрезерного верстата.

На основі динамічної структурної схеми системи керування була побудована динамічна модель системи керування в програмі Simulink, за допомогою якої були розраховані перехідні процеси при лінійно наростаючому, синусоїдальному і ступінчастому входних сигналах. В результаті моделювання були визначені показники якості керування: швидкісна та моментна складові похибки $\varepsilon_{уст.шв} = \varepsilon_{уст.м} = 0$; гармонійна складова похибки $\varepsilon_h = 0,047$ мм; максимальне перерегулювання $\sigma_{max} = 4,56\%$; час перехідного процесу $t_{set} = 5,45$ мс. Результати моделювання динаміки систем автоматичного керування електроприводами подач фрезерного верстата показали, що вони повністю задовольняють вимогам до точності та якості перехідних процесів.

РОЗДІЛ 4

РОЗРОБКА ПРИНЦИПОВОЇ ЕЛЕКТРОСХЕМИ СИТЕМИ КЕРУВАННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДАМИ ПОДАЧ ФРЕЗЕРНОГО ВЕРСТАТА.

4.1. Вибір привода для керування електродвигунами постійного струму.

Виходячи із встановлених задач, визначимо технічні засоби, необхідні для реалізації пристрою із заданими характеристиками і властивостями.

Оберемо привод для керування електродвигунами постійного струму.

SINAMICS DCM – сімейство нових цифрових приводів постійного струму фірми SIEMENS, які вийшли на заміну застарілої серії SIMOREG DC MASTER. Привода постійного струму SINAMICS DCM увібрали у себе всі кращі переваги та можливості сімейства SINAMICS. SINAMICS DCM орієнтовані для застосування у металургії, нафтодобувної промисловості, верстатобудуванні, у деревообробці та паперової промисловості, у вантажопідйомному устаткуванні і т. д. Привода SINAMICS DCM підійдуть для керування двигунами постійного струму потужністю від 6 до 30 000 кВт [12].

Можливості SINAMICS DCM:

- високий рівень інтеграції в автоматизовані системи;
- модульна конструкція для розширення можливостей;
- вбудовані функціональні блоки програмування;
- живлення керуючої плати від окремого джерела на 24 В.;
- можливість живлення приводів із струмом до 125 А від однофазної мережі;
- широкий діапазон робочих температур;
- ізоляція силової секції та керуючої плати;
- простота налаштування та запуску через операторську панель або програму STARTER;
- точне налаштування під час запуску завдяки візуалізації параметрів у графічному вигляді;

- реєстрація подій та помилок.

Специфіка приводу постійного струму SINAMICS DCM

SINAMICS DCM має ряд специфічних функцій, які роблять його особливо привабливим для використання у різних галузях промисловості.

Ось деякі з них:

- векторне керування: привід використовує інформацію про навантаження та швидкість двигуна для точного керування рухом. Це забезпечує високу ефективність та точність позиціонування;
- керування по положенню: SINAMICS DCM може працювати в режимі керування положенням, що дозволяє точно контролювати положення робочого органу механізму;
- датчикове керування: привід підтримує роботу з різними типами датчиків зворотного зв'язку, такими як енкодери, резольвери та датчики Холла. Це дозволяє забезпечити точне керування рухом навіть за умов сильних збурень;
- інтеграція із системами автоматизації: SINAMICS DCM легко інтегрується із системами автоматизації, такими як програмовані логічні контролери (ПЛК) та системи керування рухом. Це полегшує процес розробки та впровадження систем керування;
- простота налаштування та програмування: привід має зручний графічний інтерфейс, що дозволяє швидко налаштувати параметри роботи та вибрати необхідні режими керування;
- моніторинг та діагностика: SINAMICS DCM оснащений функціями моніторингу та діагностики, що дозволяють відстежувати стан приводу та виявляти можливі проблеми. Це допомагає своєчасно виявляти та усувати несправності, запобігаючи простоям обладнання.

В якості електропривода для двигунів постійного струму обираємо приводи постійного струму SINAMICS DCM 6RA8028-6DV62 фірми SIEMENS, характеристики якого наведені у таблиці 4.1 [13].

Таблиця 4.1

Характеристики приводу постійного SINAMICS DCM 6RA8028-6DV62

Найменування параметра	Значення параметра
Номінальна напруга живлення якоря, В.	3 x 400 В~ (+15 % / -20 %)
Номінальна напруга мережі електроживлення блока електроніки, В	2 x 380 В~ (– 25 %) до 460 В~ (+15 %); Іном.=1 А або 1 x 190 В~ (– 25 %) до 230 В~ (+15 %); Іном.=2 А (– 35 % за 1 хв.)
Номінальна напруга постійного струму, В	420
Номінальна частота, Гц	от 45 до 65
Перевантажувальна здатність	макс. 1,8-кратное перевищення номінального постійного струму
Розрахункове значення постійного струму, А	90
Номінальний вхідний струм в ланцюгу якоря, А	74,7
Розрахункова потужність, кВт	37,8
Потужність, що втрачається при розрахунковому значенні струму (приблизно), Вт	321
Номінальна напруга живлення обмотки збудження, В	2 x 400 В~ (+15 % / – 20 %)
Номінальна напруга постійного струму обмотки збудження, В	Макс. 325
Номінальний постійний струм обмотки збудження, А	10
Спосіб охолодження	самоохолодження
Ступень захисту DIN EN 60529	P00

Випрямлячі струму SINAMICS DC MASTER є компактними пристроями з силовими компонентами для живлення ланцюгів якоря та обмотки збудження електродвигуна з керуючою електронікою, а також додатковими модулями (опціями).

На пристроях з постійним номінальним струмом 15 А – 1200 А силова частина якірного контуру та обмотки збудження виконана з використанням ізольованих тиристорних модулів, таким чином, тепловідведення не має електричного потенціалу. На пристроях з більш високим постійним номінальним струмом силова частина якірного контуру та обмотки збудження виконана на основі таблеткових тиристорів та тепловідводів (тиристорних модулів), що мають електричний потенціал. Кришки на роз'ємах та корпуси силових компонентів забезпечують захист від випадкового дотику під час роботи поблизу пристроїв. Доступ до всіх сполучних клем здійснюється спереду.

4.2. Вибір промислового контролера

Виберемо програмований логічний контролер *CLICK C0-01DD2-D (Automation Direct)* [15]. Зокрема, програмований логічний контролер *C0-01DD2-D* знаходить застосування для автоматизації машин і верстатів (для пакувальної, текстильної промисловості, підйомно-транспортного обладнання, вантажно-розвантажувальних операцій).

Основні технічні характеристики контролера *C0-01DD2-D* наведені у таблиці 4.2.

Таблиця 4.2

Технічні характеристики контролера *C0-01DD2-D*

Кількість входів/виходів	8/6
Програмна пам'ять	8000 кроків

Пам'ять даних	16 Кб
Напруга живлення	24 В для постійного струму;
Швидкість обробки даних	до 115.2 Кбіт/сек
Вбудовані інтерфейси	2 порти RS232, 1 порт RS485, Modbus RTU Master/Slave, Modbus RTU, ASCII In/out
Частота опитування	Висока: $1 + (1 \times \text{кількість каналів})$; за замовчуванням 10 мс для 8 каналів
Використовує батарейно-підтримуючу пам'ять	

Контролер має високу швидкість обробки логічних інструкцій, арифметичних команд і табличних інструкцій.

4.3. Вибір датчиків переміщень

Для виміру переміщень уздовж осей x , y , z обираємо інкрементальні енкодери моделі ERN-130 фірми HEIDENHAIN.

HEIDENHAIN - німецька компанія, що розробляє та виробляє перетворювачі лінійних та кутових переміщень, кругові датчики, пристрої цифрової індикації, системи числового програмного керування, аксесуари, електропривод, що регулюється, і двигуни до нього.

Компанія HEIDENHAIN є однією з провідних у світі в галузі розробки та виробництва прецизійних вимірювальних систем та систем з ЧПК.

Параметри енкодера ERN-130 наведені у табл. 4.3 [14].

Основні характеристики інкрементального енкодера ERN-130

Діаметр корпусу	87 мм
Тип фланця	Пружний елемент
Тип вала	Наскрізний порожній вал
Діаметр вала	20 мм, 25 мм, 38 мм, 50 мм
Тип вихідного сигналу	HTL
Напруга живлення	10- 30 В
Кількість штрихів	від 1000 до 5000
Діапазон робочих температур	от -10 до + 85 С
Тип з'єднання	Кабель
Вивід з'єднання	Аксиальний
Ступень захисту від зовнішнього середовища	IP 64
Маса	Від 0,6 кг до 0,9 кг в залежності від діаметра вала
доступний дозвіл імпульсів на оборот (імпл./об)	1000 1024 2048 2500 3600 5000

Таким чином, обрано всі елементи, необхідні для складання принципової електричної схеми системи автоматичного керування електроприводами подач фрезерного верстата.

4.4. Розробка принципової електричної схеми системи керування електроприводами подач фрезерного верстата

З урахуванням обраних елементів складаємо принципову електричну схему системи автоматичного керування електроприводами подач фрезерного верстата (рис. 4.1).

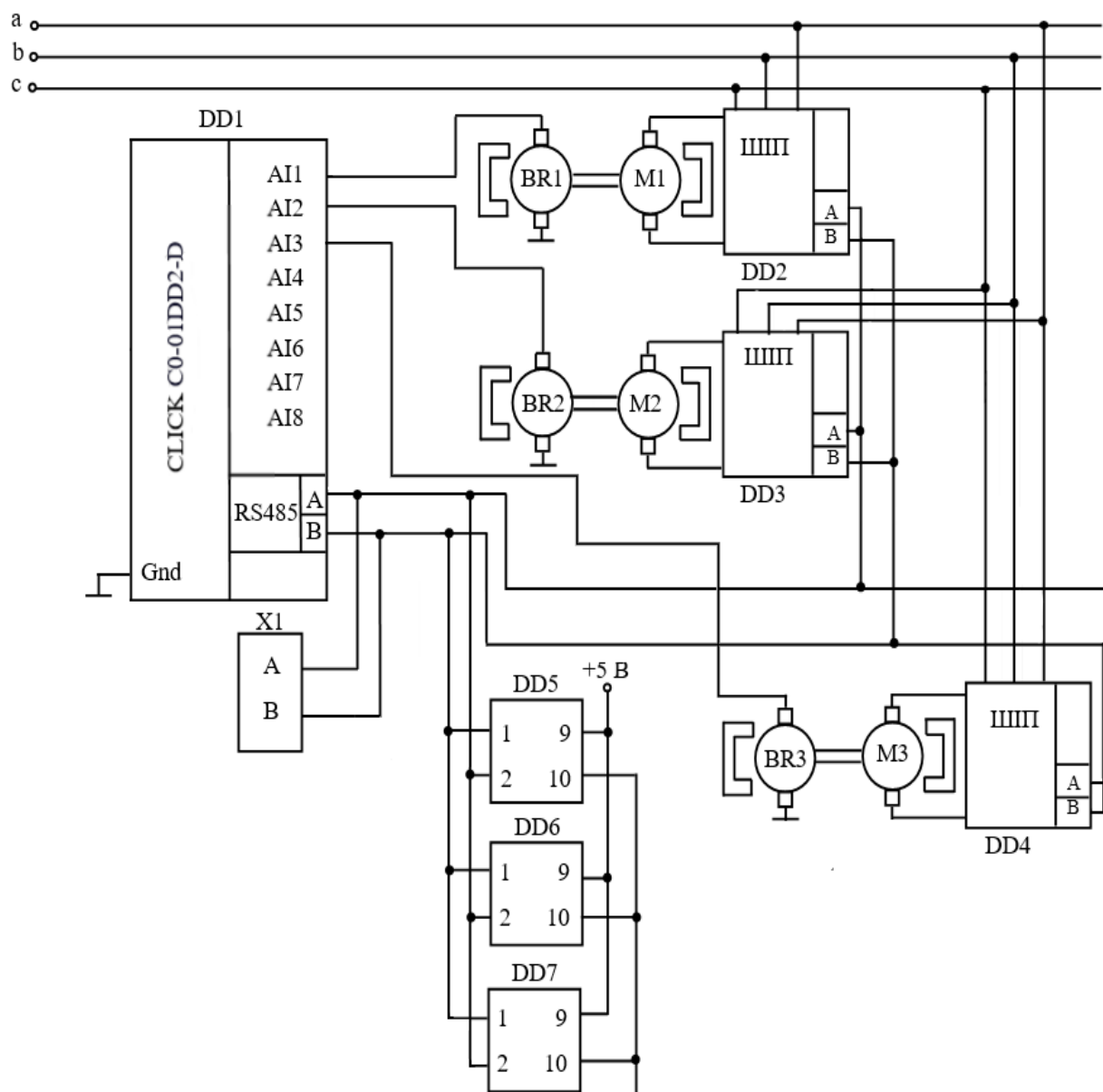


Рис. 4.1. Принципова електрична схема системи керування електроприводами фрезерного верстата

Перелік елементів схеми наведений у таблиці 4.4.

Перелік елементів принципової електричної схеми системи керування
електроприводами фрезерного верстата

Позначення	Найменування	Кільк.	Примітка
<i>DD1</i>	<i>Контролер CLICK C0-01DD2-D</i>	1	
<i>DD2 - DD4</i>	<i>Привод постійного струму SIEMENS SINAMICS DCM 6RA8028-6DV62</i>	3	
<i>M1 - M3</i>	<i>Двигун постійного струму ПБВ-132ЛГ</i> Р = 5.5 кВт, n = 1000 об/хв.	3	
<i>BR1- BR3</i>	<i>Тахогенератор ТП-80-20</i>	3	
<i>DD5 - DD7</i>	<i>Інкrementальний енкодер HEIDENHAIN ERN-130</i>	3	
<i>X1</i>	<i>Роз'єм RS485</i>	1	<i>До комп'ютера</i>

Висновки за розділом

В результаті проведених досліджень були розв'язані наступні задачі: для керування системою був обраний програмований логічний контролер *AutomationDirect CLICK C0-01DD2-D*, для керування двигунами постійного струму обран електропривод постійного струму *SIEMENS SINAMICS DCM 6RA8028-6DV62*, для виміру переміщень уздовж осей x, y, z обрано інкрементальні енкодери. Розроблена принципова електрична схема системи керування електроприводами фрезерного верстата та складен перелік елементів до цієї схеми.

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

Охорона праці — це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я та працездатності людини у процесі трудової діяльності [16].

Охорона праці водночас вирішує два основних завдання [17].

Одне з них — інженерно-технічне — передбачає запобігання небезпечним подіям під час трудового процесу шляхом:

- заміни небезпечних матеріалів менш небезпечними,
- переходу на нові технології, які зменшують ризик травмування і захворювання,
- проектування і конструювання устаткування з урахуванням вимог безпеки праці,
- розробки засобів індивідуального та колективного захисту.

Друге — соціальне — пов'язане з відшкодуванням матеріальної, моральної чи соціальної шкоди, завданої внаслідок нещасного випадку або професійного захворювання, тобто це захист працівника та його прав.

Виходячи з поставлених перед нею завдань, охорона праці, ґрунтуючись на правових та організаційних основах, вирішує питання виробничої санітарії, виробничої та пожежної безпеки.

Структурно охорона праці включає у себе:

- правові та організаційні основи охорони праці;
- фізіологію, гігієну праці та виробничу санітарію;
- виробничу безпеку;
- пожежну безпеку та профілактику на виробництві.

З наведеної на рис. 5.1 структурної схеми охорони праці видно, що правові та організаційні основи охорони праці є тією базою, яка забезпечує

соціальний захист працівників і на якій будуються санітарно-гігієнічна та інженерно-технічна складові охорони праці.

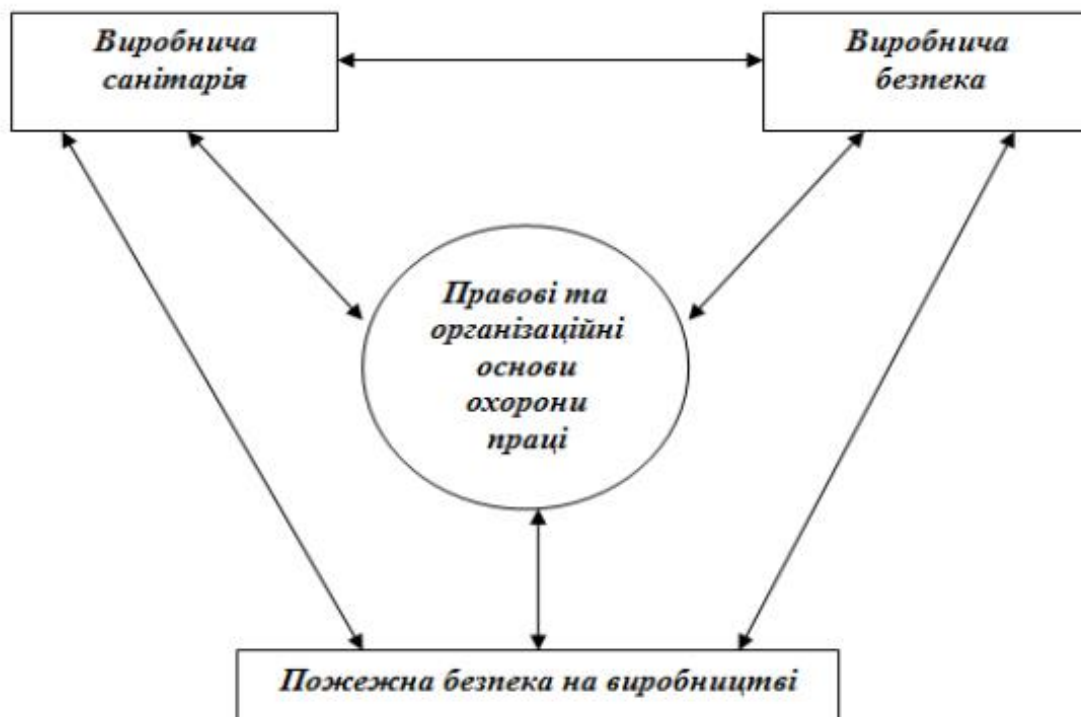


Рис. 5.1. – Структурна схема охорони праці

Правові та організаційні основи охорони праці – це комплекс взаємопов'язаних законів та інших нормативно-правових актів, соціально-економічних та організаційних заходів, спрямованих на правильну і безпечну організацію праці, забезпечення працюючих засобами захисту, компенсацію за важку роботу та роботу в шкідливих умовах, регламентацію відповідальності та відшкодування збитків у разі ушкодження здоров'я працівника або його смерті, навчання працівників безпечному веденню робіт.

Виробнича санітарія – комплекс організаційних, гігієнічних і санітарнотехнічних заходів та засобів, спрямованих на запобігання або зменшення дії на працюючих шкідливих виробничих факторів.

Виробнича безпека – комплекс організаційних та технічних заходів і засобів, спрямованих на запобігання або зменшення дії на працюючих небезпечних виробничих факторів.

Пожежна безпека та профілактика на виробництві — комплекс заходів та засобів, спрямованих на запобігання запалювань, пожеж та вибухів у виробничому середовищі, а також на зменшення негативної дії небезпечних та шкідливих факторів, які утворюються в разі їх виникнення.

Завдання охорони праці:

- пошук оптимальних пропорцій між різними факторами виробничого середовища з метою мінімізації їх негативного впливу на здоров'я працівників;
- проектування підприємства, технологічних процесів та обладнання з обов'язковим дотриманням вимог охорони праці та промислової безпеки;
- розробка конкретних заходів щодо поліпшення умов і забезпечення безпеки праці, засновані на застосуванні новітніх науково-технічних знань у виробництві;
- встановлення, певних стандартів, законодавче закріплення певних шкідливих або небезпечних факторів, систематичний контроль за їх застосуванням;
- розробка та застосування методів і засобів оцінки ефективності запланованих і реалізованих заходів з охорони праці та промислової безпеки.
- застосування раціональних засобів захисту працівників від шкідливого впливу факторів виробничого середовища та здійснення організаційних заходів щодо нейтралізації або зменшення ступеня їх впливу на організм людини;

Державне управління охороною праці здійснюють:

- Кабінет Міністрів України;
- спеціально уповноважений центральний орган виконавчої влади з нагляду за охороною праці;
- міністерства та інші центральні органи виконавчої влади;
- місцеві державні адміністрації та органи місцевого самоврядування.

5.1. Аналіз небезпек і шкідливих для здоров'я людини факторів, характерних для робіт, пов'язаних з налагодженням і обслуговуванням електроприводів фрезерного верстата.

Виробничі фактори залежно від наслідків, до яких може привести їх дія, прийнято підрозділяти на небезпечні та шкідливі [18].

Небезпечний виробничий фактор - фактор, вплив якого на працюючого у певних умовах приводить до травми або різкого погіршення здоров'я.

Шкідливий виробничий фактор - фактор, вплив якого на працюючого у певних умовах приводить до захворювання або зниження працездатності.

В залежності від рівня та тривалості впливу шкідливий фактор може стати небезпечним. За природою дії на організм людини небезпечні та шкідливі виробничі фактори підрозділяються на чотири групи: фізичні, хімічні, біологічні та психофізіологічні.

До фізичних небезпечних та шкідливих виробничих факторів відносяться фактори, що характеризують технологічний процес (рухомі машини та механізми, рухомі частини обладнання, вироби, заготовки та матеріали, що пересуваються, гострі кромки, заусениці; підвищена або знижена температура поверхонь обладнання або матеріалів; підвищене значення електричної напруги, підвищений рівень статичної електрики), та фактори, що характеризують повітря виробничих приміщень (підвищена запиленість та загазованість повітря робочої зони, метеорологічні умови, підвищений рівень шуму, ультразвукових коливань, вібрації на робочому місці, недостатня освітленість робочої зони і т. п.).

Хімічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори підрозділяються:
- за характером впливу на людину на: токсичні (викликають отруєння організму), дратівні, сенсibiliзуючі (викликають алергію), канцерогенні (викликають злоякісні утворення), мутагенні (впливають на зміну

спадковості),

репродуктивні;

- за шляхом проникнення у організм людини: проникаючі через органи дихання, шлунково-кишковий тракт, шкіру та слизові оболонки.

Біологічні небезпечні та шкідливі виробничі фактори містять такі біологічні об'єкти: мікроорганізми (бактерії, віруси та ін.) та продукти їх життєдіяльності, макроорганізми (рослини та тварини).

Психофізіологічні - фізичні та нервово-психічні перевантаження.

Основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами при роботі в механічному цеху є:

- шум на робочому місці;
- ураження електричним струмом;
- недостатнє виробниче освітлення;
- виникнення пожежі;
- вплив промислових вібрацій на людину;
- інші фактори.

Шум. Джерелами шуму є транспортні засоби всіх видів, будівельні машини, пневматичні та електричні інструменти, верстати, насоси та інше обладнання з рухомими частинами. Деякі технологічні процеси супроводжуються шумом - клепка, штампування, різання, пробивання, лиття, штампування тощо

Важливою характеристикою шуму є його частотний склад. Якщо в складі шуму переважають звуки з частотою коливань до 400 Гц, такий шум називається низькочастотним, якщо переважають звуки з частотою 400 – 1000 Гц – середньочастотним, якщо понад 1000 Гц – високочастотним.

Низькочастотний шум інтенсивністю до 100 дБ не викликає відчутної несприятливої дії на орган слуху; для середньочастотного шуму ця норма складає 85 – 90 дБ; для високочастотного – 75 – 85 дБ. Несприятливі суб'єктивні відчуття і вплив на організм людини зумовлює високочастотний шум.

Шум не тільки шкодить здоров'ю, але й знижує продуктивність праці на 10—15 %. У цьому контексті, контроль - є важливим не лише з точки зору

охорони здоров'я та гігієни, але й має велике технічне та економічне значення.

У машинобудуванні металообробка характеризується високими рівнями шуму, при цьому найвищі рівні шуму в цехах холодного складання (101-105 дБ), цвяхових цехах (104-110 дБ), полірувальних цехах (115-117 дБ), баштових цехах (84-88 дБ), фрезерних цехах (93-95 дБ). Гучні шуми утворюються при різанні та зачистці литих деталей, роботі пневматичних молотків, перфорованих сіток тощо.

Ураження електричним струмом.

Аналіз виробничого травматизму показує, що кількість травм, спричинених дією електричного струму, є незначною і становить близько 1 %. Однак із загальної кількості смертельних нещасних випадків частка електротравм становить 20-40% і посідає одне з перших місць [19].

Основними причинами електротравматизму на виробництві є:

- випадкове доторкання до неізольованих струмопровідних частин електроустаткування;
- використання несправних ручних електроінструментів;
- застосування нестандартних або несправних переносних світильників напругою 220 чи 127 В;
- робота без надійних захисних засобів та запобіжних пристосувань;
- доторкання до незаземлених корпусів електроустановок, що опинилися під напругою внаслідок пошкодження чи пробією ізоляції;
- недотримання правил будови, улаштування, безпечної експлуатації електроустановок та правил експлуатації електрозахисних засобів тощо.

Проходячи через організм людини, електричний струм справляє на нього термічну, електролітичну, механічну та біологічну дію.

Термічна дія струму спричинює опіки окремих ділянок тіла, нагрівання кровоносних судин, серця, мозку та інших органів, через які проходить струм, що призводить до виникнення в них функціональних розладів.

Електролітична дія струму характеризується розкладом (електролізом) крові та інших органічних рідин, що викликає суттєві порушення їх фізикохімічного складу.

Механічна дія струму загрожує ушкодженнями (розриви, розшарування тощо) різноманітних тканин організму внаслідок електродинамічного ефекту.

Біологічна дія струму на живу тканину спричиняє небезпечне збудження клітин та тканин організму, що супроводжується мимовільним судомним скороченням м'язів. Таке збудження може призвести до суттєвих порушень і навіть повного припинення діяльності органів дихання та кровообігу.

Електротравма - це травма, яка спричинена дією електричного струму чи електричної дуги. За наслідками електротравми умовно поділяють на два види: місцеві електротравми, коли виникає локальне ушкодження організму, та загальні електротравми (електричні удари), коли уражається весь організм унаслідок порушення нормальної діяльності життєво важливих органів і систем. Приблизний розподіл електротравм за їх видами має такий вигляд:

- місцеві електротравми - 20 %;
- електричні удари - 25 %;
- змішані травми (сукупність місцевих електротравм та електричних ударів) - 55 %.

Характерними місцевими електричними травмами є електричні опіки, електричні знаки, металізація шкіри, механічні ушкодження та електрофтальмія. Змінний струм промислової частоти (50 Гц) може призвести до втрати свідомості, паралічу дихання і значного порушення серцевої діяльності при струмі 50...100 мА. Для постійного струму ці значення знаходяться в межах 200...300 мА.

Електричний опік - найбільш поширена місцева електротравма (близько 60 %), яка трапляється переважно у працівників, що обслуговують діючі електроустановки. Електричні опіки залежно від умов їх виникнення бувають двох видів: струмові (контактні), коли внаслідок проходження струму електрична енергія перетворюється на теплову, та

дугів, які виникають унаслідок дії на тіло людини електричної дуги. Залежно від кількості виділеної теплоти та температури, а також розмірів дуги електричні опіки можуть уражати не лише шкіру, але й м'язи, нерви і навіть кістки. Такі опіки називаються глибинними і гояться вони досить довго.

Електричні знаки (електричні позначки) являють собою плями сірого чи блідо-жовтого кольору у вигляді мозоля на поверхні шкіри в місці її контакту зі струмовідними частинами.

Металізація шкіри - це проникнення у верхні шари шкіри найдрібніших часточок металу, що розплавляється внаслідок дії електричної дуги. Такого ушкодження зазвичай зазнають відкриті ділянки тіла - руки та обличчя. Ушкоджена ділянка шкіри стає твердою та шорсткою, однак за відносно короткий час вона знову набуває попереднього вигляду та еластичності.

Механічні ушкодження - це ушкодження, які виникають унаслідок судомних скорочень м'язів під дією електричного струму, що проходить через тіло людини. Механічні ушкодження виявляються у вигляді розривів шкіри, кровоносних судин, нервових тканин, а також вивихів суглобів і навіть переломів кісток.

Електроофтальмія - це ураження очей внаслідок дії ультрафіолетових випромінювань електричної дуги.

Найбільш небезпечним видом електротравм є електричний удар, який у більшості випадків (близько 80 %, включаючи й змішані травми) призводить до смерті потерпілого.

Електричний удар - це збудження живих тканин організму електричним струмом, що супроводжується судомним скороченням м'язів.

Виробниче освітлення.

Серед чинників зовнішнього середовища, що впливають на організм людини в процесі праці, світлу відводиться одне із чільних місць. Адже відомо, що майже 90% всієї інформації про довкілля людина отримує через органи зору [20].

Вплив світла на життєдіяльність людини вивчений досить добре. Воно впливає не лише на функцію зору, а й на діяльність організму в цілому: посилюється обмін речовин, збільшується поглинання кисню і виділення вуглекислого газу. Відомий сприятливий вплив природного освітлення на скелетну мускулатуру.

Недостатня або надмірна освітленість, нерівномірність освітлення в полі зору втомлює очі, призводить до зниження продуктивності праці; при цьому зростає потенційна небезпека помилкових дій і нещасних випадків. Надмірна яскравість джерел світла може спричинити головний біль, різь в очах, розлад гостроти зору; світлові відблиски – тимчасове засліплення [20].

Основними причинами пожеж на підприємствах є такі :

- необережне поводження з вогнем у побуті;
- порушення пожежних норм і правил у технологічних процесах виробництва;
- неправильне облаштування систем опалення, вентиляції, електроустановок;
- порушення норм і правил зберігання пожежонебезпечних несумісних матеріалів
- порушення правил користування електрообладнанням;
- невиконання протипожежних заходів щодо обладнання пожежного водозабезпечення, улаштування пожежної сигналізації, забезпечення первинними засобами пожежогасіння;
- використання відкритого вогню факелів, паяльних ламп, паління у заборонених місцях;
- погане знання персоналом основ пожежної безпеки;
- порушення вимог протипожежного інструктажу під час виконання робіт.

Таким чином, абсолютна більшість пожеж виникає з вини людей [21].

Причиною пожежі також може стати коротке замикання в електричних мережах, струмові перевантаження проводів та електричних машин, великий

перехідний опір, розряди статичної та атмосферної електрики, електричні іскри.

Виробнича вібрація

Вібрація – це механічні коливання, які виникають в пружних тілах або в тілах, що знаходяться під впливом змінного фізичного поля [20].

За способом впливу на людину вібрація поділяється на два види:

- загальна вібрація (вібрація робочих місць), яка передається через опорні поверхні на тіло людини;
- локальна, яка передається через руки та ноги людини.

Ступінь впливу вібрацій на організм людини зумовлюється величиною енергетичного впливу і біомеханічними властивостями тіла людини як складної коливної системи.

Характер та ступінь поширення коливань по тілу людини визначається їх частотою, амплітудою, тривалістю дії, площею контакту тіла людини та джерела вібрації, місцем прикладання та напрямком вібраційного впливу, демпферними властивостями тканин.

За умови збігу частот власних коливань внутрішніх органів та частот зовнішніх збурювальних сил виникає резонанс. Резонанс тіла людини виникає при частотах понад 0,7 Гц.

Резонансна частота для голови (при сидячому положенні людини) – 2–3 Гц при вертикальних вібраціях і 1,5–2 Гц – при горизонтальних вібраціях. Резонанс очних яблук лежить в межах 60–90 Гц, і саме вібрації з такими частотами викликають розлад зорового сприйняття. Для грудей, діафрагми та живота резонансними є частоти 3–3,5 Гц. Ці частоти можуть призвести до порушення функції дихання. Резонансна частота для всього тіла в сидячому положенні – 4–6 Гц. Нормуються параметри вібрації відповідно до вимог ДСН 3.3.6.039-99 “Державні санітарні норми виробничої та загальної вібрацій”.

Вібрація справляє на людину такі впливи:

- подразнювальний;
- зміщення органів;

- деформації тканин та клітин окремих органів.

Наслідками впливу вібрації є:

- зниження працездатності;
- порушення функцій центральної нервової системи;
- порушення функцій опорно-рухового апарату;
- порушення функцій статевих органів.

Низькочастотна вібрація впливає на процеси обміну: змінює вуглеводний обмін, біохімічні показники крові, що призводить до порушення білкового, ферментативного, вітамінного та холестеринового обмінів.

Локальна вібрація впливає на осіб, які працюють з ручним механізованим інструментом. Така вібрація зумовлює судоми судин, які починаються з пальців і поширюються на всю кисть, передпліччя.

Судоми досягають судин серця, порушується постачання кінцівок кров'ю. Локальна вібрація, впливаючи на нервові закінчення та кісткові тканини, м'язи та кістки, зумовлює зниження чутливості шкіри, скостеніння сухожиль м'язів, відкладення солей в суглобах пальців та кистей. Зовнішньою ознакою цих явищ є побіління пальців рук.

Вплив вібрації протягом тривалого часу поряд з впливом інших несприятливих виробничих факторів викликає вібраційну хворобу [20]. Найбільша небезпека розвитку вібраційної хвороби виникає при впливі вібрації частотою 16–250 Гц. Порогове значення сприйняття віброшвидкості – 10^{-4} м/с, а поріг больових відчуттів – 1 м/с.

5.2. Розробка заходів щодо забезпечення безпечності робіт, які пов'язані з експлуатацією й налагодженням автоматизованої системи керування електроприводами подач фрезерного верстата.

Захист від шуму.

Зниженню шуму, який створюється на робочих місцях і проникає ззовні, досягається використанням таких методів [22]:

- зменшення шуму в джерелі;

- зменшення шуму на шляху його розповсюдження;
- акустична обробка приміщень;
- раціональне планування підприємства;
- раціональна організація робіт.

Зменшення шуму в джерелі забезпечується, наприклад, застосуванням в машинах і механізмах неметалевих деталей, металів, які мало шумлять, звукоізолюючих кожухів. Зменшити шум на шляху його розповсюдження можна за допомогою акустичних екранів і різноманітних огорожень.

Для зменшення загального шуму в приміщеннях проводиться їх акустична обробка, яка полягає в облицюванні стін і стель звукопоглинальними матеріалами (деревиною, волокнистими плитами, мінеральною ватою, капроновим волокном та ін.).

Зменшення шуму в приміщеннях досягається використанням об'ємних (штучних) поглиначів звуку, які підвішуються до стелі. В торгових залах підприємств торгівлі та громадського харчування з метою зменшення шуму влаштовують підвісні стелі.

На підприємствах передбачаються архітектурно-планувальні методи захисту від шуму, які включають, наприклад, раціональне розміщення технологічного обладнання на робочих місцях. У зв'язку з цим вентиляційні камери, машинні відділення холодильних установок, місця проведення завантажувально-розвантажувальних робіт максимально віддаляють від приміщень з постійним перебуванням людей.

Організовуючи роботи, необхідно орієнтуватися на застосування малошумних машин і технологічних процесів. Під настільні апарати, машини і механізми, які шумлять, необхідно підкладати м'які килимки з синтетичних тканин, під ніжки столів – прокладки з м'якої гуми чи войлоку товщиною 6-8 мм.

Знижує шум своєчасне і правильне регулювання, змащування чи заміна металевих вузлів різних апаратів, машин і механізмів.

Захист від вібрації.

Вібробезпечні умови праці забезпечуються [22]:

- зменшення вібрації в джерелі виникнення;
- відходом від режиму резонансу;
- вібродемпфуванням;
- динамічним гасінням коливань віброізоляцією.

Найрозповсюдженішими інженерними методами захисту від вібрації є **віброгасіння** та **вібродемпфування**. Вібруючі машини (вентилятори, насоси, агрегати) встановлюються на окремих фундаментах. Між фундаментами під устаткуванням і стінами будівель повинні бути розриви. Джерела коливань ізолюють від опорних поверхонь гумовими, пружинними чи комбінованими віброізоляторами. Вентилятори приєднують до повітроводів за допомогою гнучких вставок.

Обмеження часу дії вібрації на робітників забезпечується регламентованими перервами впродовж робочої зміни для активного відпочинку і лікувально-профілактичних заходів.

Захист від ураження електричним струмом.

Основними методами захисту від ураження електричним струмом є:

- електрична ізоляція струмопровідних частин електрообладнання;
- використання низької напруги при роботі з переносним електрообладнанням;
- уникнення випадкового контакту з джерелом небезпеки;

Електрична ізоляція - це діелектричний шар або структура, що покриває поверхню обладнання, яке знаходиться під напругою, або окремі частково провідні частини. Ізоляція перешкоджає проходженню струму завдяки своєму високому опору.

З часом, навіть за нормальних умов, ізоляція поступово втрачає свої початкові ізоляційні властивості, старіє і з'являються локальні дефекти. Часткові розряди відбуваються там, де виникають пошкодження і вигорає ізоляція. Виникає так званий пробій ізоляції, який призводить до короткого замикання, що може спричинити пожежу або ураження електричним струмом.

Одним з найкращих засобів захисту є подвійна ізоляція. Вона призначена для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у

разі пошкодження робочої ізоляції (малопотужне електрообладнання, електроінструмент).

Використання низьких напруг. При роботі з переносними електроінструментами (електродрилями, електропаяльник та ін.), та переносними світильниками значно підвищується ризик ураження електричним струмом у разі пошкодження ізоляції та подачі напруги на корпус. У цих випадках використовують низька напруга, тобто напруга не перевищує 42 В (ГОСТ 12.1.009-76). При напрузі до 42 В струм, що протікає через тіло людини, є нешкідливим. Низька напруга використовується для живлення, переносних світильників, електроінструменту, локального освітлення на верстатах. Використання низької напруги значно знижує ризик отримання травм від електричного удару. Переносні електричні світильники напругою до 12 В застосовуються для роботи в особливо небезпечних зонах.

Джерелами низької напруги можуть бути знижувальні трансформатори, акумулятори, випрямлячі, батареї для гальванічних елементів, інвертори .

Забезпечення уникнення контакту з джерелом небезпеки. Для цього вживають наступні заходи:

- розміщення струмопроводжучих пристроїв на недоступній висоті; висоту підвісу провідника необхідно вибрати з урахуванням можливості випадкового дотику струмоведучих частин до довгих металевих предметів (інструментів);

- відключення несправного електрообладнання від мережі до усунення несправності та вжиття заходів щодо запобігання несанкціонованому підключенню;

- огороження потенційно небезпечних зон та розміщення відповідних роз'яснювальних повідомлень про небезпеку;

- використання стаціонарних пристроїв оповіщення (звукового або світлового) про наявність або відсутність напруги на даній ділянці мережі;

- застосування електрозахисних засобів, зокрема пересувного заземлення струмоведучих частин електроприводу фрезерного верстата;

– використання ізолюючих захисних засобів, зокрема, особами, які працюють на електрообладнанні в цеховій зоні; перевірка їх видачі/зняття;

До них відносяться засоби індивідуального захисту (які попередньо повинні бути перевірені на наявність витоків електричного струму, пошкоджень та вразливості) :

- ізоляційні мати, ковпачки, прокладки;
- індикатор напруги;
- ізоляційні штанги, хомути;
- діелектричні рукавички та боти;
- драбини, ізолюючі склопластикові драбини.

Пожежна безпека.

Пожежна безпека забезпечується організаційними, технічними заходами [21].

До організаційних заходів належать:

- розробка правил, інструкцій, інструктажів з протипожежної безпеки;
- організація навчання та інструктування працівників;
- здійснення контролю за дотриманням протипожежного режиму;
- організація добровільних пожежних дружин;
- щоденна перевірка протипожежного стану приміщень після закінчення роботи;
- організація перевірки належного стану пожежної техніки та інвентарю.

До технічних заходів належать:

- дотримання пожежних норм, вимог та правил при влаштуванні будівель, споруд, складів;
- підтримання у справному стані систем опалення, вентиляції, обладнання;
- улаштування автоматичної пожежної сигналізації, систем автоматичного гасіння пожеж та пожежного водопостачання;
- заборона використання обладнання, пристроїв, приміщень та інструментів, що не відповідають вимогам протипожежної безпеки;
- правильна організація праці на робочих місцях з використанням пожежонебезпечних інструментів, приладів, технологічних установок.

5.3. Розрахунок загального освітлення цеху, в якому експлуатується фрезерний верстат

Проведемо розрахунок для визначення необхідного рівня внутрішнього освітлення робочого приміщення – цеху (висота цеху – 12 м, розміри – 18 × 24 м). Для цього обираємо метод коефіцієнту використання світлового потоку.

Для освітлення цеху вибираємо промислові світлодіодні світильники для високих стель потужністю 200 Вт Highbay IP65 HERKUL-200 .

Характеристики світильника наведені у таблиці 5.1.

Таблиця 5.1

Характеристики світильника HERKUL-200

Тип	Підвісний
Корпус	Алюміній
Розміри (ДхШхВ)	360мм х 46мм х 167мм
Колір	Чорний
Напруга	100-260V/50-60Hz
Потужність	200 Вт (W)
Світловий потік	30000 lm
Колірність	6400K
Ступінь захисту	IP65
Кут розсіювання	90°
Ресурс роботи	50.000 годин
Тип світлодіода	SMD LED

Зовнішній вигляд світильника HERKUL-200 та габаритні розміри представлені на рис. 5.2, 5.3.



Рис. 5.2 - Зовнішній вигляд світильника HERKUL-200

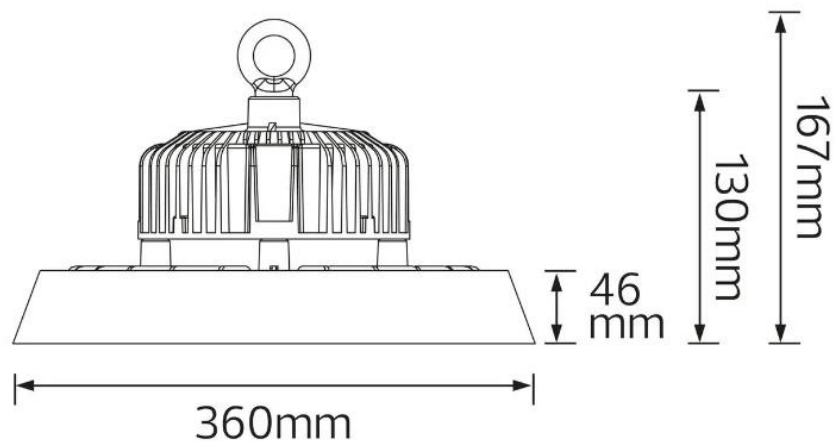


Рис. 5.3 - Габаритні розміри світильника HERKUL-200

Визначимо площу цеху:

$$S = A \cdot B = 24 \cdot 18 = 432 \text{ (м}^2\text{)},$$

де A – довжина цеху, м;

B – ширина цеху, м.

Визначимо розрахункову висоту, м :

$$h = H - (h_p + h_c) = 12 - (0,8 + 0,167) = 11,033 \text{ (м)}$$

де H – висота приміщень даного цеху, м; h_c – висота звісу світильника, м; h_p – висота робочої поверхні від підлоги, м.

За розмірами визначаємо індекс приміщення:

$$i = \frac{S}{h \cdot (A + B)} = \frac{432}{11,033 \cdot (24 + 18)} = 0,932$$

За таблицею приймаємо коефіцієнти відбивання поверхонь:

$$p_n = 50\%, p_c = 30\%, p_p = 10\%,$$

де ρ_n, ρ_c, ρ_p – коефіцієнти відбивання стелі, стін і робочої поверхні відповідно.

За знайденим індексом приміщення вибираємо коефіцієнт використання: $\eta = 36\%$.

Враховуючи тип світильників, задаємо коефіцієнтом запасу:

$$k_z = 1,5 \text{ і коефіцієнту нерівномірності освітлення } z = 1,1.$$

Визначаємо необхідну кількість світильників HERKUL-200:

$$N = \frac{E \cdot S \cdot k_z \cdot z}{\Phi \cdot \eta},$$

де S – площа цеху, м^2 ;

$\Phi = 30000$ лм – світловий потік світильника;

E – норма освітлення, лк.

Для виробничого цеху приймаємо норму освітлення $E = 300$ лк.

Тоді кількість світильників:

$$N = \frac{300 \cdot 432 \cdot 1,5 \cdot 1,1}{30000 \cdot 0,36} = 19,8$$

Приймаємо кількість світильників $N = 20$.

Схема розташування світильників наведена на рис. 5.4.

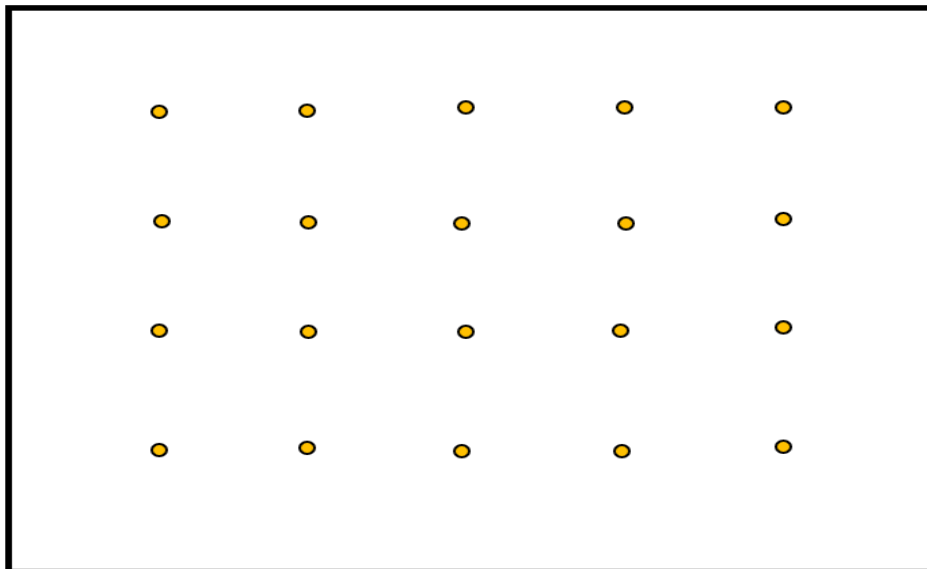


Рис. 5.4 – Схема розташування світильників на стелі цеху.

Висновки за розділом

У цьому розділі було проаналізовано основні фактори та загрози, які можуть вплинути на роботу у цеху. Розглянуті заходи, щодо зниження шкідливого і небезпечного впливу на робітників вібрації, пожежі, виробничого шуму та електрики.

Розроблено заходи з підвищення безпеки праці при експлуатації та налагодженні автоматизованої системи керування електроприводом вертикально-фрезерного верстата.

Розраховано загальне освітлення цеху, де експлуатується фрезерний верстат. Кількість ламп, необхідних для комфортного освітлення визначено за методом коефіцієнту використання світлового потоку. Для освітлення цеху обрано світлодіодні світильники HERKUL-200 та захистом від пилу та вологи IP65.

РОЗДІЛ 6

ОХОРОНА НАВКОЛИШНЬОГО СЕРЕДОВИЩА

6.1. Загальні положення

Охорона навколишнього середовища – система заходів щодо раціонального використання природних ресурсів, збереження особливо цінних та унікальних природних комплексів і забезпечення екологічної безпеки. Це сукупність державних, адміністративних, правових, економічних, політичних і суспільних заходів, спрямованих на раціональне використання, відтворення і збереження природних ресурсів землі, обмеження негативному впливу людської діяльності на навколишнє середовище [24].

Охорона навколишнього природного середовища, раціональне використання природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки життєдіяльності людини – невід’ємна умова сталого економічного та соціального розвитку України. З цією метою Україна здійснює на своїй території екологічну політику, спрямовану на збереження безпечного для існування живої та неживої природи навколишнього середовища, захисту життя і здоров’я населення від негативного впливу, зумовленого забрудненням навколишнього природного середовища, досягнення гармонійної взаємодії суспільства і природи, охорону, раціональне використання і відтворення природних ресурсів.

Основними принципами охорони навколишнього середовища є [24]:

- пріоритетність вимог екологічної безпеки, обов’язковість дотримання екологічних стандартів, нормативів та лімітів використання природних ресурсів при здійсненні господарської, управлінської та іншої діяльності;
- гарантування екологічно безпечного середовища для життя і здоров’я людей;
- запобіжний характер заходів щодо охорони навколишнього природного середовища;

- екологізація матеріального виробництва на основі комплексності рішень у питаннях охорони навколишнього природного середовища, використання та відтворення відновлюваних природних ресурсів, широкого впровадження новітніх технологій;
- збереження просторової та видової різноманітності і цілісності природних об'єктів і комплексів;
- науково обґрунтоване узгодження екологічних та соціальних інтересів суспільства на основі поєднання міждисциплінарних знань екологічних, соціальних, природних і технічних наук та прогнозування стану навколишнього природного середовища;
- обов'язковість надання висновків державної екологічної експертизи;
- гласність і демократизм при прийнятті рішень, реалізація яких впливає на стан навколишнього природного середовища, формування у населення екологічного світогляду;
- наукове обґрунтоване нормування впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище;
- безоплатність загального та платність спеціального використання природних ресурсів для господарської діяльності;
- компенсація шкоди, заподіяної порушення законодавства про охорону навколишнього природного середовища;
- вирішення питань охорони навколишнього природного середовища та використання природних ресурсів з урахуванням ступеня антропогенної зміненості територій, сукупної дії факторів, що негативно впливають на екологічну обстановку;
- поєднання заходів стимулювання і відповідальності у справі охорони навколишнього природного середовища;
- вирішення проблем охорони навколишнього природного середовища на основі широкого міждержавного співробітництва;
- встановлення екологічного податку, збору за спеціальне використання води, збору за спеціальне використання лісових ресурсів, плати за користування надрами відповідно до Податкового кодексу України.

Дотримання вказаних принципів створює необхідні умови для відтворення природних ресурсів, забезпечення екологічної безпеки, попередження та ліквідації негативного впливу господарської та іншої діяльності на навколишнє природне середовище, збереження природних ресурсів, генетичного фонду живої природи, ландшафтів та інших природних об'єктів пов'язаних з історично-культурною спадщиною України.

6.2. Аналіз джерел забруднення

Розроблені електроприводи і робота установки характеризуються наступними показниками:

- технологія безвідхідна, відсутні викиди хімічних забруднювачів (газоподібних, рідких, твердих) у біосферу; електронні елементи, вихід з ладу яких можливий у процесі роботи, легко піддаються утилізації;
- установка споживає тільки електроенергію;
- джерела радіоактивного і світлового забруднення відсутні;
- забруднення навколишнього середовища можуть створювати вібраційні та акустичні поля.

Розглянемо докладніше вплив джерел забруднення на навколишнє середовище і визначимо методи його зниження.

Оскільки у процесі роботи неможливо виключити вплив джерел вібраційного поля - потрібно вжити заходів по локалізації вібрації і зведення її впливу на навколишнє середовище до мінімуму. Згідно III закону Ньютона, будь-яка дія викликає протидію, тобто повинна бути сила, що врівноважує зусилля віброприводу. Такою силою є реакція опори. Іншими словами, на ґрунт може передаватися зусилля до 5 кН.

Оскільки маса ґрунту значна, рівень його вібрації буде невисокий. Однак, у визначених ситуаціях, цього буває достатньо для розвитку несприятливих наслідків, обумовлених наявністю в будь-яких фізичних тілах

частоти власних коливань, при якій вплив навіть малої амплітуди коливань приводить до виникнення резонансних явищ.

Резонанс властивий і для живих організмів, включаючи людину. Так, частота власних коливань шлунка ≈ 8 Гц, голови ≈ 25 Гц, центральної нервової системи ≈ 250 Гц, організму в цілому ≈ 6 Гц. На цих частотах може виникнути резонанс, що приведе до механічних ушкоджень чи розриву внутрішніх органів. У людини, що стоїть, це явище може виникнути для голови відносно основи, плечового пояса, стегон при $f = 4-6$ Гц, а в положенні сидячи – для голови відносно плеч – при $f = 4-30$ Гц; для лежачої людини область резонансних частот знаходиться в інтервалі 3-3,5 Гц.

Крім цього, якісна робота електронної апаратури (особливо підсилювачів слабких сигналів) можлива тільки при наявності якісного електричного заземлення; також кожне припинення роботи установки супроводжується розрядом індуктивних струмів. Потрапляння електричного струму в ґрунт призводить до виникнення блукаючих струмів і «крокової» різниці потенціалів. Це явище називається електрокорозійним забрудненням і викликає корозійні ушкодження металевих і залізобетонних конструкцій. При ушкодженні водогінної мережі і стічно-фекальної каналізації відбуваються підтоплення ґрунтів, зсуви, бактеріальні і хімічні забруднення ґрунтів, підземних вод і води у водопроводах.

6.3. Методи боротьби з забрудненнями

Одними з найбільш ефективних способів захисту навколишнього середовища від забруднюючих полів є їхня локалізація і зменшення потужності випромінювання.

Локалізація вібраційного поля здійснюється наступним шляхом. Обладнання, яке є джерелом вібрації встановлюється не безпосередньо на фундамент, а на амортизатори. Жорсткість амортизаторів обирається таким

чином, щоб власна частота коливань установки була як мінімум у 1,4 рази меншою за частоту вимушених коливань. При цьому дія вібраційного поля на навколишнє середовище зводиться до мінімуму.

Висновки за розділом

У даному розділі було оглянуто проблему антропогенного впливу на навколишнє середовище в цілому, а також визначено вплив на нього електронного устаткування у робочому стані. Було визначено методи запобігання наслідків вібраційних та електричних впливів від роботи електронної апаратури на навколишнє середовище.

ВИСНОВКИ

В рамках цієї кваліфікаційної роботи було спроектовано систему автоматичного керування електроприводами вертикально-фрезерного верстата.

Розроблено схему системи автоматичного керування електроприводами вертикально-фрезерного верстата, до структури якої включено: блок проектування законів часової зміни координат та 3 замкнені системи керування, кожна з яких включає датчик переміщення, датчик швидкості, послідовний та паралельний коригуючі пристрої, ШІМ перетворювач, високомоментний двигун постійного струму та черв'ячний редуктор.

Складено динамічну структурну схему системи автоматичного керування електроприводом, яка включала передавальні функції двигуна постійного струму та пристроїв корекції, а також коефіцієнти перетворення датчиків, силового перетворювача та черв'ячного редуктора.

Проведено обчислення динамічних показників системи автоматичного керування електроприводом подачі фрезерного верстата. Розроблена динамічна модель може бути застосована до всіх трьох приводів подач фрезерного верстата.

Визначено структуру та параметри коригувальних пристроїв системи автоматичного керування електроприводом подачі фрезерного верстата. Дискретні передавальні функції корегуючих пристроїв системи визначаються методом диференціального відображення, що дозволяє реалізувати їх у вигляді програми мікроконтролера.

В програмі Mathcad були розраховані і побудовані частотні характеристики системи керування електроприводом фрезерного верстата, визначені запаси стійкості при зміні електромеханічної постійної часу від максимального до подвійно максимального значення:

для $T_m = T_{max}$ $\Delta L = 38$ дБ – запас стійкості за амплітудою, $\Delta\varphi = 72^\circ$ – запас стійкості за фазою;

для $T_m = 2T_{max}$ $\Delta L = 29$ дБ – запас стійкості за амплітудою, $\Delta\varphi = 72^\circ$ – запас стійкості за фазою.

Аналіз перехідних властивостей системи керування при різних значеннях постійної часу T_m виявив, що підвищення електромеханічної постійної часу в 2 рази істотно не впливає на зміну перерегулювання та часу перехідного процесу. Це свідчить про те, що система - робастна і розраховані конструкції і показники коригуючих пристроїв можуть бути застосовані для всіх трьох електроприводів фрезерного верстата.

На основі динамічної структурної схеми системи керування була побудована динамічна модель системи керування в програмі Simulink, за допомогою якої були розраховані перехідні процеси при лінійно наростаючому, синусоїдальному і ступінчастому входних сигналах. В результаті моделювання були визначені показники якості керування: швидкісна та моментна складові похибки $\varepsilon_{уст.шв} = \varepsilon_{уст.м} = 0$; гармонійна складова похибки $\varepsilon_h = 0,047$ мм; максимальне перерегулювання $\sigma_{max} = 4,56\%$; час перехідного процесу $t_{set} = 5,45$ мс. Результати моделювання динаміки систем автоматичного керування електроприводами подач фрезерного верстата показали, що вони повністю задовольняють вимогам до точності та якості перехідних процесів.

В результаті проведених досліджень були розв'язані наступні задачі: для керування системою був обраний програмований логічний контролер *AutomationDirect CLICK C0-01DD2-D*, для керування двигунами постійного струму обран електропривод постійного струму *SIEMENS SINAMICS DCM 6RA8028-6DV62*, для виміру переміщень уздовж осей x , y , z обрано інкрементальні енкодери. Розроблена принципова електрична схема системи керування електроприводами фрезерного верстата та складен перелік елементів до цієї схеми.

Також були розглянуті питання охорони праці та навколишнього середовища, які пов'язані з експлуатацією фрезерного верстата.

ПЕРЕЛІК ЛІТЕРАТУРИ

1. Башарин А. В. Управление электроприводами: Учебное пособие для вузов / А. В. Башарин, В. А. Новиков, Г. Г. Соколовский. – Л.: Энергоиздат. Ленингр. отд-ние, 1982. – 392 с.
2. Г. Ф. Зайцев Теория автоматического управления и регулирования: Издание второе переработанное и дополненное – Киев Головное издательство издательского объединения «Выща Школа», 1988. – 424 с.
3. 65A60Ф1 станок фрезерный вертикальный с крестовым столом УЦИ руководство, схемы, описание, характеристики.
URL: https://stanki-katalog.ru/sprav_65a60f1.htm
4. Класифікація фрезерних верстатів.
URL: <https://bcpl.pto.org.ua/index.php/dopomoga/itemlist/category/251-budova-gorizontálních-i-vertikalnih-konsolno-frezernikh-verstativ-frezerni-verstati-klasifikatsiya-frezernikh-verstativ>
5. Числове програмне управління. URL: <https://bit.ly/2sz26fq>.
6. Классификация станков с ЧПУ, их виды и возможности.
URL: <https://top3dshop.ru/blog/klassifikatsiya-stankov-schpu.html#chtotakoe-stanok-s-chpu-i-kak-on-rabotaet>
7. Структурная схема системы ЧПУ класса SNC
URL: <https://studfile.net/preview/9275832/page:3/>
8. Принципи керування в електроприводі.
URL: https://stud.com.ua/84213/tehnika/printsiipi_upravlinnya_elektroprivodi
9. Черно, О. О. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Проектування системи автоматичного керування суднового вантажного маніпулятора» : у 2 ч. Частина 1. Теоретичні основи та методика проектування [Ел. ресурс] / О. О. Черно, А. П. Гуров, О. Г. Васильєв. – Миколаїв : НУК, 2018. – 31 с.
10. Корегуючі пристрої.
URL: <https://studfile.net/preview/5648852/page:4/>

11. Види корегуючих пристроїв

URL: <https://studfile.net/preview/5082938/page:11/>

12. Приводы постоянного тока SIEMENS SINAMICS DCM (NEW)

URL: <https://driveka.ru/catalog/1343.html>

13. Модуль управления SINAMICS DCM – Руководство по эксплуатации

URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/252/109478252/att_851830/v1/manual-Control-Module_ru.pdf

14. Обзорный каталог HEIDENHAIN

URL: http://www.maleks.odessa.ua/partn2/heiden/208_864-r02.pdf

15. CLICK overview_ru.pdf

URL: https://www.soliton.com.ua/2020/catalog/click/CLICK_overview_ru.pdf

16. Вікіпедія – енциклопедія

URL: https://uk.wikipedia.org/wiki/Охорона_праці

17. Лекція 3. Розділ 2. Охорона праці.

URL: <https://opcb.kpi.ua/wp-content/uploads/2014/08/Binder21.pdf>

18. Методичні вказівки до опрацювання розділу «Охорона праці»

URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/berezyuk_metodvkaz_rozd_ohorona_praci/2.html.

19. Електробезпека

URL: <http://www.ztec.com.ua/ztec/elib/Охорона%20праці/Тема%2017%20Електробезпека.pdf>

20. О. В. Березюк, М. С. Лемешев - Безпека життєдіяльності

URL: https://web.posibnyky.vntu.edu.ua/fmbt/berezyuk_bezpeka_zhittiediyalnosti/45.htm

21. Основи пожежної безпеки

URL: <https://sites.google.com/view/mamchur-natalia/теми/основипожежної-безпеки?pli=1>

22. Захист від шуму та вібрації

URL: <https://buklib.net/books/35233/>

23. Метод коэффициента использования светового потока.

URL: <https://studfile.net/preview/7017345/page:8/>

24. Охорона навколишнього середовища

URL: <https://pu.org.ua/14%20Охорона%20навколишнього%20середовища.pdf>

25. Павлов Г.В. Методичні вказівки до виконання дипломного проекту/

Г.В. Павлов, О.В. Коробко, І.В. Махнова. – Миколаїв: НУК, 2014 – 37 с.