

Національний університет кораблебудування
імені адмірала Макарова

Навчально-науковий інститут автоматики та електротехніки

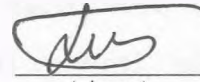
(повна назва інституту/факультету)

Кафедра автоматики

(повна назва кафедри)

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри



(підпис)

I. С. Білюк

«20» 12 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеня магістра

зі спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка
(код та назва спеціальності)

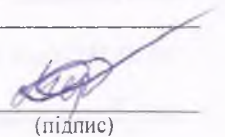
освітня програма Електромеханічні системи автоматизації та електропривод
(назва освітньої програми)

на тему: Удосконалення системи керування електроприводу затискання
Патрона токарного верстату

Виконав: студент групи 6371м

Меркулов Дмитро Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові)

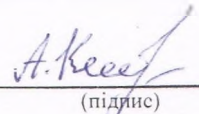


(підпис)

Керівник

асистент. каф. автоматики, к.т.н.,
Козлов А.Ю.

(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)

Рецензент

доцент кафедри СЕЕС,
к.т.н., доцент Новогрецький С.М.

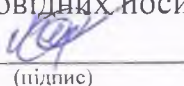
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)



(підпис)

Засвідчую, що у цій кваліфікаційній
роботі немає запозичень з праць інших
авторів без відповідних посилань.

Студент



(підпис)

м. Миколаїв – 2024 року

АНОТАЦІЯ

Магістерська робота присвячена удосконаленню системи керування електроприводом затискання патрона токарного верстата. У роботі розглянуто принципи дії та конструкцію токарного верстата з самозатискним патроном, а також технічні характеристики верстата 16K20, що є основою для вибору оптимальних рішень для системи автоматизації.

Одним із ключових аспектів є вибір частотного перетворювача для векторного керування електроприводом. В роботі обґрунтовано вибір векторного частотного перетворювача *CFM110*, який забезпечує високу точність і стабільність роботи системи при змінних навантаженнях.

Також у роботі проведено моделювання динамічних процесів у системі керування в середовищі Simulink, що дозволило розробити оптимізовані алгоритми керування для процесу затискання заготовки, що значно підвищить точність і ефективність виробничого процесу.

Робота має велике значення для впровадження автоматизованих систем керування на підприємствах, оскільки дозволяє значно підвищити продуктивність, зменшити час на переналагодження обладнання та покращити якість обробки деталей. Розроблені в роботі методи та алгоритми можуть бути використані для модернізації токарних верстатів з самозатискними патронами та для інших систем автоматизації виробничих процесів.

ABSTRACT

The master's thesis is devoted to the improvement of the control system for the electric drive of the lathe chuck clamping. The paper discusses the principles of operation and design of a lathe with a self-clamping chuck, as well as the technical characteristics of the 16K20 machine, which is the basis for selecting optimal solutions for the automation system.

One of the key aspects is the choice of a frequency converter for vector control of the electric drive. The paper substantiates the choice of the CFM110 vector frequency converter, which provides high accuracy and stability of the system under variable loads.

Also, the work simulates dynamic processes in the control system in Simulink, which allowed us to develop optimized control algorithms for the workpiece clamping process, which will significantly increase the accuracy and efficiency of the production process.

The work is of great importance for the implementation of automated control systems at enterprises, as it allows to significantly increase productivity, reduce the time for equipment changeover and improve the quality of parts processing. The methods and algorithms developed in this work can be used to modernize lathes with self-clamping chucks and for other production process automation systems.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	6
РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ ПРИНЦИПУ ДІЇ ТА КОНСТРУКЦІЇ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТУ З САМОЗАТИСКИМ ПАТРОНОМ.....	8
1.1. Будова та принцип дії токарного верстата.....	8
1.2. Основні технічні дані та характеристика токарного верстата 16K20.....	24
1.2.1. Основні технічні характеристики та конструкція.....	24
1.2.2. Приводні системи та швидкісний діапазон.....	29
1.2.3. Особливості самозатискного патрона та його переваги.....	31
1.2.4. Подача і точність обробки.....	31
1.2.5. Конструктивні особливості шпиндельного вузла та управління.....	32
1.2.6. Ергономіка та безпека експлуатації.....	32
Висновки за розділом 1.....	33
РОЗДІЛ 2 МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ.....	34
2.1 Побудова структурно-логічної схеми магістерського дослідження.....	34
2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження.....	40
2.3 Вибір методу вирішення поставленої задачі дослідження	41
РОЗДІЛ 3 ВЕКТОРНИЙ ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ.....	46
3.1. Історія розвитку конструкцій перетворювачів частоти.....	46
3.2. Класифікація перетворювачів частоти.....	48
3.3. Вибір частотного перетворювача.....	53
Висновки за розділом 3.....	64
РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ТА РОЗРОБКА КЕРУЮЧИХ АЛГОРИТМІВ.....	65
4.1. Рівняння для опису динаміки системи керування.....	65
4.2. Створення динамічної моделі системи керування в Simulink та моделювання процесу затиску заготовки.....	68
4.3. Розробка програмного алгоритму керування.....	72

Висновки за розділом 4	81
РОЗДІЛ 5 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	82
5.1. Основні положення та принципи охорони праці.....	82
5.2. Аналіз небезпечних шкідливих для здоров'я людини факторів, характерних для робіт, пов'язаних з налагодженням і обслуговуванням системи керування електроприводом самозатискного патрону токарного верстату.....	84
5.3. Розрахунок захисного заземлення системи керування електроприводом самозатискного патрону токарного верстату.....	88
5.4. Розробка заходів щодо зменшення впливу шкідливих та небезпечних факторів, пов'язаних з експлуатацією й налагодженням електропривода самозатискного патрону токарного верстату.....	91
Висновки за розділом 5.....	95
ВИСНОВОК.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	97
ДОДАТОК А. МУЛЬТИМЕДІЙНА ПРЕЗЕНТАЦІЯ.....	101

ВСТУП

Розвиток сучасних технологій та автоматизація виробничих процесів є важливими чинниками підвищення ефективності та конкурентоспроможності підприємств. У зв'язку з цим, удосконалення систем керування токарними верстатами, зокрема системи керування електроприводами затискання патрона, має велике значення для забезпечення високої точності обробки та зменшення часу на переналагодження обладнання.

Токарний верстат є одним із основних інструментів на виробництві, що використовується для обробки різних матеріалів. Застосування самозатискних патронів дозволяє значно зменшити час на переналагодження та підвищити точність обробки деталей. Однак для досягнення максимальної ефективності роботи таких верстатів необхідно застосовувати сучасні технології автоматизації, зокрема системи керування електроприводами.

Одним із ключових елементів системи автоматизованого керування є частотні перетворювачі, які дозволяють здійснювати точне регулювання швидкості обертання шпинделя та інших приводів верстата. Вибір правильного перетворювача та його інтеграція в систему керування є важливими кроками для досягнення бажаних результатів у модернізації виробничого обладнання.

У рамках цієї магістерської роботи буде здійснено удосконалення системи керування електроприводу затискання патрона токарного верстата. Метою роботи є удосконалення системи керування електроприводом затискання патрона токарного верстата шляхом розробки та впровадження автоматизованої системи, що забезпечує підвищення точності, надійності та ефективності обробки деталей.

Заданнями до магістерської роботи є:

- визначити основні технічні дані та характеристики токарного верстату 16K20;
- вибрати та пояснити доцільність використання частотного перетворювача CFM110 для використання його в системі керування;
- розробити рівняння динаміки системи;

- створити динамічну модель управління у системі *Simulink* та провести моделювання;

- розробити алгоритм керуючої програми.

Об'єкт дослідження: система керування електроприводом затискання патрона токарного верстата з самозатискним патроном.

Предмет дослідження: процеси автоматизації та моделювання динамічних процесів в системі керування електроприводом, а також розробка та оптимізація алгоритмів керування для удосконалення роботи токарного верстата з самозатискним патроном.

Робота спрямована на створення ефективної та надійної системи автоматизованого керування, що дозволить значно покращити роботу токарних верстатів і підвищити їхню продуктивність.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПРИНЦИПУ ДІЇ ТА КОНСТРУКЦІЇ ТОКАРНОГО ВЕРСТАТУ З САМОЗАТИСКНИМ ПАТРОНОМ.

1.1. Будова та принцип дії токарного верстата

Токарний верстат – це промисловий пристрій, який призначений для обробки точних матеріалів. Спочатку такі машини були розроблені для обробки металів, пластмас та інших матеріалів, а також з притаманною їм універсальністю, вони також можуть бути використані в широкому діапазоні застосувань і широкому діапазоні матеріалів.

Токарний верстат являється одним із універсальних пристроїв, що використовується в промисловості. Цією машиною може використовувати індивід, який дає точну команду комп'ютеру для виконання механічної обробки, такі як токарні та свердління. Такі верстати на теперішній час використовуються в усіх галузях, від автомобільного до аерокосмічного.

Токарний патрон – це основний елемент оснастки токарного верстата, затискний пристрій, що забезпечує фіксацію заготовок на шпинделі. Застосування патронів дозволяє проводити обробку на високих швидкостях обертання, забезпечує точність установки та необхідне зусилля затиску.

Даний елемент оснастки виготовляється з міцних марок чавуну або загартованої інструментальної сталі, має різні варіанти виконання, що забезпечують широкі можливості обробки деталей різної конфігурації.

Токарний патрон є одним з основних елементів техоснастки та необхідний для надійного кріплення заготовок різного розміру та форми на шпиндель. Висока точність затиску забезпечує центрування та перпендикулярність поверхні осі обробки. Патрон необхідний для проведення практично всіх токарних операцій, входить до обов'язкового комплекту оснастки металообробних ручних, напівавтоматичних та автоматичних верстатів. Цей тип затискача встановлюється

на передню бабку верстата. Передача обертання здійснюється від електромотора через коробку передач та роздавальну коробку.

Для забезпечення виробництва деталей необхідно кілька токарних набоїв, які підбираються з урахуванням основних експлуатаційних та технічних параметрів:

- Варіант виконання та кількість кулачків (затискних елементів) – визначає можливість фіксації того чи іншого типу заготовок, розташування кулачків, можливість встановлення кількох заготовок.

- Робочий діаметр патрона. Це зовнішній розмір, діаметр приєднувального пояса, а також розташування та параметри отворів кріплення.

- Параметри заготівлі. Необхідно врахувати найбільший та найменший діаметри, врахувати спосіб кріплення – зовнішній або внутрішній через зворотні кулачки. Також необхідно врахувати та допустиму масу деталі.

- Діаметр отвору у корпусі патрона.

- Необхідний при обробці довгого дроту. Максимальне значення частоти обертання.

Одним з основних параметрів класифікації патронів, що визначає можливості обробки тих чи інших заготовок, є кількість та конструкція кулачків. За кількістю затискачів патрони поділяються на:

- 1) Двохкулачкові патрони. Оптимальні для затискання заготовок невеликого розміру несиметричної форми - поковки, арматури і т.д.

- 2) Трикулачкові патрони, що самозатискаються. Використовуються для кріплення заготовок круглої та шестигранної форм. Забезпечує можливість швидкого центрування та фіксації.

- 3) Чотирикулачкові патрони з незалежною фіксацією затискачів. Даний тип оснастки застосовується для встановлення заготовок прямокутної та несиметричної форми, квадратних прутків.

- 4) Шестикулачкові патрони, що самозатискаються. Оптимальні для роботи з тонкостінними деталями завдяки мінімальному зусиллю зминання. Шість кулачків забезпечують рівномірний розподіл зусиль стискування.

За типом затиску кулачків патрони поділяються на прямі та зворотні. Перші забезпечують затискач по зовнішній поверхні, зворотні – за внутрішнім отвором. Застосування кулачків дозволяє обробити всю поверхню деталі.

За класом точності даний тип оснастки поділяється на 4 ступеня:

Н – нормальна;

П – підвищена;

В – висока;

А – особливо висока.

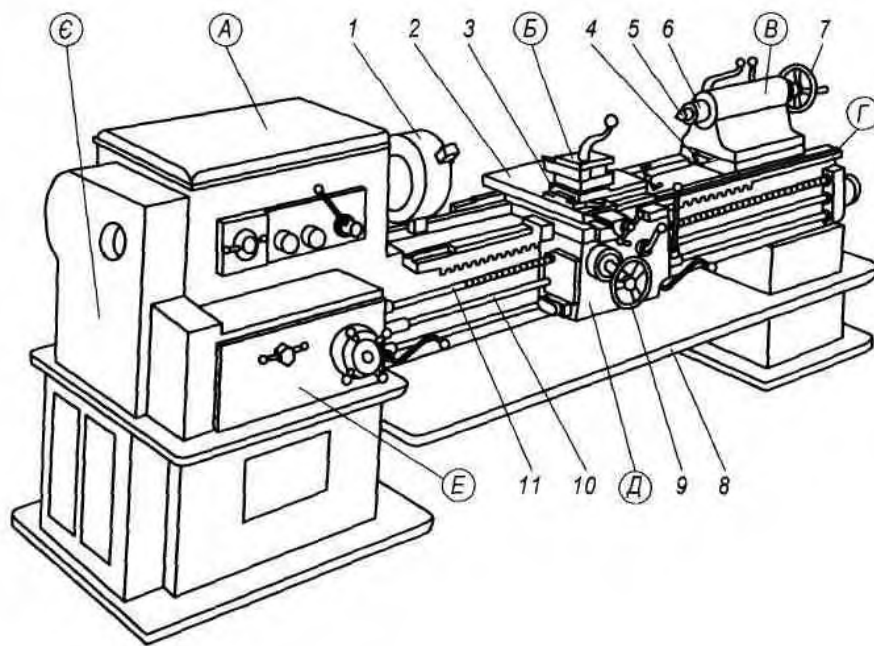


Рисунок 1.1 – Загальний вигляд токарно-гвинторізного верстата

А — передня бабка; Б — супорт; В — задня бабка; Г — станина; Д — фартух; Е — коробка подач; Є — гітара; 1 — патрон; 2 — поперечні полозки; 3 — верхні полозки; 4 — замок; 5 — центр; 6 — піноль; 7 — маховичок; 8 — корито; 9 — маховичок поздовжньої подачі; 10 — ходовий валик; 11 — ходовий

ГВИНТ

Передня бабка призначена для закріплення оброблюваної заготовки та надання останній різних частот обертання. Передня бабка складається з литого

корпуса й коробки швидкостей, останній порожнистий вал якої називається шпинделем.

Задня бабка використовується для підтримування за допомогою центра 5 правого кінця довгої заготовки, а також для закріплення в конічному отворі пінолі 6 інструмента для оброблення отворів.

Коробка подач служить для ступеневого регулювання поздовжніх і поперечних подач.

Ходовий гвинт використовують під час нарізування різі за допомогою різця; ходовий валик застосовують для звичайних поздовжніх і поперечних подач.

Супорт призначений для переміщення закріпленого в різцетримачі інструмента. Гітара кінематично з'єднує шпиндель з коробкою подач.

Такий верстат має хід пінолі задньої бабки, тому може бути обладнаний свердлильним патроном. Завдяки цьому він підійде не тільки для виточування деталей різного профілю, виконання заглиблень і канавок, вирівнювання, підрізання в розмір, але і для свердління отворів і нарізування внутрішньої та зовнішньої різьблення різними способами (плашки, мітчики, різці).

Такий верстат має хід пінолі задньої бабки, тому може бути обладнаний свердлильним патроном. Завдяки цьому він підійде не тільки для виточування деталей різного профілю, виконання заглиблень і канавок, вирівнювання, підрізання в розмір, але і для свердління отворів і нарізування внутрішньої та зовнішньої різьблення різними способами (плашки, мітчики, різці).

Для того, щоб виточити потрібну деталь, її потрібно закріпити у якомусь пристрої. Цим пристроєм є самозатискний патрон, що зображений на рис. 1.2, який укомплектований трьома кулачками [1]. Ці кулачки одночасно зводяться до центру або відводяться від нього, забезпечуючи подвійне затискання заготовки та її самозатискання.

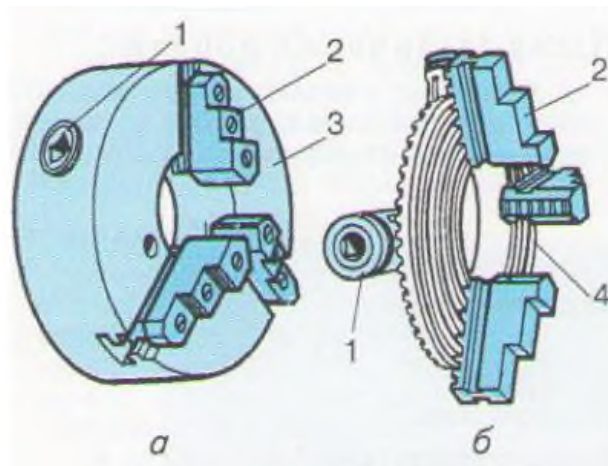


Рисунок 1.2 – Трикулачковий самозатискний патрон:

а – загальний вигляд; б – деталі патрона;

1 – конічне зубчасте колесо; 2 – кулачки; 3 – корпус; 1 – конічне колесо зі спіральною нарізкою

Кулачки 2 рухаються в радіальних пазах корпусу токарного патрона 3.

За рахунок виступів на підшві кулачки заходять у канавки спіральної нарізки великого конічного зубчастого колеса 4, яке приводять в обертний рух ключем, який вставляють по чергову у чотиригранні отвори, які розташовані на самому патроні 1. Обертаючи ключ патрона за годинниковою стрілкою, заготовка буде затискатися кулачками у патроні і навпаки, обертаючи ключ проти годинникової стрілки, заготовка звільняється від затискання.

Токарно – гвинторізні верстати по металу – це серйозне промислове металообробне обладнання, яка обробляє заготовки довжиною до 3000 мм або більше.

Такі металообробні обладнання призначені для здійснення всіляких токарних робіт – це точення та розточування циліндричних, конічних та фасонних поверхонь заготовок, нарізування різних видів різьблення, свердління отворів, розгортання та зенкування отворів, підрізування торців та інше [2]. Такий верстат має хід пінолі задньої бабки, тому може бути обладнаний свердлильним патроном. Завдяки цьому він підійде не тільки для виточування деталей різного профілю, виконання заглиблень і канавок, вирівнювання, підрізання в розмір, але і для

свердління отворів і нарізування внутрішньої та зовнішньої різьблення різними способами (плашки, мітчики, різці). Всі промислові токарно-гвинторізні верстати призначені для обробки заготовок із чорних та кольорових металів і є одним із найбільш затребуваних в інструментальному виробництві, приладобудуванні чи годинниковій промисловості.

Ці верстати легко справляються з обробкою заготовок із різних металів та сплавів. Діапазон режимів різання на таких верстатах, як правило, чорновий (зняття стружки товщиною до 7 мм.) та чистової (поверхня заготовки доводиться до «дзеркала»). Промислові токарні верстати мають коробку передач до 24-х швидкостей, прискорену подачу ходу супорта з джойстиком управління, швидкозмінний картриджний різцетримач, ножні гальма та багато інших професійних функцій[3]. Одна з таких функцій - різьби, що нарізаються: метричні, дюймові, модульні і трапецеїдальні. У комплект поставки входять люнети, планшайби, система подачі СОЖ (починаючи з D360) та всілякі верстатні світильники.

Кожен верстат із групи «Промислові токарно-гвинторізні верстати» розміщується на власній станині [4]. Станини відливаються із сірого чавуну особливої марки, після виливки, проходять перевірку ультразвуком на наявність прихованих раковин та тріщин, потім, вистояються не менше шести місяців і лише потім надходять на виробництво. Кожен токар знає, що тільки важка, жорстка станина здатна впоратися з вібраціями верстата під час обробки деталі. А коли, на токарно – гвинторізному верстаті обробляють заготівлю великої ваги, та ще, виконують чорнове обточування, вібрації досягають значних меж і, щоб справитися з ними, верстат повинен стояти «як укопаний». "Правильна" станина – це фундамент для створення надійного, точного, безпечного та функціонального верстата. Якісне загартування та шліфування напрямних, навіть при трьох змінній роботі, забезпечує, що залежить від них, точність токарно – гвинторізного верстата протягом декількох років жорсткої експлуатації. Відповідально виконаний шпиндель кожного верстата, для виготовлення використовується тільки легована сталь високої міцності.

Після перевірки точності шпindel встановлюється на прецизійні підшипники, що мають можливість регулювання. Вал передньої бабки та шестерні, так само проходять шліфування та загартування, для підвищення точності та міцності. Коробка подач на всіх моделях виконується за закритим типом, шестірні та вали всередині неї, загартовані та розташовуються в масляній ванні. Дуже зручно влаштована функція нарізування різьблення: немає потреби перекидати шестірні для зміни видів різьблення [5]. Для цього, на панелі управління є спеціальні рукоятки, за допомогою яких легко відбувається зміна різьби, що нарізається, з метричної на дюймову і навпаки.

Всі моделі в базовій комплектації оснащені швидкозмінним картриджним різцетримачем і, як само собою зрозуміло, пристроєм цифрової індикації, для зручного отримання інформації про переміщення та обороти.

При виборі верстата такого виду важливо врахувати:

1) Максимальний діаметр заготівлі, яку можна обробити, визначає відстань від осі обладнання до станини.

2) Граничну довжину деталі.

3) Вага

Найпоширенішими підприємствами з такими моделями обладнання є:

- Заводи, що випускають контрольно-вимірювальне обладнання та прилади.
- Підприємства, які займаються виробництвом вартових механізмів.
- Дослідно-експериментальні відділи підприємств різних промислових галузей.

Підприємства машинобудівної та енергетичної галузі оснащують токарно-гвинторізним пристроєм важкої групи. [6] Ще це обладнання застосовується для обробки вузлів деталей та елементів спеціальних механізмів:

- Для комплектації прокатного обладнання.
- Для оснащення транспорту залізничного (колісних пар та іншого).
- Механізмів турбінних.

Найбільш поширені верстати являються із середньою вагою. Саме з такими верстатами можна виконувати чистові або напівчистові металообробні операції та нарізати різноманітні різьблення.

Універсальний гвинторізний токарний верстат середнього ступеня тяжкості має багато переваг [7]. До них відносяться:

- Висока потужність двигуна та жорсткість конструкції, які дозволяють виконувати різноманітні роботи із заготовками з металу та іншого виду матеріалу.
- Широкий діапазон частот обертання шпинделя та подач робочого інструменту.

Крім того, це обладнання оснащується різноманітними пристроями та механізмами, які:

- Роблять більш безпечною та комфортною працю обслуговуючого персоналу.
- Дозволяють з більшою точністю проводити обробку виробу.
- Значно розширюють функціональність.

Такі елементи додаткового оснащення дозволяють на токарно-гвинторізнму устаткуванні автоматизувати багато процесів обробки елементів.

Варто сказати окремо і про токарно-гвинторізне обладнання з числовим програмним керуванням [8]. Як правило, подібним обладнанням оснащувалися підприємства, що займаються випуском великої номенклатури дрібносерійної продукції.

Пристрій обладнання такого типу і можливість швидкого переналагодження робить його незамінним у тих випадках, коли необхідно за мінімальну кількість часу перейти на випуск елементів іншої модифікації.

Як правило, токарне обладнання застосовується для обробки зовнішніх поверхонь, що мають циліндричну форму. У таких ситуаціях як інструмент використовується різець прохідний. Зазвичай припуск по довжині оброблюваного елемента становить 7-12 мм. Такий припуск у розмірі необхідний для того, щоб оброблювану заготовку можна було відрізати на потрібну довжину і обробити її торців.

Для того, щоб підрізати торець оброблюваного елемента можуть застосовуватися різці декількох видів [9]:

- 1) Підрізні.
- 2) Прямі прохідні.
- 3) Завзяті.

Для підрізування та обточування невеликого відступу на деталях використовується наполегливий тип різців.

А ще за допомогою універсального обладнання токарного можна на деталях прорізати канавки різної глибини [10]. Для цього використовується спеціальний інструмент, а процедура проводиться на малих швидкостях обертання шпинделя.

За аналогічним принципом виконується обрізка готового виробу. Процес відрізки закінчують тоді, як у місці відрізу діаметр перемички сягає величини 2–2,5 міліметра. У цей час зупиняється процес відрізання, а готовий виріб просто відламується від заготівлі.

При підключенні токарного верстата треба переконатись відповідно напруги та частоти живильної мережі електричним параметрам, які вказані у таблиці, що знаходиться на стінці шафи керування.

Введення проводів заземлення та електроживлення може бути виконаний через верхню площину шафи управління, так і через нижню. Для цього фланець з різьбовим отвором 3/4" труб, що служить для приєднання захисної оболонки мережевих проводів, взаємозамінний з кришкою нижньої площини шафи. Підключення верстата до мережі живлення та системи заземлення повинно проводитися ізольованими мідними проводами згідно з табл. 1.1 [11].

Таблиця 1.1 – Параметри системи живлення

Система енергоживлення	Напруга, В	Ізольований мідний провід	
		Перетин, мм ²	Кількість
3 глухозаземленим	220	6	4

Система енергоживлення	Напруга, В	Ізольований мідний провід	
		Перетин, мм ²	Кількість
нейтральним дротом	380-500	4	
З ізольованим нейтральним дротом	220	6	5
	380-500	4	

У разі необхідності виконання заземлення верстата сталевую шиною за таблицею 1.2 використовується спеціальний болт, розташований на задній стороні верстата під шафою управління, при цьому кількість проводів, що вводяться, скорочується на один.

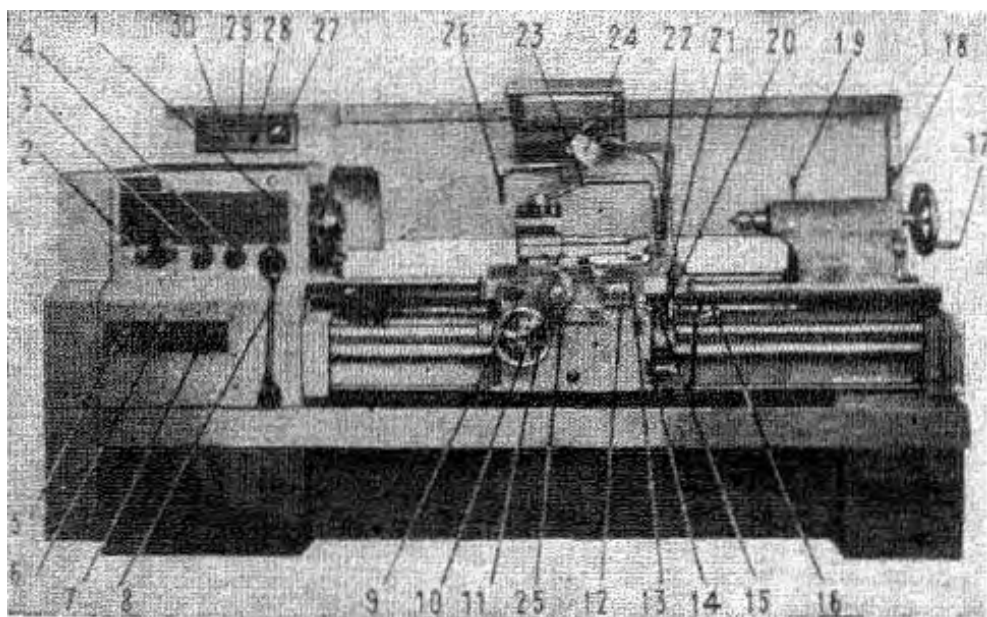


Рисунок 1.3 – Органи керування токарно – гвинторізного верстата

Серед моделей токарно – гвинторізних верстатів існують такі як: промислові універсальні та навчальні [12].

Промислові універсальні:

ДП200 — перші радянські токарно – гвинторізні верстати з коробкою швидкостей виробництва Випускався з 1932 року по 1937 рік.

ДП300, ДП400, ДП500 — модифікації ДП200 що відрізнялися висотою центрів над станиною.

1Д62 — наступник ДП200. Випускався з 1937 року по 1948 рік.

1А62 — наступник 1Д62. Випускався з 1949 року по 1956 рік

1К62 — наступник 1А62. Випускався з 1956 року по 1971 рік.

16К20 — наступник 1К62. Випускався з 1973 року по 1988 рік.

КА-280 — український аналог 16К20 виробництва Київського верстатобудівного виробничого об'єднання. Випускався з 1991 до 2003 року.

ЖА-805 — український аналог КА-280 виробництва Житомирського заводу верстатів-автоматів.

МК6056 — наступник 16К20.

МК6057, МК6058 — модифікації МК6056 що відрізнялися міжцентровою відстанню. Останні верстати збудовані верстатобудівним заводом «Червоний пролетар». Завод припинив своє існування у 2010 році.

16ВТ20П — аналог МК6057 підвищеної точності виробництва.

Навчальні універсальні:

ТВШ-2 — перший радянський настільний токарно-гвинторізний верстат для шкільних майстерень

ТВШ-3 — модернізована версія ТВШ-2 з копіюванням конструкції німецького верстата вивезеного радянськими військами за часів Другої світової війни.

ТВ-4 — наступник ТВШ-3.

ТВ-6 — наступник ТВ-4.

ТВ-6М — модернізована версія ТВ-4 виробництва Дубненського ливарно-механічного заводу .

ТВ-7 — наступник ТВ-6.

ТВ-7М, -ТВ-9, ТВ-11 — модифікації ТВ-7, що відрізнялися від базової моделі міжцентровою відстанню.

ТВ-16 — аналог-копія чехословацького верстата TOS MN-80a.

Таблиця 1.2 – Перелік частин токарно – гвинторізного верстата

Номер	Органи керування	Спосіб користування
1	Рукоятка встановлення ряду чисел обороту шпинделя	Чотири фіксовані положення для встановлення ряду чисел оборотів та три проміжні для поділу багатозахідних різьблень
2	Рукоятка встановлення числа оборотів Шпинделя	Шість фіксовані положення
3	Рукоятка встановлення нормального збільшеного кроку різьблення та положення при розподілі багатозахідних різьблення	Два фіксовані положення для нормального та збільшеного кроку та проміжне положення для поділу багатозахідних різьблень
4	Рукоятка встановлення правої та лівої різьблення	Два фіксовані положення
5	Рукоятка - установки величини подачі н кроку різьблення	Чотири фіксовані положення
6	Рукоятка встановлення виду робіт: подачі і типу різьби, що нарізається	Також
7	Рукоятка встановлення величини подачі та кроку різьблення та відключення	Чотири фіксовані положення, позначених літерами, і два проміжні, позначені стрілками

Номер	Органи керування	Спосіб користування
	механізму коробки подач при нарізанні різьблення безпосередньо	
8	Рукоятка управління фрикційною муфтою головного приводу (зблокована з рукояткою 16)	Три фіксовані положення. Середнє положення - муфта вимкнена. гальмо включене. Переміщення на себе і поворот праворуч - включення прямого обертання шпинделя. Переміщення на себе і поворот вліво - включення зворотного обертання шпинделя
9	Кнопка золотника мастила направляючих каретки та поперечних санок супорта	Натискання-відкриття золотника
10	Маховик ручного переміщення каретки	Обертання проти годинникової стрілки - переміщення каретки вліво. Обертання за годинниковою стрілкою - переміщення каретки вправо
11	Рукоятка включення та вимкнення рейкової шестерні	Переміщення від себе – зчеплення передач з рейкою. Переміщення на себе – розчеплення шестерні з рейкою

Номер	Органи керування	Спосіб користування
12	Кнопкова станція включення та вимикання електродвигуна головного приводу	Натискання чорної кнопки - увімкнення електродвигуна. Натискання червоної кнопки - вимкнення електродвигуна
13	Болт кріплення каретки на станині	Поворот болта ключем по годинниковій стрілці – закріплення каретки. Поворот болта ключем проти годинникової стрілки - відкріплення каретки
14	Рукоятка увімкнення подачі	Підняття вгору включення черв'яка фартуха
15	Рукоятка включення та вимкнення гайки ходового гвинта	Поворот вниз - увімкнення гайки. Поворот вгору – вимкнення гайки
16	Рукоятка управління фрикційною муфтою головного приводу (зблокована з рукояткою 8)	Три фіксовані положення. 1)Середнє положення - муфта вимкнена, гальмо включене. 2)Натискання вліво і поворот вгору – включення прямого обертання шпинделя. 3)Натискання ліворуч і поворот вниз — увімкнення зворотного обертання шпинделя
17	Маховик переміщення пінолі задньої бабки	Обертання по пінолі вартвий ліворуч стрілці. Обертання проти годинникової стрілки - переміщення пінолі вправо.

Номер	Органи керування	Спосіб користування
18	Рукоятка кріплення задньої бабки до станини	Поворот від себе - закріплення задньої бабки. Поворот на себе - відкріплення задньої бабки
19	Рукоятка затискача пінолі задньої бабки	Поворот праворуч - піноль затиснута. Поворот вліво - ліноль розтиснута
20	Рукоятка управління механічними переміщеннями каретки та поперечних санок супорта	Поворот ліворуч - увімкнення переміщення каретки ліворуч. Поворот праворуч – увімкнення переміщення каретки вправо. Поворот поперечних від себе – увімкнення переміщення санок вперед. Поворот на себе - увімкнення переміщення поперечних санок назад
21	Кнопка увімкнення електродвигуна приводу швидких переміщень каретки та поперечних санок супорта	Натискання – увімкнення електродвигуна
22	Рукоятка ручного переміщення різцевих санчат супорта	Обертання за годинниковою стрілкою - переміщення санок вліво. Обертання проти годинникової стрілки-переміщення санок вправо
23	Рукоятка повороту в закріплення індексованої різцевої головки	Обертання проти годинникової стрілки - відкріплення і поворот різцевої головки. Обертання за годинниковою стрілкою -

Номер	Органи керування	Спосіб користування
		фіксування та закріплення різцевої головки
24	Вимикач лампи місцевого освітлення	Поворот у бік цоколя лампи - включення. Поворот у бік колби лампи – вимикання
25	Рукоятка ручного переміщення поперечних санчат супорта	Обертання санок – переміщення за годинниковою стрілкою уперед. Обертання проти годинникової стрілки - переміщення санок назад
26	Регульоване сопло подачі охолоджувальної рідини	Поворот за годинниковою стрілкою - зменшення кількості рідини, що охолоджує, подається до ріжучого інструменту. Поворот проти годинникової стрілки – збільшення.
27	Показчик навантаження верстата	Служить визначення навантаження на електродвигун головного приводу при обробці деталей Забарвлена зона є зоною максимального. ККД верстата, а правий її кордон є граничним, перехід стрілки за яку не допускається
28	Вимикач електронасосу подачі охолоджувальної рідини	Увімкнення та вимкнення виконуються відповідно до символів на панелі електрошкафи управління
29	Сигнальна лампа	Лампа світиться - електроживлення Увімкнено

Номер	Органи керування	Спосіб користування
30	Вступний автоматичний вимикач	Увімкнення та вимкнення виконуються відповідно до символів на панелі електрошафи управління

1.2. Основні технічні дані та характеристика токарного верстата 16K20

Токарний верстат 16K20 належить до класу універсальних токарних верстатів і призначений для виконання широкого спектра обробних операцій, таких як обточування зовнішніх та внутрішніх поверхонь, нарізання різьби, свердління та розточування [14]. Завдяки своїй міцній конструкції, точності та можливості автоматизації, він став одним із найбільш популярних варіантів токарного обладнання в металообробній промисловості. Наявність самозатискного патрона в цій модифікації додає додаткових переваг у роботі, підвищуючи продуктивність та безпеку. Розглянемо основні технічні дані та характеристики цього обладнання, що роблять його ефективним рішенням для сучасного виробництва.

1.2.1. Основні технічні характеристики та конструкція

Верстат моделі 16K20 призначений для виконання різноманітних токарних робіт під час закріплення виробу в центрах або в патроні, а також для нарізування метричної, дюймової та модульної різі.



Рисунок 1.4 – Загальний вигляд верстату 16K20

Основні параметри (табл. 1.3):

- Максимальний діаметр обробки над станком – 400 мм.
- Максимальний діаметр обробки над супортом – 220 мм.
- Максимальна довжина оброблюваної деталі – 1000 мм у стандартній конфігурації, 1500 мм у подовженій версії.
- Діаметр шпиндельного отвору – 52 мм, що дозволяє обробляти довгі заготовки із встановленням їх через шпиндель.

Конструкція верстата виконана з міцних матеріалів, що зменшує вібрації та забезпечує стабільність обробки. Корпус із чавуну додає масивності та дозволяє витримувати значні навантаження, підвищуючи точність обробки.

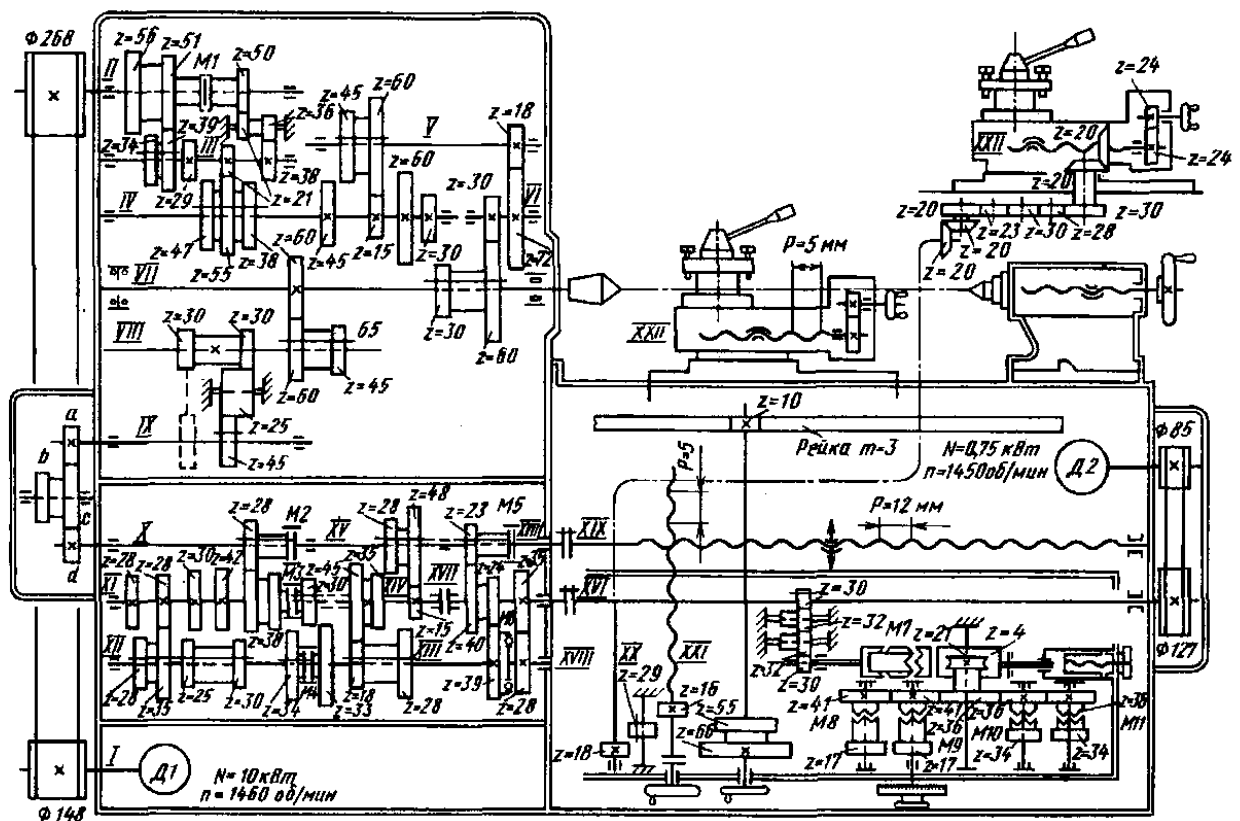


Рисунок 1.5 – Кінематична схема токарного верстат 16K20

Жорсткість конструкції верстатів за досить високої потужності електродвигуна та широкого діапазону частоти обертання шпинделя дає змогу

повністю використовувати можливості інструменту зі швидкорізальної сталі та твердих сплавів.

Привод головного руху здійснюється від електродвигуна через клінонімні передачі та коробку швидкостей, змонтовану в лівій тумбі верстата.

Таблиця 1.3 – Технічні дані верстата 16K20

Найменування параметра		Одиниця виміру		Величини параметра
Найбільша довжина виробу, що обробляється		мм дюйм		710 27 ^{15/16}
		мм дюйм		1000 39 ^{8/8}
		мм дюйм		1400 55 ^{1/8}
		мм дюйм		2000 78 ^{8/4}
Висота осі центрів над плоскими напрямками 250 ними станини		мм дюйм		215 8 ^{7/18}
Межі чисел оборотів шпинделя		основне виконання	об/хв	12,5—1600
		на особливе замовлення		16 –2000
Межі подач		Поздовжні	мм/об дюйм/об	0,05-2,8 0,002-0,11
		Поперечні		0,025—1,4 0,001—0,055
Найбільше зусилля, що	Поздовжні	На упорі		800 (7845)
		На різці		600 (5884)

Найменування параметра		Одиниця виміру		Величини параметра
допускається механізмом подач	Поперечні	На упорі	кгс (н)	460 (4510)
		На різці		360 (3530)
Габарит станка	Довжина	мм дюйм	2505	
			98 ^{5/8}	
			2795	
			110 ^{1/16}	
	3195			
	27 ^{13/16}			
	3795			
125 ^{1/2}				
Ширина	1190			
46 ^{7/8}				
Висота	1500			
		59 ^{1/16}		
Маса верстата		Кг	2835	
		Кг	3005	
		Кг	3225	
		Кг	3685	

Таблиця 1.4 – Параметри обробних виробів

Найменування параметра		Одиниця виміру	Величини параметра
Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над верстатом		мм дюйм	400
Найбільший діаметр обробки над поперечними санчатами супорта		мм дюйм	220
Найбільший діаметр виробу, що встановлюється над виїмкою у станині		мм дюйм	-
Найбільший діаметр прутка, що проходить через отвір у шпинделі		мм дюйм	53
Найменування параметра		Одиниця виміру	Величини параметра
Найбільша довжина обточування		мм/дюйм	645
		мм/дюйм	935
		мм/дюйм	1335
		мм/дюйм	1935
Відстань від торця фланця шпинделя до правого краю виїмки		мм/дюйм	-
Довжина виїмки		мм/дюйм	-
Межі кроків різьблення	метричних	мм	0,5-112
	модульних	модуль	0,5-112
	дюймових	Число ниток на 1"	56-0,5
	пітчових	пітч	56-0,5
	в патроні	кг	200
	в центрах	кг	460

Найменування параметра		Одиниця виміру	Величини параметра
Максимально допустима маса виробу:		кг	650
		кг	900
		кг	1300

1.2.2. Приводні системи та швидкісний діапазон

Швидкість обертання шпинделя в моделі 16K20 регулюється в межах від 12,5 до 2000 об/хв, що забезпечується 23 швидкостями. Це дозволяє налаштувати обробку під специфіку матеріалу та тип операції (табл. 1.4). Діапазон швидкостей дає можливість виконувати різні роботи: від точного фінішного обточування до чорнового оброблення з високою подачею [17]. Крім того, шпиндель може працювати в реверсному режимі, що корисно при нарізанні різьби та інших операціях, які вимагають зворотного обертання.

Привод складається з потужного електродвигуна на 0,12 кВт і коробки передач, яка забезпечує плавну зміну швидкості шпинделя. Це дозволяє налаштувати оптимальні режими для досягнення максимальної точності та якості обробки.

Електропривід містить асинхронний електродвигун *Siemens 1LE0001-0AA72*. Паспортні дані двигуна:

- число пар полюсів $p_n = 2$;
- номінальна частота мережі $f = 50$ Гц;
- фазна напруга $U_\phi = 220$ В;
- номінальний струм $I_n = 0,437$ А;
- номінальна потужність $P_n = 0,12$ кВт;
- синхронна частота обертання $n_c = 1500$ об/хв;
- номінальне ковзання $s_n = 0,08$;
- ККД $\eta = 0,63$;
- $\cos \varphi = 0,66$;

- кратність максимального моменту $k_{M \max} = 2,2$;
- кратність пускового моменту $k_{M \pi} = 2$;
- кратність мінімального моменту $k_{M \min} = 1,2$;
- кратність пускового струму $k_{I \pi} = 5$;
- момент інерції ротора $J = 0,0007 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$.

Виходячи з паспортних даних, розраховуємо наступні параметри двигуна.

Синхронна кругова частота:

$$\omega_c = \frac{30}{\pi} n_c = \frac{30}{3,14} \cdot 1500 = 157,08 \text{ (рад/с)}.$$

Номінальна частота обертання:

$$n_n = n_c \cdot (1 - s_n) = 1500 \cdot (1 - 0,08) = 1380 \text{ (об/хв)}.$$

Номінальна кругова частота:

$$\omega_n = \frac{\pi}{30} n_n = \frac{3,14}{30} \cdot 1380 = 144,513 \text{ (рад/с)}.$$

Номінальний момент:

$$M_n = \frac{P_n}{\omega_n} = \frac{250}{144,513} = 0,83 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Максимальний момент:

$$M_{\max} = M_n \cdot k_{M \max} = 0,83 \cdot 2,2 = 1,827 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

Пусковий момент:

$$M_{\pi} = M_{\pi} \cdot k_{M_{\pi}} = 0,83 \cdot 2 = 1,661 \text{ (Н} \cdot \text{м)}.$$

1.2.3. Особливості самозатискного патрона та його переваги

Наявність самозатискного патрона в цій модифікації верстата значно підвищує продуктивність і спрощує роботу оператора. Самозатискний патрон може автоматично затискати заготовку, рівномірно розподіляючи силу затиску на всі кулачки. Основними перевагами самозатискного патрона являються[18]:

- Підвищення продуктивності: Завдяки такому швидкому та надійному затиску деталі, зменшується час простою між операціями, що важливо для серійного виробництва.
- Безпека: Рівномірний затиск може зменшувати ризик розхитування або вібрацій, що покращує безпеку роботи.
- Зменшення механічного навантаження на деталь: Самозатискний патрон дозволяє уникнути деформації заготовки через надмірний тиск, що особливо важливо при роботі з тонкостінними деталями.

Самозатискні патрони працюють з використанням внутрішніх пружинних механізмів або гідравлічної системи, що забезпечує автоматичне затискання та можливість регулювання тиску. Такі патрони можуть бути інтегровані у верстат без потреби у значній модифікації конструкції, що дозволяє збільшити його функціональність.

1.2.4. Подача та точність обробки

Токарний верстат 16K20 оснащений автоматичними системами подач, що полегшує виконання точних і послідовних операцій [19]:

- Поздовжня подача: від 0,05 до 2,8 мм/об, забезпечує плавний рух уздовж осі шпинделя.

- Поперечна подача: від 0,02 до 1,4 мм/об, відповідає за переміщення поперечному напрямку.

Ці показники дозволяють налаштовувати процес обробки для досягнення високої точності та повторюваності. Важливою складовою є наявність механізмів точного контролю подачі, що дозволяє налаштовувати режим обробки для різних типів матеріалів і вимог до продукції.

1.2.5. Конструктивні особливості шпиндельного вузла та управління

Шпиндельний вузол має високу жорсткість та стабільність, що забезпечує точну обробку навіть на високих швидкостях обертання [20]. Він оснащений прецизійними підшипниками, що знижують рівень вібрацій і сприяють підвищенню якості обробки.

Для керування над самим токарним верстатом 16K20 часто передбачена можливість встановлення системи числового програмного керування (ЧПК), яка дозволяє автоматизувати обробку та інтегрувати верстат у виробничі лінії. У токарних верстатах із самозатискним патроном така автоматизація особливо ефективна, оскільки дозволяє швидко змінювати заготовки без ручного втручання оператора.

1.2.6. Ергономіка та безпека експлуатації

Токарний верстат 16K20 має зручне розташування органів управління та конструкцію, що забезпечує комфортну роботу оператора. Безпека експлуатації забезпечується наявністю захисних елементів, які запобігають випадковому контакту з обертовими частинами верстата. Гальмівна система швидко зупиняє шпиндель, що також сприяє для безпеки.

Захисні екрани й системи блокування забезпечують додатковий рівень безпеки під час роботи. У верстатах, оснащених самозатискним патроном, ці елементи особливо актуальні, тому що підвищений рівень автоматизації вимагає додаткових заходів захисту оператора.

Висновки за розділом 1

У першому розділі виконано аналіз принципу дії та конструкції токарного верстата з самозатискним патроном, що дозволило визначити ключові аспекти його роботи та технічні характеристики, які впливають на функціонування системи затискання.

Розглянуто будову та принцип дії токарного верстата, що є основою для розуміння роботи всіх його механізмів. Проведено детальний аналіз технічних характеристик верстата 16K20, включаючи його конструкцію, приводні системи, швидкісний діапазон, що дозволяє забезпечити необхідну точність обробки.

Особливу увагу приділено вивченню конструктивних особливостей самозатискного патрона. Оцінено його переваги, такі як підвищення надійності затискання деталей, зменшення втрат часу на переналагодження та збільшення точності обробки. Аналіз конструкції шпиндельного вузла та системи управління дозволив визначити ключові параметри, що впливають на ефективність роботи системи затискання.

Також розглянуто аспекти ергономіки та безпеки експлуатації токарного верстата, які є важливими для забезпечення зручності використання та зменшення ризиків для оператора.

РОЗДІЛ 2

МЕТОДОЛОГІЯ МАГІСТЕРСЬКОГО ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Побудова структурно-логічної схеми магістерського дослідження

Метод (від грецького *methodos* – шлях до чого-небудь) – в найбільш загальному випадку означає засіб досягнення мети, спосіб дослідження явища, який визначає планомірний підхід до їх наукового пізнання та встановлення істини. Науковий метод – це спосіб пізнання явищ дійсності в їх взаємозв'язку та розвитку, спосіб досягнення поставленої мети і завдань дослідження і відповідає на запитання: «Як пізнавати?». Методика дослідження – це система правил використання методів, прийомів та способів для проведення будь-якого дослідження. Свідоме застосування науково обґрунтованих методів слід розглядати як найсуттєвішу умову отримання нових знань. Дослідник, який добре знає методи дослідження і можливості їх застосування, витрачає менше зусиль і працює успішніше, ніж той, хто у своєму дослідженні спирається лише на інтуїцію або діє за принципом «спроб і помилок». Звісно, що точні і правильні методи – не єдині компоненти, що забезпечують успішність наукового дослідження. Методи не можуть, наприклад, замінити творчу думку дослідника, його здібність аналізувати, робити висновки і передбачення. Але застосування правильних методів спрямовує хід думок дослідника, відкриває перед ним найкоротший шлях для досягнення мети і забезпечує таким чином можливість раціонально витратити енергію і час науковця. Кожний метод наукового пізнання слід розглядати як систему регулятивних принципів практичної і теоретичної діяльності людини. Методів пізнання об'єктивної дійсності відомо дуже багато. Правильний вибір методів дослідження потребує знання їх класифікації.

Розрізняють методи теоретичних та емпіричних досліджень. Такий розподіл методів завжди умовний, оскільки з розвитком пізнання один науковий метод може переходити з однієї категорії в іншу.

Методи наукових досліджень теоретичного рівня. На теоретичному рівні дослідження одним з найпоширеніших наукових методів є абстрагування 26 (таблиця 2.1). В цілому дієслово «абстрагувати» означає відокремлювати в думках одні властивості, зв'язки та відношення явища або об'єкта від інших. Відповідно зміст даного методу полягає у відверненні від неістотних ознак предмета дослідження й одночасному виділенні тих, які мають найбільший інтерес. Використання методу абстрагування на початковому етапі дослідження дає змогу превентивно вирішити наукову проблему, акцентуючи увагу на її основних аспектах.

Таблиця 2.1 – Наукові методи теоретичних досліджень

Методи	Характеристики
Абстрагування	Уявне відвернення від неістотних, другорядних ознак явища або об'єкта, зв'язків і відношень між ними та виокремлення кількох сторін, які цікавлять дослідника
Аналіз	Метод пізнання, який дає змогу гіпотетично поділити явище або об'єкт на окремі складові частини та досліджувати їх відокремлено одна від одної
Синтез	Метод, який є результатом об'єднання окремих складових частин явища або об'єкта в єдине ціле, досліджуючи загальні ознаки і властивості
Моделювання	Опосередкований метод дослідження явища або об'єкта, який ґрунтується на застосуванні моделі як засобу дослідження, коли вивчити явище або об'єкт не можливо
Аксіоматичний метод	Метод побудови наукової теорії, за яким деякі твердження приймаються без доведень, а всі інші знання виводяться з них відповідно до певних логічних правил

Методи	Характеристики
Ідеалізація	Гіпотетичне конструювання явища або об'єкта, яких немає в дійсності або які за суб'єктивних причин практично нездійсненні
Формалізація	Метод вивчення явища або об'єкта через відображення їх структури в знаковій формі за допомогою штучних мов, наприклад, математики, фізики, хімії тощо
Дедукція	Умовивід, у якому висновок про той чи той елемент множини робиться на підставі знання про загальні властивості усієї множини
Індукція	Умовивід від часткового до загального, від окремих фактів до узагальнень, коли на основі знань про частини предметів певного класу робиться висновок про клас загалом

Вибір конкретних методів дослідження диктується характером фактичного матеріалу, умовами і метою конкретного дослідження.

В науковій сфері методи аналізу і синтезу зіставляються між собою.

Якщо вивчити явище або об'єкт складно та недоцільно, використовується метод моделювання. Незважаючи на те, що даний метод пов'язаний з ризиковістю, він дає змогу ґрунтовно дослідити закономірності виникнення й існування того чи іншого явища або об'єкта, реально оцінити їх взаємозалежність. При порівнянні альтернативних моделей кращою вважають ту з них, якій відповідає мінімальне значення середнього ризику. Величина похибки відображає залежність між предметом дослідження та впливом низки екзогенних чинників.

Емпіричні методи наукових досліджень

На емпіричному рівні використовується широкий спектр методів наукового дослідження, які можна об'єднати в наступну групу (таблиця 2.2).

Таблиця 2.2 – Емпіричні методи наукових досліджень

Методи	Характеристики
Вимірювання	Визначення кількісних характеристик явища або об'єкта за допомогою спеціальних технічних пристроїв та одиниць виміру
Порівняння	Процес зіставлення явища або об'єкта з метою з'ясування подібності та відмінності між ними, а також знаходження загального, що може бути властивим двом чи кільком явищам або об'єктам дослідження
Спостереження	Системне, цілеспрямоване, спеціально організоване візуальне сприймання явища або об'єкта, опосередковане раціональним знанням
Експеримент	Метод вивчення явища або об'єкта, коли дослідник активно та цілеспрямовано впливає на нього для створення штучних чи використання природних умов, необхідних для виявлення його ознак і властивостей

Найскладнішою є методика експериментальних досліджень, як лабораторних, так і польових.

Натомість на теоретичному рівні використовується пізнавальна діяльність, в якій структура реального експерименту відтворюється в уяві, тобто розумовий експеримент.

Модель (лат. *modus* — міра, франц. — *modele* — зразок) — штучно створений об'єкт у вигляді схеми, креслення, логіко-математичних знакових формул, фізичної конструкції й т.п., що аналогічний (подібний) досліджуваному об'єкту, процесу відображає й відтворює в більше простому, зменшеному виді структуру, властивості, взаємозв'язки й відносини між елементами досліджуваного об'єкта, процесу, безпосереднє вивчення якого зв'язано якими-

небудь труднощами, більшими витратами коштів або просто недоступно, і тим самим полегшує процес одержання інформації про предмет, що цікавить нас, явищі, процеси

Пізніше були осмислені модельні властивості креслень, малюнків, карт – реальних об'єктів штучного походження, які дозволили втілити абстракцію більш високого рівня. Тобто наступний крок заключався в визнанні того, що моделями можуть служити не тільки реальні об'єкти, а і абстрактні, ідеальні побудови, типовим прикладом яких є математичні моделі.

Коротко кажучи – Модель це системне відображення оригіналу.

Термін "модель" використовується в різних областях діяльності людини і як правило означає спрощену картину реальності або прообраз майбутнього.

У дослідженнях модель заміняє оригінал так, що її вивчення дає нові знання про об'єкт дослідження.

Термін "модель" в науці являє собою штучно створену систему, яка відображає або здатна відтворити основні сторони реальної системи, яка називається оригіналом.

Моделювання – це дослідження оригіналу не безпосередньо, а непрямым шляхом з допомогою штучно побудованої системи, яка називається моделлю.

Моделювання включає процес побудови, вивчення та примінення моделей.

Виникає запитання : для чого необхідне моделювання , у яких випадках необхідно розробляти модель, а коли проводити пряме дослідження оригіналу? При цьому слід відмітити, що оригінал може бути недоступним для безпосереднього дослідження з причини відсутності часу і засобів, або відсутності самого оригіналу (розробка проекту, тощо). Крім того, модель завжди простіша оригіналу і дослідження на ній обходиться дешевше і потребує менше часу. Модель дозволяє оперативно міняти умови досліду (що не завжди можливо із оригіналом), дозволяє багаторазово повторити експеримент до пізнання суті.

При цьому не передбачається повна ідентичність оригіналу оскільки в такому разі втрачаються переваги моделі і всяка суть моделювання, та і вона

перестає бути моделлю, а це вже буде копія-двійник, копія-дублер. Модель повинна замінити оригінал лише в принципі, по суті.

В моделі оригінал можна уявити в чистому вигляді без сторонніх впливів і непотрібних деталей.

Серед відомих методів дослідження складних електромеханічних систем можна виділити фізичне, імітаційне, аналогове та математичне моделювання.

Метод фізичного моделювання передбачає дослідження на моделі, яка відтворює основні геометричні, фізичні, динамічні та функціональні характеристики та властивості оригіналу (але не обов'язково всі властивості) та має великі можливості з визначення різноманітних якостей електромеханічних систем ті їх елементів. Він базується на трьох теоремах аналізу подібності.

Практично необмежені можливості з виявлення ефективного функціонування складної електромеханічної системи має метод математичного моделювання. Він ґрунтується на здатності математично описувати рівняннями різні за природою явища (процеси) та виявляти різні функціональні зв'язки між елементами системи.

Аналогове моделювання базується на однаковому для моделі та натури математичному описі та використовується для імітації на основі аналогової фізичної системи по її елементам. При цьому кожному з фізичних елементів натури в моделі відповідає певний еквівалент. У якості моделей використовуються електричні кола, складені з пасивних та активних елементів.

Імітаційне моделювання використовується частіше за всього при дослідженні складних електромеханічних систем та представляють собою процес формування моделі реальної системи та проведення над нею численних експериментів з метою виявлення шляхів її створення, вдосконалення та (або) ефективного використання.

При математичному моделюванні застосовуються аналітичні та статистичні моделі. Аналітичні моделі більш грубі, враховують менше число факторів, завжди

потребують деяких припущень та спрощень. Проте вони більше пристосовані для пошуку оптимальних рішень.

Статистичні моделі у порівнянні з аналітичними більш точні, але громіздкі та погано доступні для огляду.

При математичному моделюванні взаємозв'язки і закономірності оригіналу відображаються в математичній формі.

Моделювання починається із всестороннього вивчення об'єкту дослідження і постановки задач (проблеми). Проблема і задачі повинні бути чітко сформульовані. Далі слід знайти в реальній формі чи розробити модель оригіналу, яка б відображала чи могла відобразити основні сторони оригіналу.

По розробленій моделі проводять власне експеримент. Змінюють в певних межах вхідні параметри і досліджують вихідні. В результаті таких експериментів перевіряють модель на адекватність відображення оригіналу, отримують нові дані про оригінал, визначають числові параметри позитивних і негативних змін.

Комп'ютерна модель (або чисельна) – це комп'ютерна програма, яка реалізує абстрактну модель деякої системи. Комп'ютерні моделі використовуються для отримання нових знань про об'єкт, що моделюється або для приблизної оцінки поведінки математичних систем, які досить складні для аналітичного дослідження. Комп'ютерне моделювання є одним з ефективних методів вивчення складних систем. Комп'ютерні моделі простіші та їх зручніше досліджувати в силу можливості проводити обчислювальні експерименти в тих випадках, коли реальні експерименти немає можливості проводити через фінансові труднощі або фізичні перешкоди. Для підтримки математичного моделювання розроблені системи комп'ютерної математики, наприклад, *Maple*, *Mathematica*, *Mathcad*, *MATLAB*, *VisSim* та інші. В даній роботі використовується програма *Simulink* пакету *MATLAB*.

2.2 Структурно-логічна схема магістерського дослідження

Методологія - це система базисних принципів, методів, методик, способів і засобів їх реалізації в організації та побудові науково-практичної діяльності. Вона

включає в себе методи теоретичного та емпіричного пізнання і являє собою алгоритм пошуку і досягнення мети.

Основне призначення методики дослідження полягає у тому, щоб на основі відповідних принципів (вимог, умов, обмежень тощо) забезпечити успішне вирішення визначених мети і завдань наукового дослідження.

Структурно-логічна схема є однією з форм планування роботи і візуалізації процесу, яка дозволяє з одного боку описувати процедуру (алгоритм) дослідження і досягнення мети тобто сформулювати робочу гіпотезу дослідження, а з другого – установити логічну послідовність виконання структурних розділів і підрозділів магістерської роботи.

Спочатку вибирається тема дослідження та обґрунтовується її актуальність та складається індивідуальний календарний план роботи.

Ведеться пошук літератури за темою, її аналіз, складання бібліографії.

Розробляється перший варіант теоретичної частини:

- постановка мети і конкретних завдань дослідження;
- визначення об'єкту й предмета дослідження;
- вибір методів (методики) проведення дослідження.

Виконується опис процесу дослідження згідно з обраним методом. Моделювання процесів у електроприводі гвинтового конвеєра проводиться шляхом математичного моделювання з використанням пакету Simulink програми MATLAB.

Наводиться інтерпретація отриманих результатів дослідження.

На підставі виконаних розрахунків та отриманих характеристик проводиться узагальнення отриманих теоретичних результатів.

На заключному етапі роботи проводиться розробка заходів охорони праці, впровадження результатів магістерського дослідження у навчальний процес.

2.3 Вибір методу вирішення поставленої задачі дослідження

Дана магістерська робота не передбачає проведення експериментальних досліджень, має теоретичний характер, тому основним методом для відображення отриманих результатів є моделювання.

Моделювання як метод наукового пізнання виникло в зв'язку з необхідністю вирішення завдань, які з тих чи інших причин не можуть бути вирішені безпосередньо. Вони виникають у випадках, коли об'єкт або недосяжний для дослідника, або він ще не існує і потрібно обрати оптимальний варіант його створення, або дослідження реального об'єкта вимагає багато часу та економічно не вигідне тощо. При моделюванні використовується принцип аналогії, ґрунтуючись на якому в процесі наукового дослідження висувуються гіпотези, тобто передбачення, що будуються на невеликій кількості дослідних даних, спостережень, інтуїтивних припущень, перевірка правильності яких здійснюється шляхом експерименту.

Модель будується для того, щоб відобразити характеристики об'єкта (елементи, взаємозв'язки, структурні та функціональні властивості), суттєві з точки зору мети дослідження. Отже, моделювання пов'язане зі спрощенням, огрубленням прототипу, абстрагуванням від ряду його властивостей, ознак, сторін.

Процес дослідження реальних систем, що охоплює побудову моделі, дослідження її властивостей і перенесення одержаних відомостей на реальну систему, називають моделюванням.

Моделі поділяються на такі види:

- інтуїтивні (виражені на папері);
- фізичні (макети, муляжі, що дозволяють наочно ілюструвати, саме ті процеси, які мають місце у природі. За допомогою таких моделей можна вивчати вплив окремих параметрів на певний фізичний процес);
- математичні (дозволяють кількісно досліджувати явища, які важко піддаються вивченню за допомогою фізичних моделей);

- знакові (вираженні мовою, алгоритмами, графічно, математично);
- функціональні (описують залежності між входом і виходом системи);
- структурні (описують оргструктури систем).

Послідовність робіт при моделюванні виробничої системи:

- дослідження модельованої системи і постановка задачі - вивчення літературних джерел, проведення досліджень, тощо;
- формалізація задачі - виявлення особливостей системи, виділення головного, основного. На цьому етапі визначають, які параметри системи, яку ми моделюємо необхідно відобразити в моделі;
- розробка математичної моделі задачі і її запис в структурній формі.

Розробити математичну модель задачі це означає побудувати спеціальну таблицю чи схему, у якій усі економічні, технологічні та інші виробничі умови і вимоги виражені у вигляді нерівностей і рівнянь і об'єднані цільовою функцією. Математична модель може бути подана у структурній, загальній символній чи числовій формі. Послідовність розробки моделі може бути різною, але зручніше спочатку скласти систему змінних величин, записати систему обмежень, а потім цільову функцію. В моделі виділяють змінні величини, константи і коефіцієнти.

Змінні в моделі відображають невідомі величини:

- аналіз кількісних залежностей параметрів задачі;
- збір інформації і її обробка;
- побудова числової моделі;
- вибір математичного методу вирішення задачі;
- вирішення задачі на ЕОМ;
- аналіз результатів вирішення і коригування моделі;
- вирішення задачі на ЕОМ по скоригованій моделі.

Головними рівнями дослідження та моделювання систем є мікро- та макрорівень. Мікрорівневе моделювання системи пов'язане з детальним описом кожного компонента системи, дослідженням її структури, функцій, взаємозв'язків, тощо. Практична реалізація найважливішого етапу мікромоделювання – виявлення елементів системи та взаємозв'язків між ними –

пов'язана з необхідністю подолання суперечності між бажанням повного дослідження кожної з підсистем та елементів системи, реальною можливістю дослідити при цьому структуру системи загалом і принципи її функціонування.

Макрорівневе моделювання полягає в ігноруванні детальної структури системи та вивченні лише загальної поведінки системи як єдиного цілого. У процесі дослідження реальних систем і побудови їх моделей використовуються різні методи моделювання, що залежать від характеристик об'єкта, рівня знань про нього, мети дослідження та вимог до моделі.

Аксіоматичне моделювання полягає у відповідній інтерпретації та переведенні змістовного опису системи на мову чітких математичних термінів і відношень, у процесі чого усуваються неясності, суперечності, неповнота або надлишковість, які властиві вербальному описові системи.

Емпірико-статистичне моделювання використовує широко відомий кібернетичний принцип “чорної скрині”, що не дозволяє отримати модуль структури системи, причинно-наслідкових зв'язків і механізмів її функціонування. В результаті моделювання отримують моделі типу “вхід - вихід”, які базуються на теоретичних гіпотезах про форми взаємозв'язку між входами і виходами системи.

Оптимізаційне моделювання передбачає включення у модель як взаємозв'язків між змінними та параметрами, так і критерії якості функціонування системи. Імітаційні моделі складних систем надзвичайно поширені внаслідок своєї універсальності, можливості проведення чисельних експериментів, передбачення різноманітних змін.

За мірою повноти опису моделювання поділяють на повне, неповне та наближене. Повне моделювання передбачає побудову моделі, адекватної об'єкту дослідження у просторі та часі. Для неповного моделювання ця адекватність не зберігається. При наближеному моделюванні беруться до уваги лише найважливіші аспекти системи.

Дослідження математичної моделі дає змогу отримати характеристики реального об'єкта чи системи. Вигляд математичної моделі залежить як від природи системи, так і від завдань дослідження.

Математична модель системи містить, як правило, опис множини можливих станів системи та закон переходу з одного стану в інший. Математичне моделювання охоплює імітаційне, інформаційне, структурне, ситуаційне тощо.

Розрахунок задач магістерського дослідження проводиться за допомогою електронної обчислювальної техніки за допомогою програми Mathcad. На базі складених диференціальних рівнянь проводиться математичне моделювання системи керування електропривода. За допомогою програми Simulink досліджуються перехідні характеристики системи при зміні задаючих параметрів.

Слід зазначити, що метод моделювання – вивчення явищ за допомогою моделей – сьогодні має особливе значення для вирішення складних фізичних завдань, чому значною мірою сприяє зростанню продуктивності комп'ютерної техніки. Саме тому в цьому магістерському дослідженні як основа використаний метод моделювання.

РОЗДІЛ 3

ВЕКТОРНИЙ ЧАСТОТНИЙ ПЕРЕТВОРЮВАЧ

3.1. Історія розвитку конструкцій перетворювачів частоти

Були три етапи в історії розвитку перетворювачів частоти для електроприводів змінного струму [21].

На початку 80-х років був перший етап – це освоєння виробництва та використання найбільш простих перетворювачів частоти, виконаних за схемою „керований тиристорний випрямляч - LC фільтр - автономний тиристорний інвертор напруги із примусовою комутацією”. Перші моделі ПЧ не дозволяли рекуперувати енергію в мережу при гальмівних режимах двигуна. Інвертор напруги виконувався по трифазній мостовій схемі. Функція регулювання частоти вихідної напруги перетворювача покладалась на автономний інвертор, а амплітуди вихідної напруги - на керований випрямляч. Системою керування забезпечувався закон зв'язку амплітуди й частоти вихідної напруги перетворювача, близький до пропорційного з можливістю корекції в області малих частот. У системі передбачалися зворотні зв'язки, які забезпечували ослаблення негативного впливу силового фільтра на динаміку електропривода. Паралельно з перетворювачами на базі інверторів напруги розвивалися ПЧ з інверторами струму. Істотною перевагою останніх є можливість рекуперації енергії в мережу.

ПЧ у 80-х років зіграли важливу роль для того щоб створити та розширити області застосування економних регульованих електроприводів змінного струму. Недоліки, які існують для частотного перетворювача першого покоління: несинусоїдальність вихідного струму; нерівномірність обертання двигуна при малих частотах; обмеження швидкодії, пов'язане з наявністю силового фільтра в каналі амплітудного регулювання величини вихідної напруги; низький коефіцієнт потужності.

В кінці 80-х років був другий етап – відбувалися розробки нових дволанкових напівпровідникових перетворювачів, виконаних за схемою таких як „некерований випрямляч - LC фільтр- тиристорний або транзисторний автономний інвертор із широтно-імпульсною модуляцією вихідної напруги”.

Для перетворювальної частоти другого покоління характерним являються:

- істотне наближення до синусоїди форми вихідного струму й відповідно покращення рівномірності обертання двигунів;
- розширення діапазону регулювання швидкості;
- значне підвищення швидкодії електропривода, оскільки силовий фільтр (LC фільтр) на виході нерегульованого випрямляча виявився фактично виключеним з каналів регулювання параметрів вихідної напруги перетворювача;
- значне збільшення коефіцієнту потужності ПЧ як споживача електроенергії.

На основі перетворювач частоти в кінці 80-х років виявилось можливим створення вдосконалених регульованих електроприводів як масового застосування, так і спеціалізованих, які задовольняли досить високі вимоги, такі як: транзисторні частотно-регульовані асинхронні електроприводи подачі у металорізальних верстатах з діапазоном регулювання швидкості порядку $D=1000:1$. В кінці 80-х років швидко зростала кількість фірм-виробників ПЧ для електропривода змінного струму, розширювалася номенклатура виробів, поліпшувалася їхня якість та збільшувалась кількість функцій ПЧ.

Інтенсивному розвитку ПЧ на другому етапі сприяли значні успіхи, досягнуті в області вдосконалення й створення нових силових напівпровідникових приладів і інтегральних схем, розвитку цифрових інформаційних технологій і різноманітних засобів мікропроцесорного керування. Однак, на цьому етапі розвитку, який був наприкінці 80-х років ПЧ були недостатньо вирішені деякі питання для того щоб було повне енергозбереження, електроспоживання та електромагнітної сумісності перетворювачів.

А на початку 90-х років вже був третій етап розвитку ПЧ – це повне вирішення вказаних питань на базі використання в ланці постійного струму випрямлячів із примусовою комутацією, що потім одержали назву активних випрямлячів. Закордонні електротехнічні фірми перетворювачів частоти вже випускають від цього покоління, який діапазон потужностей дорівнює від 0,1 кВт до 8 МВт.

3.2. Класифікація перетворювачів частоти

Загальною ознакою для класифікації ПЧ являється їхня мобільність, які поділяються на [22]: статичні – це найбільш розповсюдженні перетворювачі; електромашинні, які історично були першими ПЧ, але через властиві їм недоліки (великі маса та габарити, висока вартість, низький ККД) зараз майже не використовуються.

Розрізняють ПЧ: із проміжною ланкою постійного струму; з безпосереднім зв'язком живильної мережі і навантаження. На рис. 3.1 представлена сама схема класифікації ПЧ.

Для того щоб керувати швидкістю асинхронного двигуна з короткозамкнутим ротором (АКДЗ) широке поширення одержали ПЧ із проміжною ланкою постійного струму. Змінна напруга живильної мережі випрямляється за допомогою керованого випрямляча, фільтрується й подається на інвертор.

Функції регулювання частоти вихідної напруги здійснює сам інвертор, а напруги - випрямляч. Частіше ці дві функції здійснює інвертор, а випрямляч виконується некерованим.

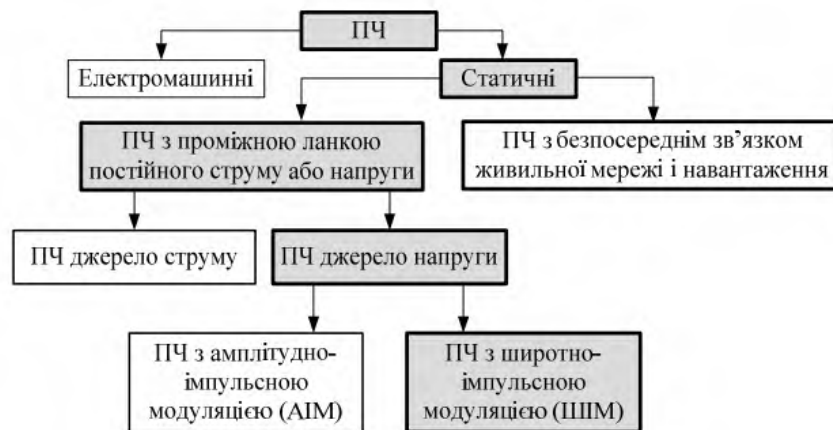


Рисунок 3.1 – Класифікація перетворювачів частоти

Головними перевагами для ПЧ із проміжною ланкою постійного струму являється:

- можливість одержання на виході ПЧ широкого діапазону частот, не залежного від частоти живильної мережі. Такий діапазон може повністю покривати потреби електроприводів різного призначення, у тому числі високошвидкісних, середньо-швидкісних і тихохідних, прецизійних електроприводів з широким і надшироким діапазоном регулювання швидкості;
- можливість використання простих силових схем і систем керування ПЧ для електроприводів з невисокими вимогами щодо діапазону регулювання, швидкодії й інших показників;
- можливість нарощування складності силової частини й системи керування ПЧ відповідно до рівня підвищення вимог до електропривода, не допускаючи надмірної складності системи;
- можливість реалізації в порівняно малоеlementній структурі перетворювача різноманітних алгоритмів керування, що задовольняють вимогам до електроприводів різного призначення;
- легкість трансформації перетворювача для роботи в установках з живленням електрообладнання від автономних джерел або локальної мережі постійного струму.

Основними недоліками ПЧ із проміжною ланкою постійного струму є [23]:

- дворазове перетворення енергії, що збільшує втрати енергії й погіршує масогабаритні показники перетворювача;

- наявність у ланці постійного струму силового фільтра як невід'ємного елемента ПЧ, що містить батарею конденсаторів значної ємності (у схемах ПЧ із автономними інверторами напруги) або реактора зі значною індуктивністю (у системах ПЧ із автономним інвертором струму) [24].

Елементи силового фільтра збільшують масу й габарити перетворювача, причому електролітичні конденсатори фільтра не завжди задовольняють вимогам високої надійності [25].

Перетворювач частоти як джерело струму – має проміжну ланку постійного струму. На виході автономного інвертора струму формуються імпульси струму, змінної частоти, які подаються на обмотки двигуна [26]. Цей перетворювач являється джерелом струму для двигуна, це означає що на виході інвертора імпульси струму не залежні від навантаження. Залежним параметром тут є напруга.

Перетворювач частоти (джерело напруги) - має проміжну ланку постійної напруги. На виході такого перетворювача формується пульсуюча напруга (послідовність імпульсів напруги), які не залежать від навантаження на виході інвертора. Залежним параметром є струм у обмотках двигуна.

ПЧ (джерело напруги) у свою чергу підрозділяється на два типи [27]:

- Перший тип – це ПЧ з амплітудною імпульсною модуляцією (АІМ);
- Другий тип – це ПЧ з широтно-імпульсною модуляцією (ШІМ).

Амплітудно-імпульсна модуляція (АІМ) - це метод керування, при якому зміна амплітуди імпульсу напруги (висоти імпульсу) на вході випрямляча проходить синхронно зі зміною частоти на виході з інвертора. Частота подачі імпульсів напруги у статорні обмотки двигуна регулюється. Регулювання напруги здійснюється шляхом зміни величини імпульсу (рис. 3.2, а). Вихідна форма напруги – прямокутна, отже діюче значення напруги має велику кількість гармонік низьких ступенів, включаючи 5-у й 7-у гармоніки, що приводить до пульсації моменту двигуна.

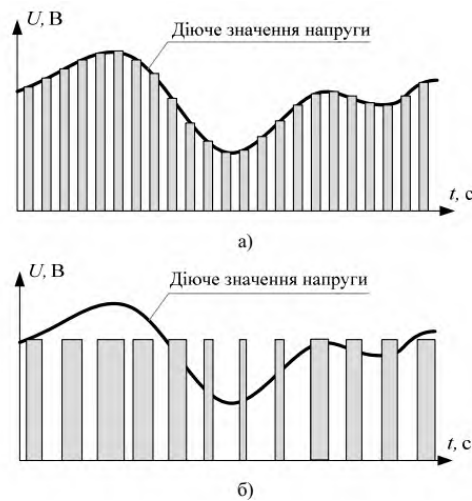


Рисунок 3.2 – Амплітудно-(а) та широтно-(б) імпульсна модуляція напруги на виході інвертора

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ) - це метод керування, при якому амплітуда напруги (висота імпульсу) залишається постійною на виході випрямляча, а на виході інвертора ширина імпульсів напруги і їхня кількість за напівперіод регулюється (рис. 3.2, б). За рахунок збільшення чи зменшення ширини імпульсу діюче значення напруги змінюється. Зміна кількості імпульсів та їх ширини за період дозволяє регулювати частоту та напругу на виході інвертора. Розглянемо більш детально процес формування напруги на виході інвертора при ШІМ-модуляції. На рис. 3.3 показана спрощена схема вмикання фази А, яка дозволяє встановити характер зміни напруги у цій фазі за рахунок комутації ключів 1 і 2. На рис. 3.4 зображені графіки бажаної напруги фази А (позначимо її так $U_{\phi A}(\omega t)$) і двополярної двосторонньої модуляційної функції $F_{m.A}(\omega t)$, що змінюється по лінійному закону від -1 до 1 і в зворотному напрямі від 1 до -1 на інтервалі $0 \leq \omega t \leq 2\pi$.

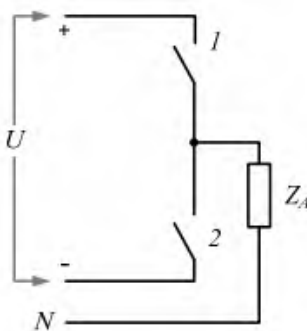


Рисунок 3.3 – Спрощена схема перемикання ключів інвертора фази А

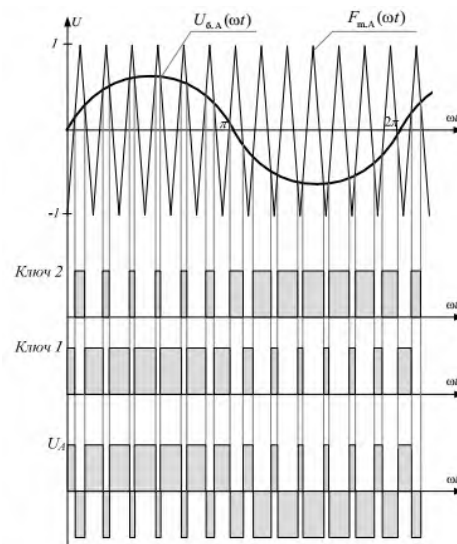


Рисунок 3.4 – Графік напруги фази А при ШІМ-модуляції

Сигнал пилкоподібної напруги $F_{m.A}(\omega t)$ виробляє генератор високої частоти. В момент рівності миттєвих значень $U_{d.A}(\omega t)$ і $F_{m.A}(\omega t)$ на спадаючих ділянках $F_{m.A}(\omega t)$ (ділянка коли функція $F_{m.A}(\omega t)$ зменшується) відкривається ключ 1, а в момент рівності $U_{d.A}(\omega t)$ і функції $F_{m.A}(\omega t)$ на зростаючих ділянках ключ 1 закривається. Відкривання і закривання ключа 2 здійснюється протилежно до ключа 1: коли ключ 1 відкритий то 2 закритий і навпаки (рис. 3.4). Таким чином, у фазі А формується послідовність П-подібних імпульсів напруги. Таку функцію напруги фази А можна розкласти у ряд Фур'є. При цьому основна гармоніка напруги фази А повторює функцію бажаної напруги $U_{d.A}(\omega t)$. Збільшення частоти пилкоподібного генератора призведе до зменшення дії вищих гармонік. Аналогічні побудови можна зробити для фаз В і С, з умовою, що функції бажаних напруг будуть відставати від $U_{d.A}(\omega t)$ на кути $2\pi/3$ та $4\pi/3$ радіан.

Найбільш масове практичне застосування в системах регульованих електроприводів змінного струму одержали ПЧ із проміжною ланкою постійного струму, а з них - перетворювачі з автономними інверторами напруги з ШІМ-модуляцією.

Перетворювачі частоти широко застосовуються у різних додатках промисловості та транспорту [28]. Завдяки розвитку силових напівпровідникових елементів, інвертори напруги та інвертори струму з ШІМ управлінням являються все більш широким поширенням. Інвертори перетворюють постійний сигнал на

змінний, з бажаною напругою і частотою. Таке перетворення може бути здійснено за допомогою електронних ключів (*BJT*, *MOSFET*, *IGBT*, *MCT*, *SIT*, *GTO*) та тиристорів залежно від завдання.

На даний момент основна частина всієї електричної енергії у світі використовується для роботи електричних двигунів. Перетворення електричної потужності на механічну потужність здійснюється за допомогою електродвигунів потужністю від менше вата до декількох десятків мегават.

Сучасні електроприводи відповідають різним вимогам, таким як:

- максимальний ККД;
- широкий діапазон плавної установки швидкості обертання, моменту, прискорення, кута та лінійного положення;
- швидке видалення помилок при зміні керуючих сигналів та/або перешкод;
- максимальне використання потужності двигуна під час зниженої напруги чи струму;
- надійність, інтуїтивне керування.

3.3. Вибір частотного перетворювача

Частотний перетворювач – це електричний пристрій, який регулює частоту змінного струму або напруги для управління швидкістю обертання електродвигуна. Такі перетворювачі можуть використовуватися в системах автоматичного керування, промислові та комерційні системи, такі як насоси, компресори, вентилятори та ін.



Рисунок 3.5 – Перетворювач частоти *CFM110*

Перетворювачі частоти серії *CFM110* є втіленням принципів простоти, компактності, функціональності й економності в одному пристрої . Ця серія розрахована на електродвигуни малої потужності, а тому покликана позбавити привод загалом від надмірно великих габаритів будь-якого з компонентів [29]. Радіатор охолодження П-подібної форми слугує основою конструктиву пристрою, чим надійно захищає його від зовнішніх механічних впливів, забезпечуючи ступінь захисту *IP20*.

Варто зазначити, що описана «простота» не впливає на якість і надійність пристрою, а функціонал закладений у програму перетворювача, достатній для реалізації великого переліку відомих технологічних завдань.

Нижче в таблиці 3.1 наведені основні технічні характеристики перетворювачів цієї серії.

Таблиця 3.1 – Технічні характеристики

Живлення	Напруга живлення $U_{вх}$	1ф x 220 В (+10%, -15%)
	Частота напруги живлення	45 – 66 Гц

Вихід	Вихідна напруга	3ф х 0 – U _{вх}
	Вихідна частота	0; 1-800 Гц
	Похибка формування частоти	0.05 Гц
	Вид ШІМ модуляції	Вектор напруги
	Під'єднання двигуна	Стандартний трифазний асинхронний двигун 220/380 В зі з'єднанням обмоток трикутником «увальник»
	Режим керування	Скалярне U/÷ з трьома характеристиками: - Лінійна (пропорційна) - Квадратична - Форсована
Система керування	Частота керування силовим модулем	3 – 6 – 9 – 12 кГц
	Завдання швидкості обертання	- Аналогові входи - Цифрові входи - Панель керування - ПІД регулятор - Інтерфейс зв'язку RS485 Роздільна здатність: 0,1% для аналогового входу 0,1 Гц для панелі керування та цифрових входів

	Режими гальмування	Гальмування постійним струмом
	Охолодження	Природне повітряне охолодження
Входи/виходи керування	Аналоговий вхід	2 аналогових входи АН.ВХ1 і АН.ВХ2: - режим напруги: 0 – 10 В, $R_{in} \geq 50 \text{ кОм}$ - режим струму (одне з двох входів): 0(4) – 20 мА, $R_{in} \geq 220 \text{ Ом}$
	Цифровий вхід	6 гальванічно розділених цифрових входів: - активний рівень: 0 В - неактивний стан: 20 – 24В Опір $R_{in} \geq 4 \text{ кОм}$.
	Аналоговий вихід/вихід із відкритим колектором	1 аналоговий вихід: - режим струмового виходу: 0 – 1mA, Навантажувальна здатність виходу з відкритим колектором – до 2 А/24 В.
	Релейний вихід	1 реле з перекидним контактом: - комут. навантаження: 250 В / 10А (АС)

		Повністю програмоване джерело сигналу.
Зв'язок	Апаратні можливості та протокол	Підтримка комунікаційного модуля <i>RS485</i> з гальванічно ізольованим каналом. Протокол обміну <i>Modbus RTU</i>
	Швидкість передавання	4800, 9600, 19200, 38400, 56000 або 115200 біт/с
	Дод. Можливості	Можливість єдиної зміни параметрів ПЧ. Реалізована підтримка програмним забезпеченням для ПК із можливістю гнучкого керування конфігураціями.
Дод. функції	Лічильник метражу	Дає змогу використовувати ПЧ у системах із конвеєрними та протягуючими механізмами, в яких необхідно контролювати відмірену довжину або кількість продукту в штуках.
	Вбудований ПД-регулятор	Вибір джерела сигналу завдання, можливість

		зміни полярності сигналу помилки регулювання
	Керування конфігурацією	Можливість зберігати та завантажувати користувацькі конфігурації в енергонезалежну пам'ять ПЧ. Наявність заводської конфігурації для швидкого скидання ПЧ на заводські параметри
Захист		- від струмових перевантажень - від перенапруги на шині постійного струму - від зниження напруги на шині під час роботи - від роботи двигуна на двох фазах - від втрати зв'язку через RS485 - від перегрівання перетворювача або електродвигуна - системні та інші помилки

Таблиця 3.2 – Паспорт перетворювача частоти

Виробник	АС Привод
Країна виробник	Україна
Кількість дискретних виходів	1
Гарантійний термін	24 місяці
Номінальна потужність	0,25 кВт
Максимальна температура навколишнього середовища	40 ⁰ C
Ступінь захисту	IP20
Тип робочої величини	Потужність
Кількість аналогових виходів	1
Кількість аналогових входів	2
Кількість дискретних входів	6
Номінальна вхідна напруга	220 В
Номінальна вихідна напруга	220 В
Колір світлодіоду	Зелений
Стан	Нове
Кількість фаз живлення	1

Векторні частотні перетворювачі регулюють параметри вихідної напруги у відповідності з сигналами від датчиків, так щоб на валу підтримувався певний момент.

Частотний перетворювач з векторним керуванням широко застосовується в промислових галузях.

Область застосування перетворювачів частоти на основі векторного управління визначається наступними основними перевагами [30] :

- Здатністю витримувати значні навантаження
- Можливістю забезпечувати сталість моменту на валу електродвигунів.

Здатність витримувати великі навантаження дає можливість застосовувати перетворювачі частоти на основі векторного управління на екструдерах,

глибинних насосах та інших механізмах, яким за умовами роботи може знадобитися велика величина пускового моменту, щоб зняти з місця «замулений» насос, найкраще застосовувати сучасні векторні перетворювачі

Можливість забезпечувати сталість моменту на валу електродвигунів дає можливість застосування векторних перетворювачів для потреб машинобудування на обладнанні, у якого стабільність моменту на валу електричних двигунів вважається найбільш критичною характеристикою [31]. Так, наприклад, якщо на шпинделі токарного верстата момент обертання шпинделя буде постійно змінюватися то в результаті відбудеться природне зниження якості оброблюваних поверхонь заготовок з підвищенням ступеня зношування робочих поверхонь різців

Векторні перетворювачі також відомі як перетворювачі з керуванням по полю (*FOC*). Вони більш досконалі ніж скалярні, бо використовують складніший алгоритм управління, який враховує магнітне поле двигуна і положення ротора. Це дозволяє більш точно контролювати швидкість і обертовий момент двигуна, а ще робить їх добре пристосованими для застосувань, де вимагається високопродуктивне управління швидкістю: верстати, компресори, крани, робототехніка та будь-які інші застосування, де потрібна точна підтримка частоти обертання [32].

За типом керуючої частини векторні контрольні частоти регулюють параметри вихідної напруги відповідно до сигналів від датчиків, так що певна точка зберігається на валу. Результат стверджує, що швидше та точне регулювання, необхідне для механізмів, де принцип роботи пов'язаний з різкою зміною навантаження та моменту на виконавчий орган.

Зокрема, на машинах (наприклад, поворот), включаючи *CNC* або ліфтове обладнання.

Векторні перетворювачі в свою чергу поділяються на 2 типи:

- Бездатчикове векторне управління (*SFVC*)
- Векторне управління у замкнутому контурі (*CLVC*)

Бездатчикове векторне управління – це метод управління асинхронним двигуном, який використовує математичну модель для контролю за моментом і швидкістю двигуна. Управління ґрунтується на вимірюванні струму та напруги, а також на обчисленні частоти та потужності мотора, щоб визначити його швидкість та положення ротора. У векторному управлінні не потрібно використання датчиків вимірювання положення ротора, що робить його більш економічним та зручним у встановленні. Бездатчикове векторне керування використовує математичні алгоритми для обчислення положення ротора, визначаючи його на основі вимірних параметрів. Перевагою методу цього керування являється можливість досягнення високої точності підтримання моменту та швидкості асинхронного двигуна. Крім того, цей метод також забезпечує більш плавний пуск та зупинку двигуна, а також покращену ефективність та економію енергії.

Векторне управління у замкнутому контурі – це метод, який використовує інформацію зворотного зв'язку від датчиків для точного контролю швидкості та положення ротора двигуна.



Рисунок 3.6 – Режим керування асинхронним двигуном із закритою петлею векторного контролю

Такий режим або метод керування забезпечує більш точне управління швидкістю і крутним моментом, ніж бездатчикове векторне управління (*SFVC*), оскільки він використовує датчики зворотного зв'язку, енкодери, які вимірюють

швидкість та положення ротора. Контролер може керувати швидкість мотора з високою точністю, забезпечуючи м'який пуск та зупинку, а також точний контроль положення ротора, що може бути важливим для деяких застосувань.

Управління приводами верстатів являється з найперспективніших сфер застосування частотних перетворювачів. Застосування верстатів дозволяє спростити кінематичну схему обладнання, плавно регулювати швидкість обробки, знизити споживання електроенергії і навантаження на електричну мережу, збільшити точність і підвищити якість обробки.

Базовий набір функцій будь-якого перетворювача частоти включає захист двигуна від ненормальних режимів роботи [33]. Це дозволяє спростити електричну схему верстата, відмовитися від релейного захисту. Функція зняття напруги живлення двигуна при граничному моменті на валу замінює електромеханічну схему захисту від заклинювання різця.

Крім того, споживання електроенергії при частотному управлінні безпосередньо залежить від фактичного навантаження. Установка перетворювача частоти знижує споживану потужність, зменшує пусковий струм.

Частотні перетворювачі використовують як в верстатах домашнього застосування та і у промисловому обладнанні для масового виробництва, високоточних верстатах з програмним управлінням.

При виборі частотного перетворювача враховують:

Діапазон частот вихідної напруги. Перетворювач повинен забезпечувати стабільний момент на низьких швидкостях. Для роботи в інтервалі 1:3; 1:5 від номінальної швидкості підходить простий перетворювач частоти зі скалярним керуванням. При необхідності регулювання в ширшому діапазоні потрібен векторний перетворювач 5,5 кВт для станків з датчиком зворотного зв'язку (енкодером). В іншому випадку при зниженні моменту на валу при низькій частоті обертання істотно погіршиться якість і точність обробки.

Наявність функції захисту від заклинювання. Частотний перетворювач для верстата повинен мати функцію STO (зняття моменту з вала електродвигуна).

Така опція необхідна:

- Для запобігання випадкового пуску двигуна при відключенні і наступному відновленні живлення.
- Для захисту оператора і електродвигуна при заклинюванні різця.

Кількість фаз і спосіб з'єднання обмоток. Для двигунів на 380 В потрібний трифазний перетворювач частоти. При живленні 220 В необхідний перетворювач частоти з входом фаза-нуль 220 В і трипровідним виходом 220 В на кожній фазі. При підключенні 3 фазного двигуна до однофазної мережі обмотки перемикають в «трикутник». Така схема допоможе уникнути значних втрат потужності, однак, придатна тільки для простих верстатів для невеликих майстерень і домашнього застосування.

Одним із важливих аспектів його роботи є точність підтримки обертів при змінному навантаженні на валу. Коли відбувається обробка та навантаження на двигуні різко та значно змінюється, але обороти двигуна не повинні падати. Таку роботу двигуна може реалізувати частотний перетворювач з векторним управлінням. Так як зазвичай до таких завдань не пред'являються вимоги щодо надточної підтримки швидкості, можна використовувати частотний перетворювач без зворотного зв'язку по енкодеру. Так в таких завданнях часто використовується енкодер, але він часто встановлений на шпинделі і передає інформацію в систему ЧПУ для контролю швидкості обертання, але не в перетворювач.

Приводом токарних верстатів зазвичай служать 1 або 3-фазні електродвигуни. Ступінчасте регулювання швидкості обертання шпинделя здійснюється за допомогою коробки передач, плавної зміни оборотів - за допомогою варіатора. Ці вузли потребують обслуговування, мастила і періодичної заміни. Ще один істотний недолік механічного регулювання - обов'язкова зупинка верстата перед перемиканням швидкості.

Установка перетворювача частоти дозволяє відмовитися від коробки передач і варіатора. Пристрій дозволяє плавно змінювати швидкість у всьому діапазоні шляхом зміни частоти живлячої напруги під навантаженням. Для зміни частоти обертання не потрібно зупиняти верстат.

Векторні частотні перетворювачі виробляють кілька провідних компаній, зокрема:

- *Delta Electronics*: пропонує серії перетворювачів частоти, такі як *VFD-E*, *VFD-B* та *VFD-C2000*, які відзначаються високою ефективністю та надійністю.
- *Schneider Electric*: виробляє серію *Altivar*, що включає векторні перетворювачі частоти для різних промислових застосувань.
- *TWERD Energo-Plus*: польський виробник, який спеціалізується на векторних перетворювачах частоти для промислових потреб.
- *NIETZ*: пропонує векторні частотні перетворювачі різної потужності, які забезпечують точний контроль асинхронних електродвигунів.
- *ABB*: відомий виробник, що пропонує широкий асортимент векторних частотних перетворювачів для різних галузей промисловості.
- *Bosch*: також виробляє векторні частотні перетворювачі для промислових застосувань.

Висновки за розділом 3

У третьому розділі проведено дослідження векторного частотного перетворювача як важливого елемента вдосконалення системи керування електроприводом затискання патрона токарного верстата.

Проаналізовано історію розвитку конструкцій частотних перетворювачів, що дозволило простежити їх еволюцію від початкових моделей до сучасних високотехнологічних рішень. Виявлено основні тенденції вдосконалення цих пристроїв, зокрема зростання енергоефективності, підвищення точності керування та забезпечення більшої інтеграції з автоматизованими системами.

На основі аналізу технічних вимог до системи керування, а також порівняння характеристик доступних моделей, обрано частотний перетворювач *CFM110*. Цей пристрій відповідає всім вимогам, зокрема:

- підтримує векторний режим керування, що забезпечує високу точність і плавність регулювання моменту та швидкості;

- має широкий діапазон частотного регулювання, що дозволяє налаштувати систему під різні режими роботи;
- відзначається надійністю, енергоефективністю та сумісністю з іншими елементами системи автоматизації, включаючи контролери;
- забезпечує простоту інтеграції та експлуатації завдяки зручному інтерфейсу і можливості адаптації до специфічних потреб системи керування токарного верстата.

Отримані результати дослідження свідчать про те, що обраний перетворювач *CFM110* є оптимальним вибором для модернізації системи керування електроприводом затискання патрона. Його використання дозволить значно підвищити точність і надійність роботи токарного верстата, що є важливим кроком у напрямку підвищення ефективності виробничих процесів.

РОЗДІЛ 4

МОДЕЛЮВАННЯ ДИНАМІЧНИХ ПРОЦЕСІВ В СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ ТА РОЗРОБКА КЕРУЮЧИХ АЛГОРИТМІВ

4.1. Рівняння для опису динаміки системи керування

Приписане значення моменту опору двигуна:

$$M_{o.pr}(t) = \frac{h_{c.d} \cdot F_{pr}(t)}{\eta_p \cdot \eta_{z.m} \cdot i_{p2} \cdot 2\pi}, \quad (4.1)$$

де F_{pr} – приписане значення сили затиску заготовки; $h_{c.d} = 10 \cdot 10^{-3}$ м – крок спіралі;
 $\eta_p, \eta_{z.m}$ – ККД редуктора і затискного механізму відповідно. Прийmemo $\eta_p = 0,9$;
 $\eta_{z.m} = 0,9$.

Помилка керування:

$$\varepsilon(t) = M_{o.pr} - M_o(t). \quad (4.2)$$

Приписане значення моменту двигуна визначається законом керування в залежності від ε , $M_{o.pr}$ і ω . В результаті моделювання було встановлено, що необхідні показники якості керування досягаються при наступному законі керування:

$$M''_{pr}(t) = \begin{cases} k_1 \cdot \varepsilon(t) \cdot M_{o.pr}(t) & \text{при } \varepsilon(t) \geq 0; \\ k_2 \cdot \varepsilon(t) & \text{при } \varepsilon(t) < 0; \end{cases} \quad (4.3)$$

$$M'_{pr}(t) = \begin{cases} M''_{pr}(t) & \text{при } M''_{pr}(t) < M_{\max}; \\ M_{\max} & \text{при } M''_{pr}(t) \geq M_{\max}; \end{cases} \quad (4.4)$$

$$M_{\text{пр}}(t) = \begin{cases} M'_{\text{пр}}(t) & \text{при } \omega \leq \omega_{\text{max}}; \\ 0 & \text{при } \omega > \omega_{\text{max}}, \end{cases} \quad (4.5)$$

де $k_1 = 2 \text{ (Н} \cdot \text{м)}^{-1}$; $k_2 = 10$ – коефіцієнти регулятора моменту; $M_{\text{max}} = 3 \text{ Н} \cdot \text{м}$ – максимальний момент двигуна; $\omega_{\text{max}} = 157 \text{ с}^{-1}$ – максимальна швидкість обертання.

Рівняння (4.4) і (4.5) враховують обмеження за моментом і швидкість обертання двигуна.

Електромагнітний момент двигуна M інерційно пов'язаний з приписаним значенням $M_{\text{пр}}$:

$$T_e \frac{dM}{dt} + M(t) = M_{\text{пр}}(t), \quad (4.6)$$

де T_e – електромагнітна постійна часу обмотки статора:

$$T_e = \frac{x_k}{\omega_{1\text{н}} r'_2} = \frac{126,122}{314 \cdot 60,756} = 0,007 \text{ с}.$$

Рівняння руху двигуна:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M(t) - M_o(t), \quad (4.7)$$

де $J = 2 \cdot J_{\text{д}} = 2 \cdot 0,0007 = 0,0014 \text{ кг} \cdot \text{м}^2$ – сумарний момент інерції ротора, редуктора та привідного механізму, приведений до валу двигуна.

Швидкість обертання спірального диску:

$$\omega_{\text{с.д}}(t) = \frac{\omega(t)}{i_p(t)}, \quad (4.8)$$

де i_p – передавальне число редуктора, яке залежить від положення перемикача. Перемикання редукції здійснюється при досягненні моментом опору мінімального значення $M_{o.min}$:

$$i_p(t) = \begin{cases} i_{p1} & \text{при } M_o(t) < M_{o.min}; \\ i_{p2} & \text{при } M_o(t) \geq M_{o.min}. \end{cases} \quad (4.9)$$

Кут повороту спірального диску:

$$\varphi_{c.d}(t) = \int \omega_{c.d}(t) \cdot dt. \quad (4.10)$$

Переміщення кулачків:

$$x(t) = \frac{h_{c.d} \varphi_{c.d}(t)}{2\pi}, \quad (4.11)$$

Сила затиску:

$$F(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } x(t) < x_3; \\ k_F \cdot (x(t) - x_3) & \text{при } x(t) \geq x_3, \end{cases} \quad (4.12)$$

де x_3 – відстань від початкового положення кулачків до поверхні заготовки;

k_F – постійний коефіцієнт. При моделюванні приймемо $x_3 = 10^{-2}$ м; $k_F = 8 \cdot 10^5$.

Момент опору:

$$M_o(t) = \frac{h_{c.d} \cdot F(t)}{\eta_p \cdot \eta_{з.м} \cdot i_p(t) \cdot 2\pi} \quad (4.13)$$

Таким чином, маємо 13 рівнянь (4.1) – (4.13), сумісне розв’язання яких

дасть можливість визначити закони зміни в часі 13 величин: $M_{o,пр}(t)$, $\varepsilon(t)$, $M_o(t)$, $M''_{пр}(t)$, $M'_{пр}(t)$, $M_{пр}(t)$, $M(t)$, $\omega(t)$, $\omega_{с.д}(t)$, $i_p(t)$, $\varphi_{с.д}(t)$, $x(t)$ і $F(t)$.

4.2. Створення динамічної моделі системи керування в *Simulink* та моделювання процесу затиску заготовки

На підставі рівнянь (4.1) – (4.13) складаємо динамічну модель у програмі Simulink (рис. 4.1). Задаємо приписане значення сили затиску $F_{пр} = 15000 \text{ Н} \cdot \text{м}$. Розраховані графіки перехідних процесів наведені на рис. 4.2 – 4.5.

На рис. 4.2 наведено графік зміни у часі сили затиску заготовки. До моменту зіткнення із заготовкою сила дорівнює 0. Після чого сила затиску досягає 130 кН, до моменту переключення редукції. Далі сила лінійно збільшується, залежно від часу.

На наступному графіку (рис. 4.3) наведено зміну в часі моменту опору. До того, як механізм досягає заготовки, момент опору $M_o = 0$. В момент часу $t = 0,93 \text{ с}$, коли відбувається зіткнення з заготовкою, момент різко зростає. Під час перемикавання редукції, момент значно зменшується та починає лінійно наростати на другій швидкості редуктора.

На рис. 4.4 наведено графік швидкості обертання ротора двигуна. Спочатку двигун розганяється до зіткнення із заготовкою, потім незначно сповільнюється до моменту перемикавання редукції. На другій швидкості редуктора $\omega = 157 \text{ с}^{-1}$. Наприкінці процесу затиску швидкість поступово спадає до 0.

Зміна координати переміщення кулачків у часі наведена на рис. 4.5. З графіку видно, що на першій швидкості редуктора кулачки швидко переміщуються до моменту переключення редукції, потім координата зростає за лінійним законом до досягнення певного значення.

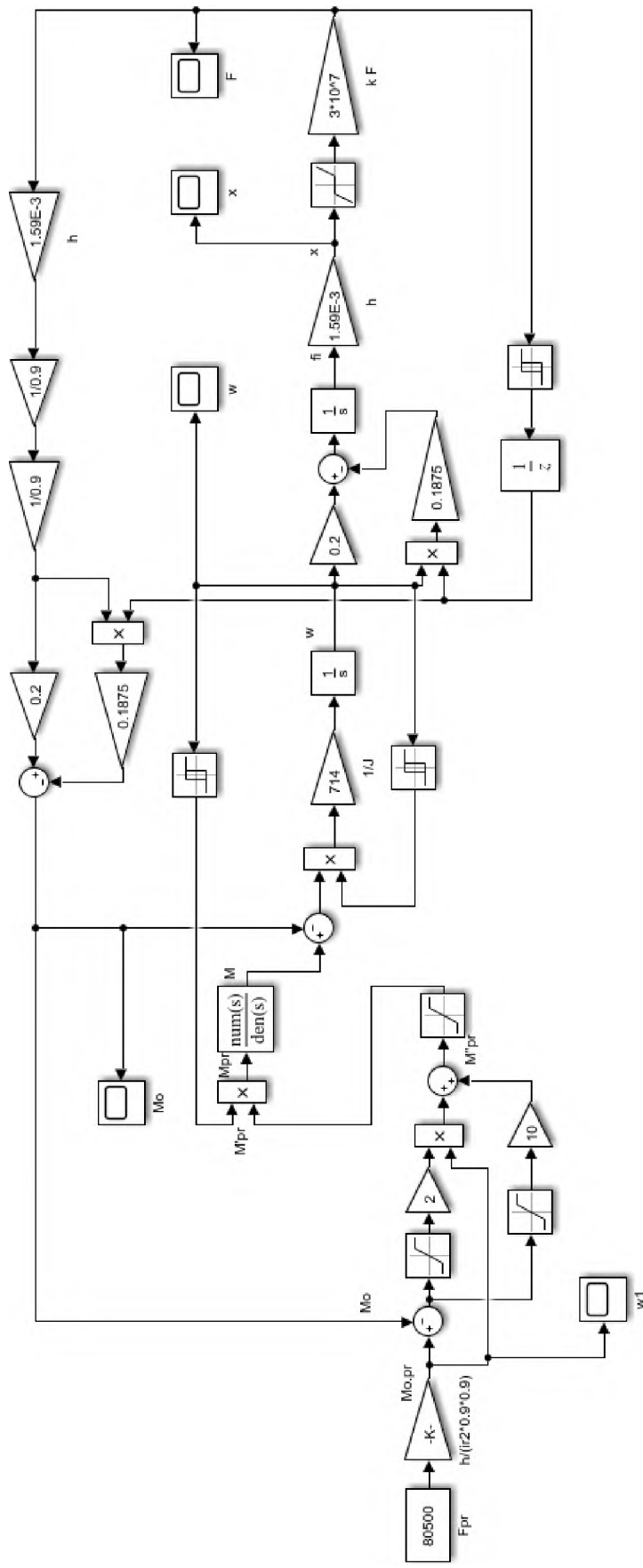


Рисунок 4.1 – Система керування в програмі Simulink

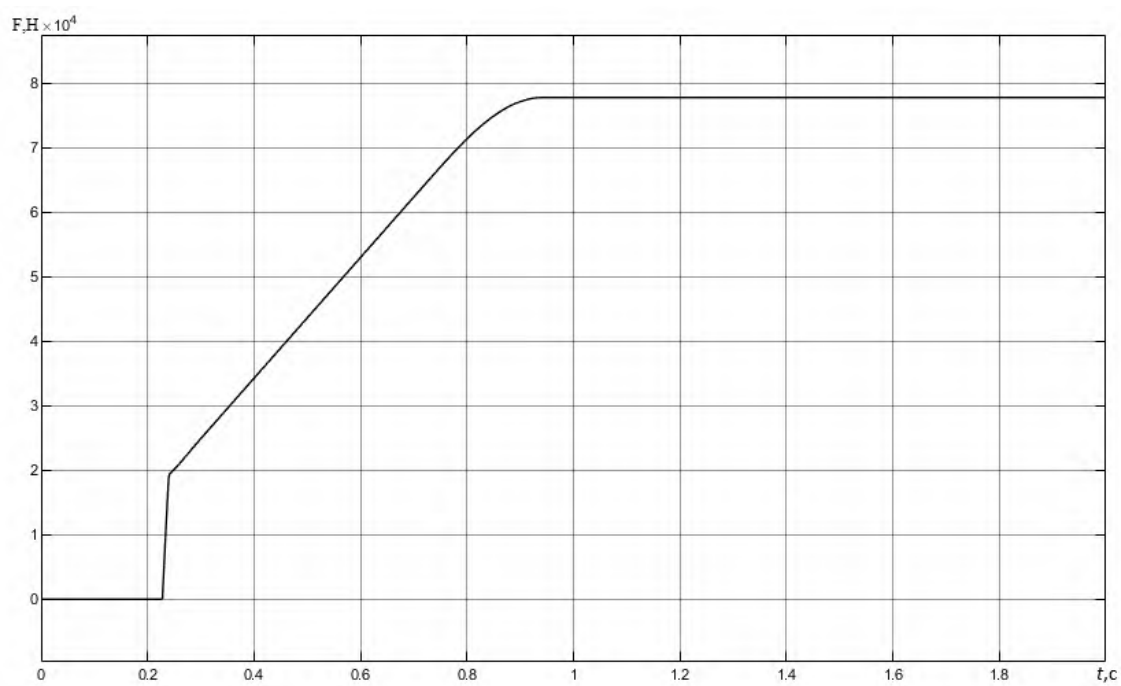


Рисунок 4.2 – Сила затиску заготовки

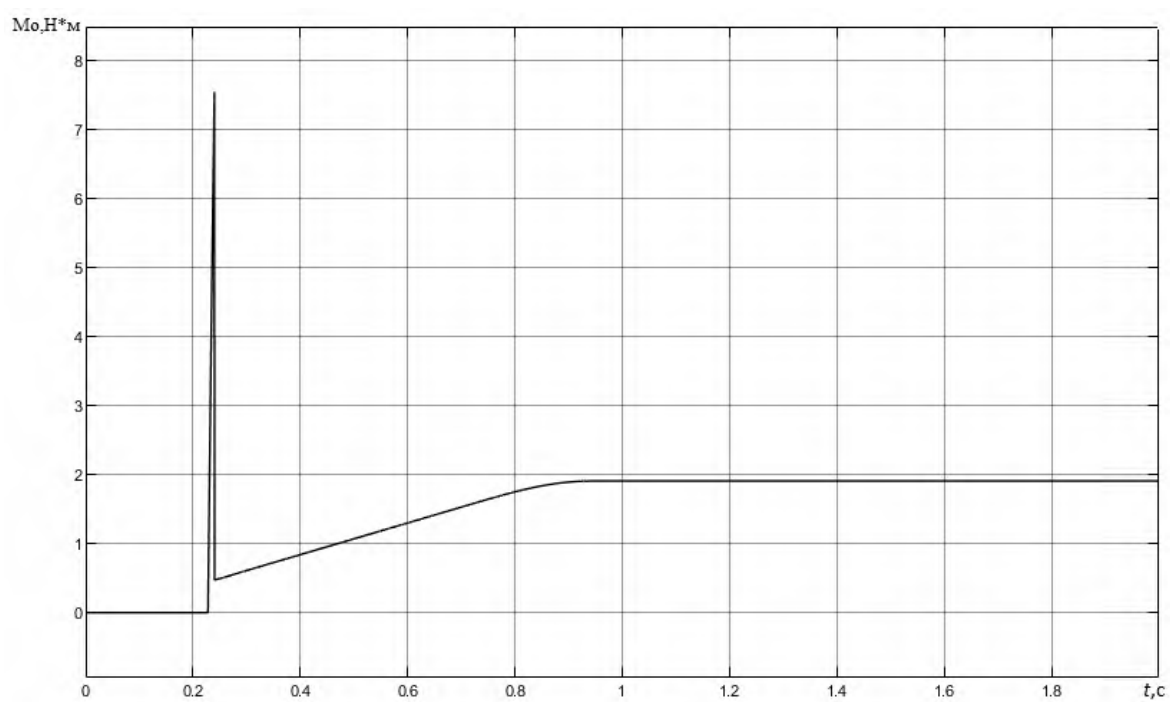


Рисунок 4.3 – Момент опоры

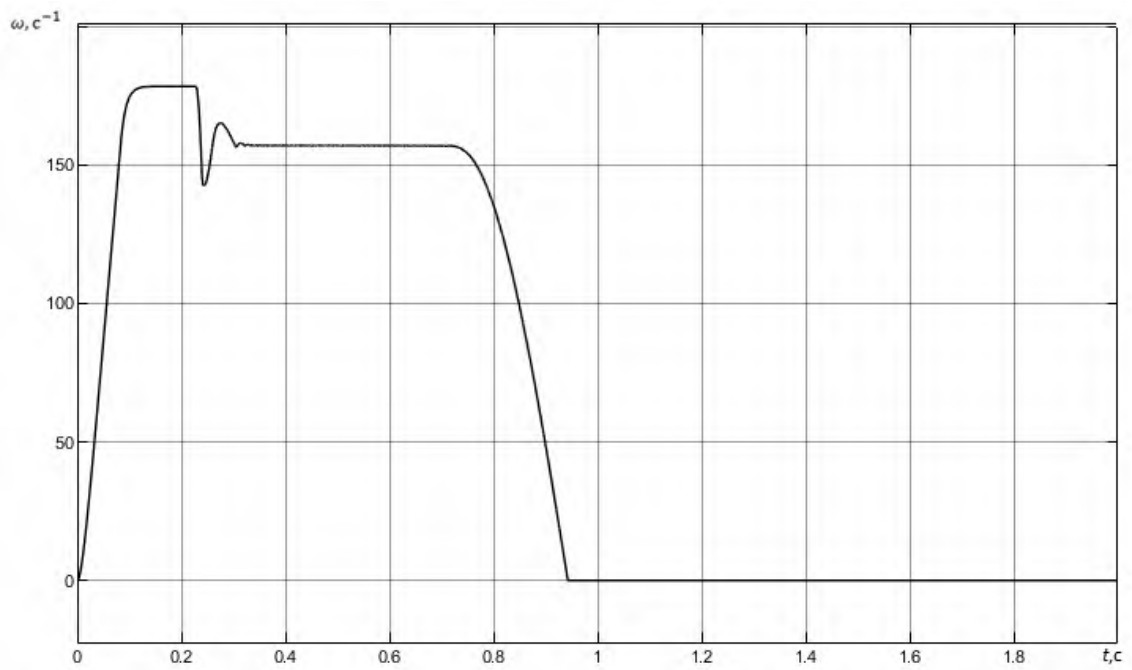


Рисунок 4.4 – Координати швидкості обертання ротора двигуна

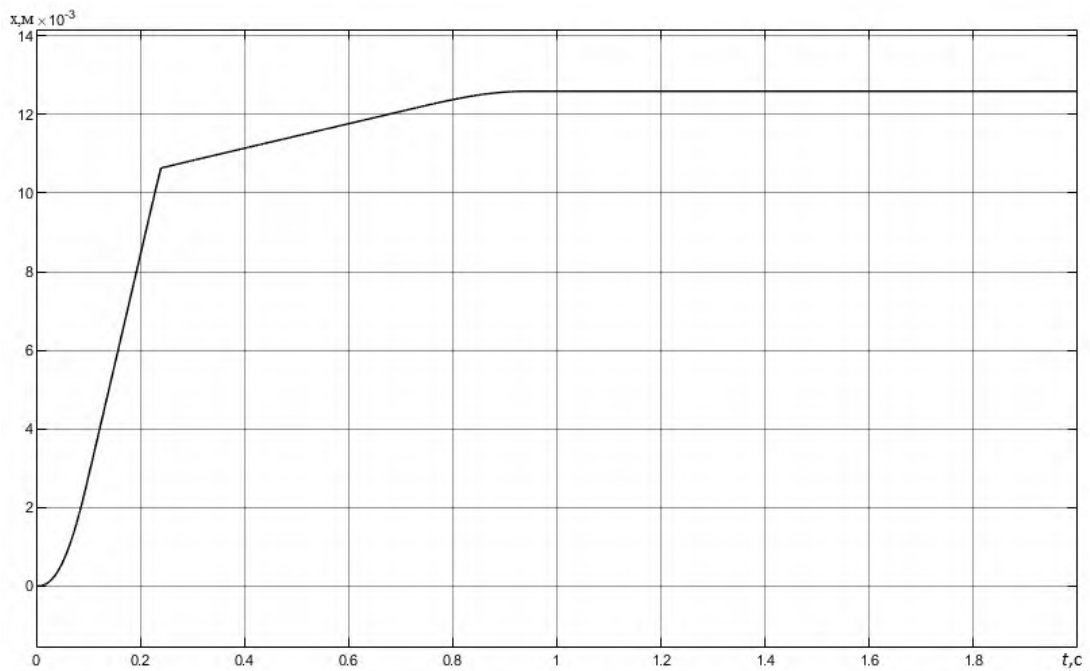


Рисунок 4.5 – Результат переміщення кулачків в осцилографі

Таким чином, запропонована структура регулятора, яка описана рівнянням (4.3), забезпечує необхідні показники якості керування. З графіків видно, що потрібна сила затиску заготовки досягається за 1,46 с.

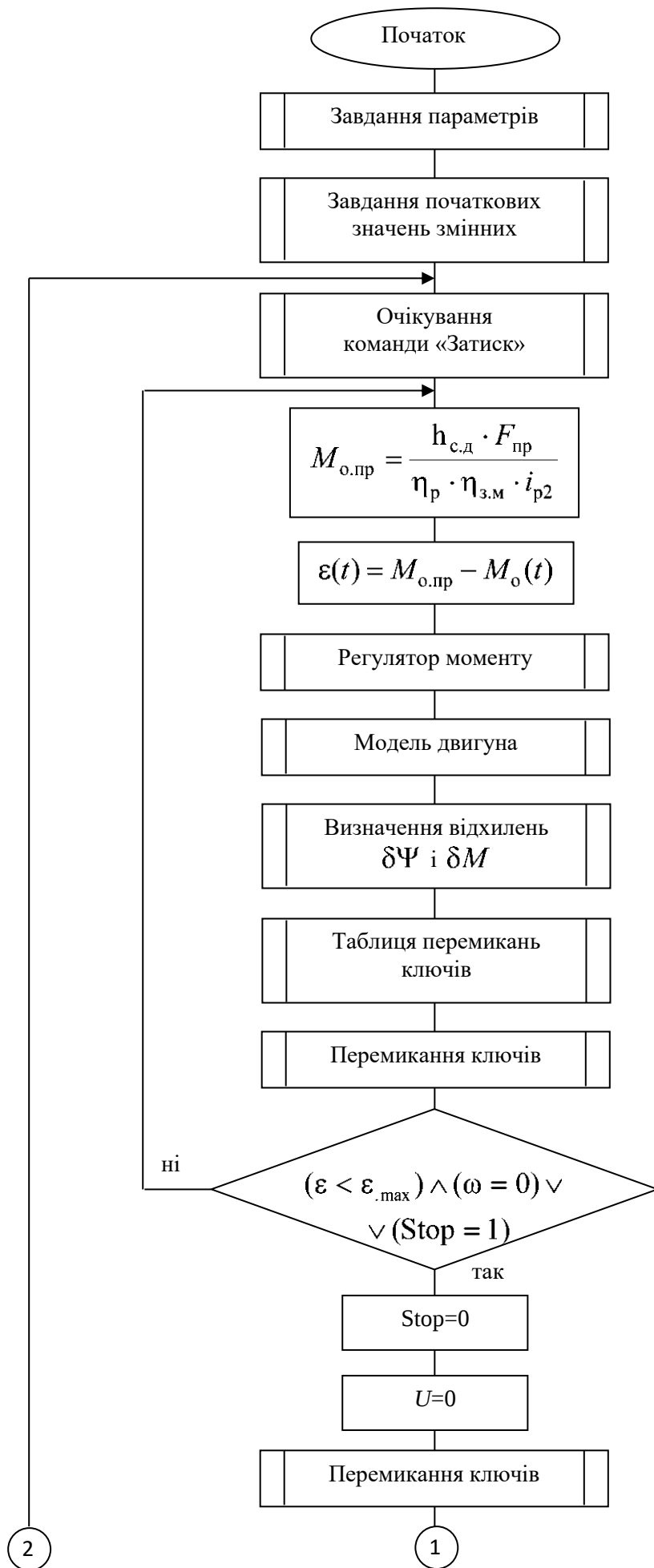
4.3. Розробка програмного алгоритму керування

Особливість процесу затиску полягає в тому, що спочатку двигун працює в режимі холостого ходу, а потім, після доторкання кулачків до поверхні заготовки, сила затиску починає швидко зростати. При досяганні силою затиску певного значення двигун повинен зупинитися.

Алгоритм роботи програми описаний на рис. 4.6. Потрібна сила затиску $F_{\text{тп}}$ є постійною величиною, яка задається користувачем перед запуском привода. Наступним кроком алгоритму є обчислення приписаного значення моменту опору $M_{\text{о.пр}}$, помилки керування ε .

Підпрограма регулятора моменту описана на рис. 4.8. Швидкість обертання обчислюється за допомогою підпрограми обробки зовнішніх переривань (рис. 4.7). Підпрограма регулятора моменту будується на основі рівнянь (4.3) – (4.5). У моделі двигуна відбувається обчислення вектора потокозчеплення та моменту. Вхідними величинами є фазні напруги u_{1A}, u_{1B}, u_{1C} та струми i_{1A}, i_{1B} , виміряні за допомогою датчиків ДС1 і ДС2. Ці значення надходять на АЦП, підпрограма обробки переривань якого наведена на рис. 4.10. Після цього виконується обчислення помилок потокозчеплення $\delta\Psi$ та моменту двигуна δM . Далі, за таблицею оптимальних перемикачів (табл. 4.2), в залежності від обчислених помилок та сектора α , який був обчислений у моделі двигуна, здійснюється перемикачів ключів у АІН. Набір ключів, які потрібно ввімкнути, в залежності від базового вектора U , вказаний у таблиці 4.1.

За умови, що помилка керування менша від максимально допустимої помилки і швидкість обертання ротора дорівнює 0 або натиснута кнопка *Stop*, на двигун подається нульова напруга. При розтиску механізму мікроконтролер формує значення максимального моменту двигуна, який спрямований у протилежному напрямку. Далі відбувається визначення відхилень $\delta\psi$ і δM . За таблицею оптимальних перемикачів (табл. 4.2) визначається, який набір ключів необхідно ввімкнути в автономному інверторі напруги (табл. 4.1).



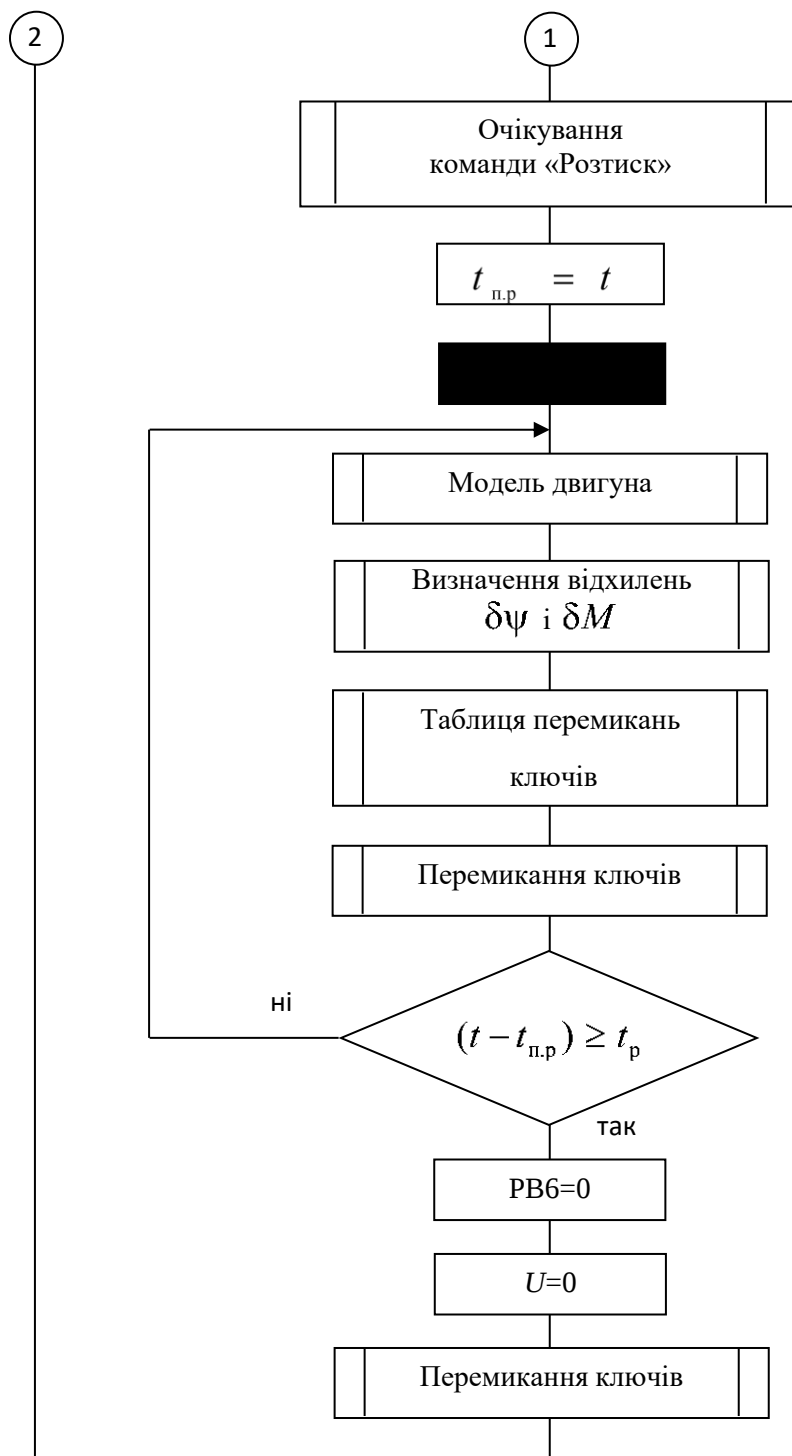


Рисунок 4.6 – Алгоритм керуючої програми

Якщо виконується умова $(t - t_{п.р}) \geq t_p$, то редуктор перемикається на більшу швидкість, подається нульова напруга і відбувається перемикання ключів. Після процесу розтиску, алгоритм починається знову, з моменту очікування команди «Затиск».

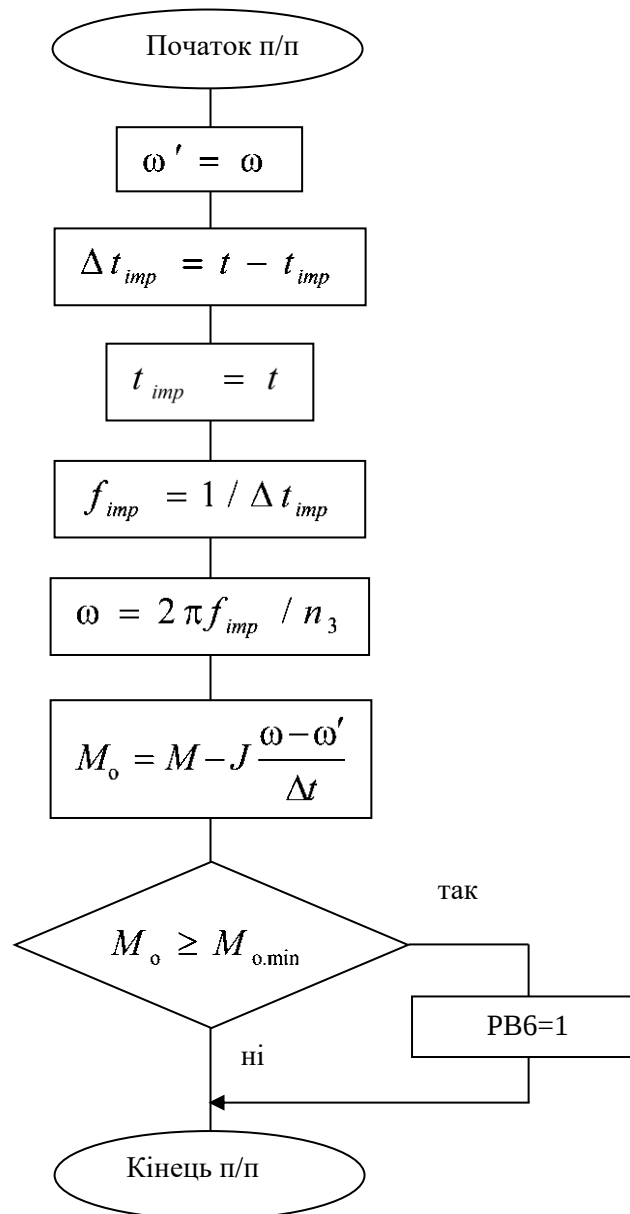


Рисунок 4.7 – Підпрограма обробки зовнішніх переривань

У підпрограмі обробки зовнішніх переривань (рис. 4.7) мікроконтролер фіксує тривалість та кількість імпульсів, які надходять з датчика швидкості обертання ДШ, та обчислює частоту імпульсів. Далі за формулами $\omega = 2\pi f_{imp} / n_3$ та $M_o = M - J \frac{\omega - \omega'}{\Delta t}$ обчислюється швидкість обертання ротора та момент опору відповідно. Якщо $M_o \geq M_{o.min}$, то $PB6=1$, тобто відбувається перемикання редуктора. Підпрограма регулятора моменту описана на рис. 4.8. Вхідними

величинами регулятора моменту є обчислені величини моменту опору та помилки керування, а також швидкість обертання ω .

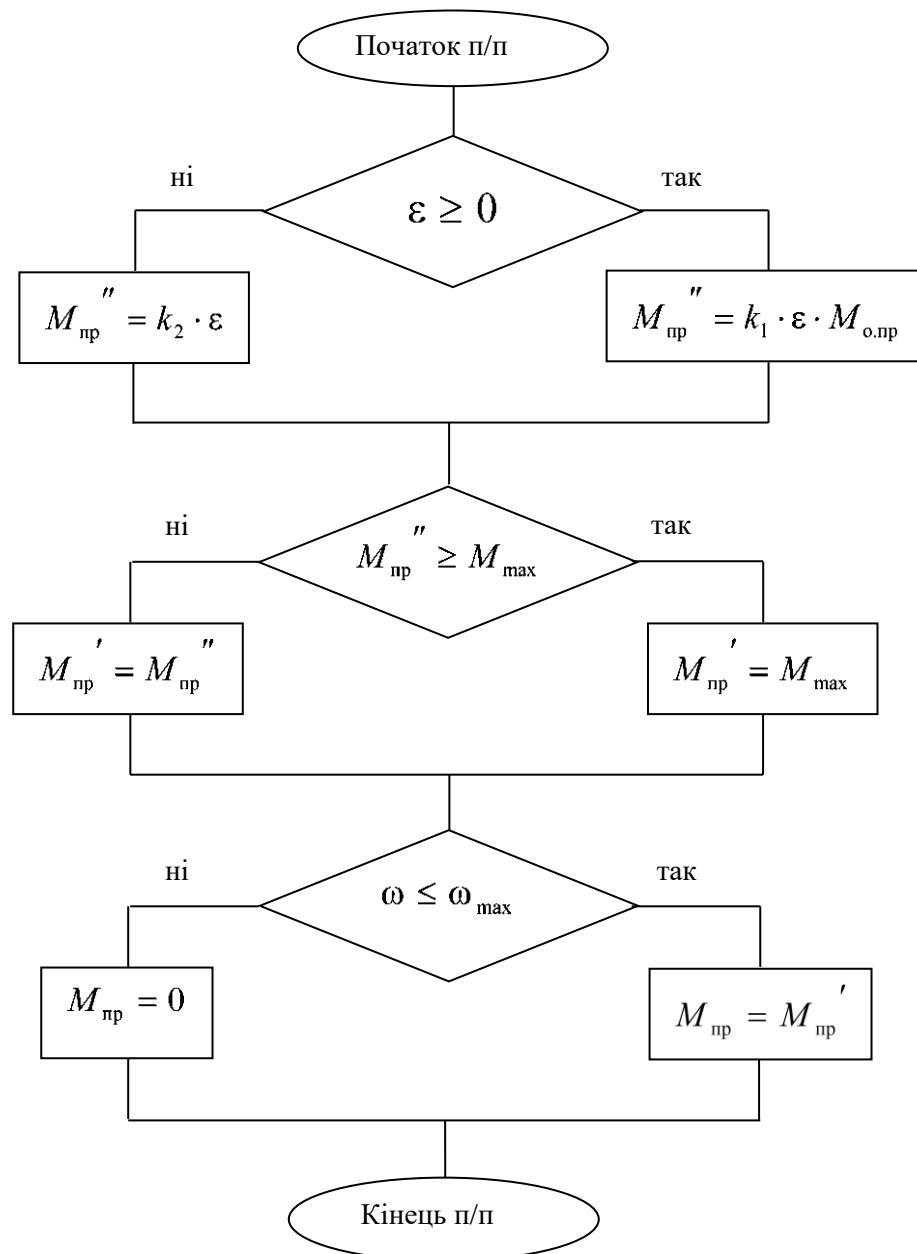


Рисунок 4.8 – Підпрограма регулятора моменту

На рис. 4.9 зображена підпрограма обробки переривань таймера. В ній спочатку інкримінується час, а потім за формулами (4.1) – (4.2) обчислюються проекції векторів потокозчеплення, які є входними величинами для моделі двигуна.

Підпрограма обробки переривань АЦП (рис. 4.10) працює наступним чином. Якщо $MUX0 = 0$, то зчитуються покази з датчика струму ДС1. Якщо

$MUX0=1$, то мікроконтролер перемикається на вихід з датчика ДС2. Після зчитування аналогових значень струму, здійснюється запуск АЦП.

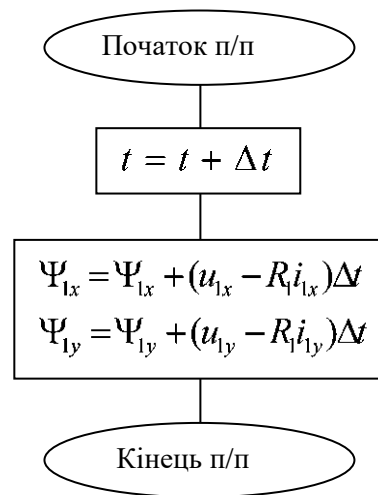


Рисунок 4.9 – Підпрограма обробки переривань таймера

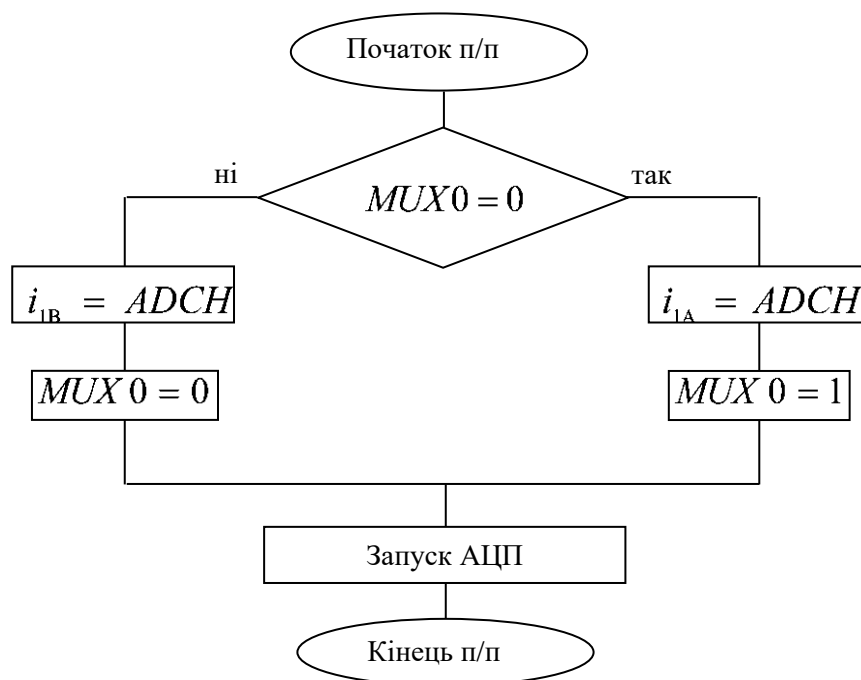


Рисунок 4.10 – Підпрограма обробки переривань АЦП

Підпрограма моделі двигуна (рис. 4.11) починається з визначення складових напруги статора (табл. 4.1). Розраховуються проекції вектора статорного струму.

З урахуванням того, що в симетричній системі достатньо виміряти струми двох фаз i_{1A} і i_{1B} , третій струм визначається як $i_{1c} = -(i_{1A} + i_{1B})$. Модуль вектора потокозчеплення визначається через суму квадратів проекцій $\Psi_{1a} = \sqrt{\Psi_{1x}^2 + \Psi_{1y}^2}$.

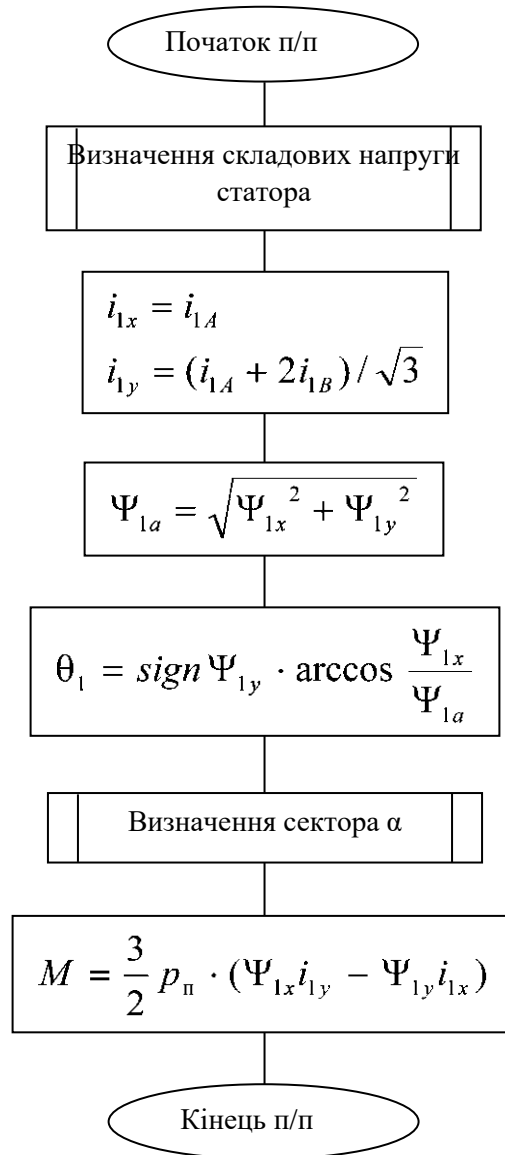


Рисунок 4.11 – Підпрограма моделі двигуна

Для визначення сектора α (рис. 4.12) необхідно визначити кут розміщення вектора потокозчеплення статора θ_1 . Він визначається за формулою

$$\theta_1 = \text{sign} \Psi_{1y} \cdot \arccos \frac{\Psi_{1x}}{\Psi_{1a}} \quad (\text{рис. 4.1}).$$

Якщо цей кут лежить у потрібному проміжку, то обираємо відповідне значення сектора α , якщо ні, то перевіряємо

наступний проміжок. Після визначення та обчислення усіх необхідних величин у моделі двигуна розраховується момент за формулою $M = \frac{3}{2} p_n \cdot (\Psi_{1x} i_{1y} - \Psi_{1y} i_{1x})$

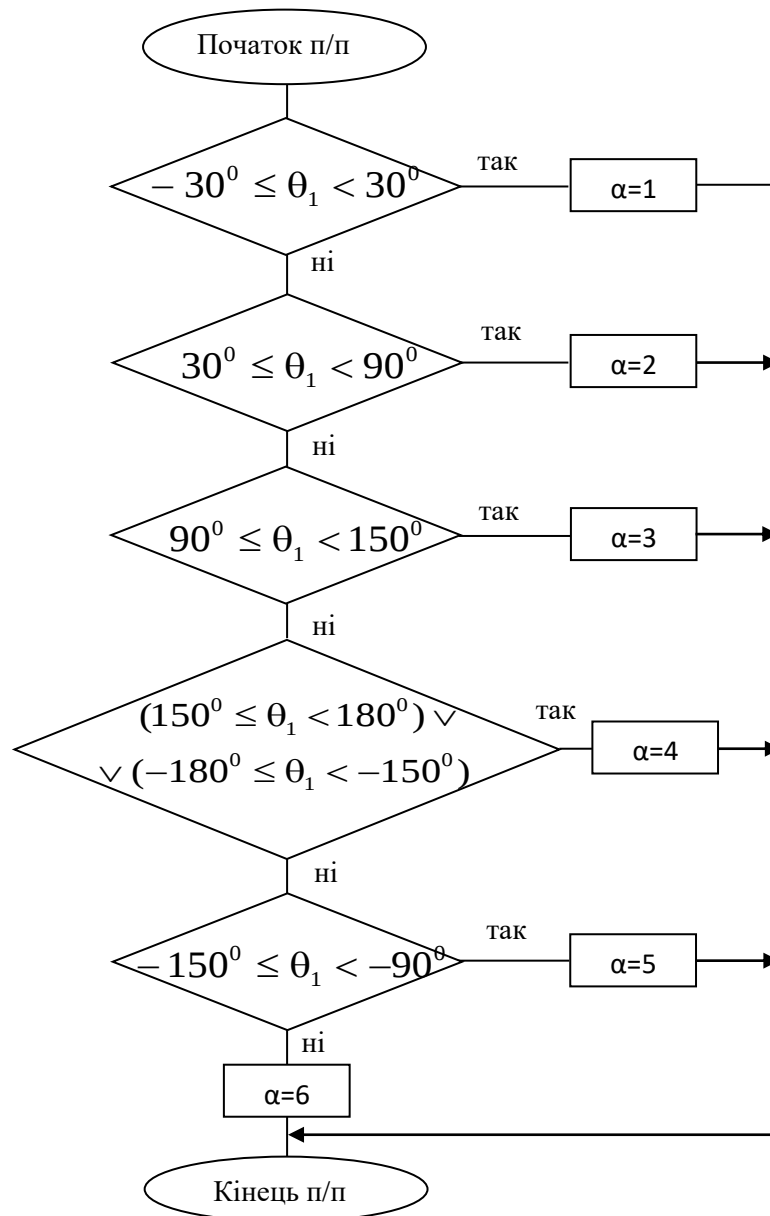


Рисунок 4.12 – Підпрограма визначення сектора α

Підпрограма визначення відхилень $\delta\psi$ і δM (рис. 4.13) працює наступним чином. Рівняння $\Delta\Psi_1 = \Psi_{пр} - \Psi_{1a}$ визначає допустиме відхилення. Якщо поточне значення потокозчеплення статора Ψ_{1a} менше заданого значення модуля вектора $\Psi_{пр}$ на величину, що перевищує допустиме відхилення $\Delta\Psi_1$, то його потрібно

збільшити, чому відповідає вихідний сигнал компаратора $\delta\Psi = 1$, якщо ні, то перевіряється наступна умова. Якщо Ψ_{1a} перевищує задане значення на величину, більшу $\Delta\Psi_1$, то $\delta\Psi = 0$, що означає необхідність зменшення поточкозчеплення.

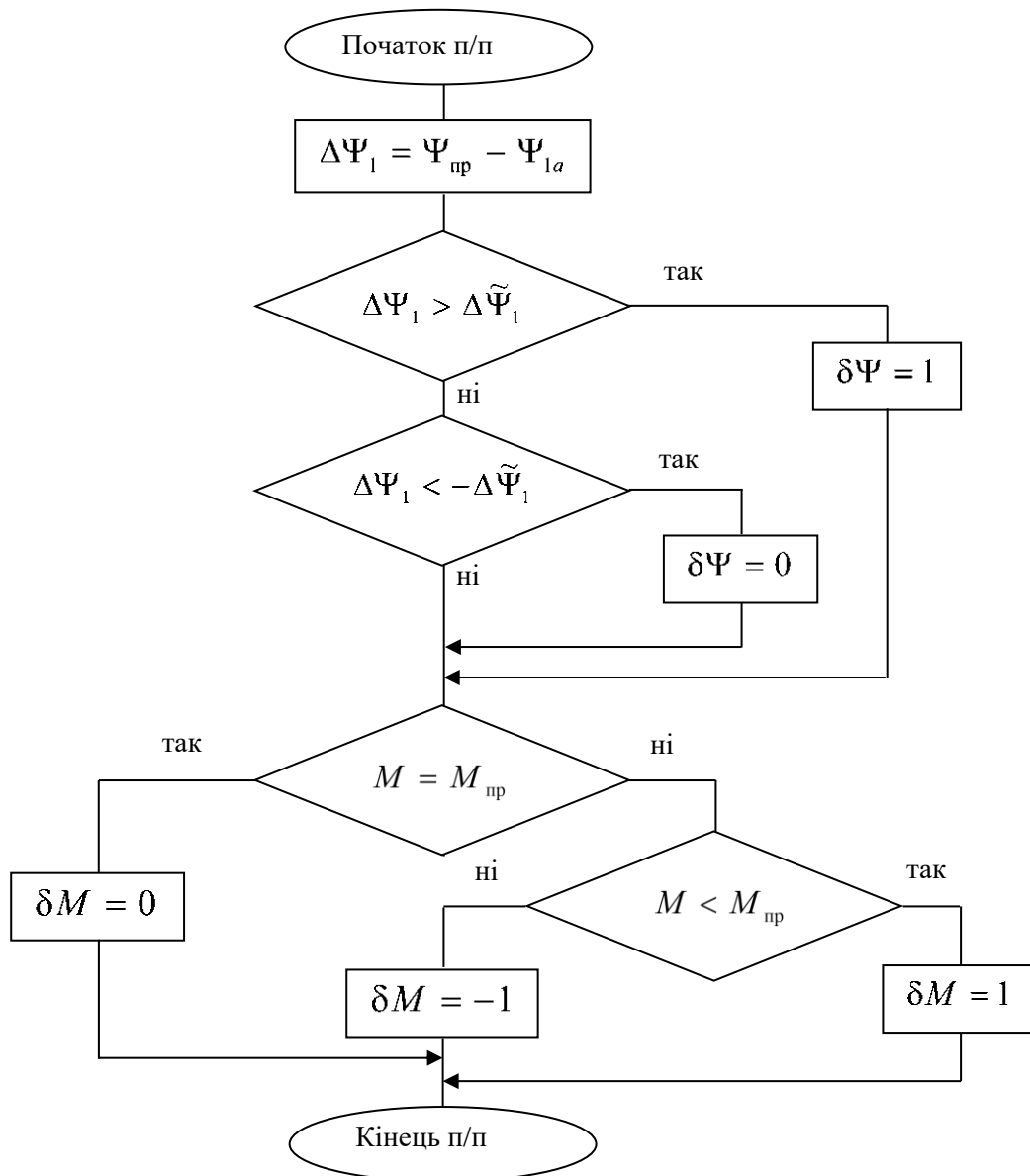


Рисунок 4.13 – Підпрограма визначення відхилень $\delta\Psi$ і δM

Вихідний сигнал компаратора моменту може приймати три різних значення моменту: 1, -1 і 0. Якщо $M = M_{\text{пр}}$, то значення $\delta M = 0$ – це означає, що момент лежить у допустимих межах. Якщо умова $M = M_{\text{пр}}$ не виконується, то перевіряється наступна умова. Якщо $M < M_{\text{пр}}$, то $\delta M = 1$, тобто необхідне

збільшення моменту двигуна, якщо ні, то $\delta M = -1$, тобто момент повинен бути зменшений.

Таким чином, алгоритми обчислення необхідних величин, обробку переривань таймера та зовнішніх переривань, а також запуск АЦП реалізовано у підпрограмах (рис. 4.7 – 4.13).

Висновки за розділом 4

Для опису динаміки системи керування складено 13 рівнянь (4.1) – (4.13), сумісне розв’язання яких дає можливість визначити закони зміни в часі 13 величин: $M_{o,пр}(t)$, $\varepsilon(t)$, $M_o(t)$, $M''_{пр}(t)$, $M'_{пр}(t)$, $M_{пр}(t)$, $M(t)$, $\omega(t)$, $\omega_{с.д}(t)$, $i_p(t)$, $\varphi_{с.д}(t)$, $x(t)$ і $F(t)$.

На основі цих рівнянь (4.1) – (4.13) створено динамічну модель системи у програмі Simulink, за допомогою якої проведено дослідження динаміки системи керування.

Під час аналізу моделювання процесу затиску виявлено, що запропонована структура регулятора, яка описана рівнянням (4.3), забезпечує необхідні показники для керування системою. З графіків (рис. 4.2 – 4.5) видно, що потрібна сила затиску заготовки досягається за 1,46 с.

Розроблено алгоритм керуючої програми (рис. 4.6), що здійснює запуск двигуна, перемикання редуктора, керування силою затиску, відключення двигуна при досягненні силою потрібного значення. Алгоритми обчислення необхідних величин, обробку переривань таймера та зовнішніх переривань, а також запуск АЦП реалізовано у підпрограмах (рис. 4.7 – 4.13).

РОЗДІЛ 5

ОХОРОНА ПРАЦІ

5.1. Основні положення та принципи охорони праці

Створення нормальних умов праці полягає в забезпеченні сприятливої обстановки на робочому місці – усуненні важких фізичних навантажень, шкідливих і небезпечних для здоров'я виробничих факторів, зниження нервової напруженості працюючих і монотонності праці.

Охорона праці – система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів і засобів, спрямованих на збереження здоров'я й працездатності людини в процесі праці.

Покращення умов праці сприяє збереженню й зміцненню здоров'я працівників, тривалій підтримці працездатності людини на високому рівні, збільшенню й найбільш раціональному використанню фонду вільного часу працівників.

Покращення умов праці є істотним резервом для підвищення ефективності виробництва, сприяє зниженню виробничого травматизму, здобуваючи тим самим велику соціально-економічну значимість. Незадовільні умови праці працівників є одним з факторів, що сприяють зниженню продуктивності та працездатності, ріст браку. Поява нового високопродуктивного обладнання й технологічного оснащення призводять до виникнення складних проблем з охорони праці. Вирішення їх потребує від інженерно-технічних працівників значних зусиль, а також знань останніх досягнень науки й техніки.

Законодавство України про охорону праці являє собою систему взаємозв'язаних нормативних актів, що регулюють відносини у галузі реалізації державної політики щодо правових, соціально-економічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження здоров'я і працездатності людини в процесі праці. Загальними законами України, що визначають основні положення про охорону праці, є Конституція України, Кодекс

законів про працю України та Закони України: "Про охорону праці" , "Про охорону здоров'я", "Про пожежну безпеку" "Про використання ядерної енергії та радіаційного захисту", "Про забезпечення санітарного та епідеміологічного благополуччя населення".

Спеціальними законодавчими актами є державні нормативні акти з охорони праці (ДНАОП). Це – правила, стандарти, норми, положення, інструкції та інші документи, яким надано чинність правових норм, обов'язкових для виконання.

Вимогам нормативних актів з охорони праці мають відповідати:

- умови праці на кожному робочому місці;
- безпека технологічних процесів, машин, механізмів, обладнання й інших засобів виробництва;
- стан засобів колективного та індивідуального захисту;
- санітарно-побутові умови.

Законодавство про працю містить норми і вимоги з техніки безпеки і виробничої санітарії, норми, що регулюють робочий час і час відпочинку, звільнення та переведення на іншу роботу, норми праці щодо жінок, молоді, гігієнічні норми і правила тощо.

Основні принципи забезпечення охорони праці включають в себе основні принципи забезпечення безпеки праці, але доповнюються заходами соціального захисту.

Перший і фундаментальний принцип охорони праці – запобігання виробничого травматизму та професійної захворюваності. Всі заходи охорони праці та всіх її частин, наприклад, безпеки праці, гігієни праці, спрямовані на це. Вчасно запобігти – ось головна мета, головне завдання і основний принцип її реалізації в охороні праці.

Другий фундаментальний принцип охорони праці – готовність до захисту постраждалих. Він впливає з неможливості забезпечення абсолютної безпеки. Цей принцип відіграє виняткову роль в охороні праці. В даний час в нашій країні як в більшості розвинених країн світу, він реалізується через систему

обов'язкового соціального страхування від нещасних випадків на виробництві та професійних захворювань

5.2. Аналіз небезпечних шкідливих для здоров'я людини факторів, характерних для робіт, пов'язаних з налагодженням і обслуговуванням системи керування електроприводом самозатискного патрону токарного верстату

Наявність джерела небезпеки ще не означає того, що людині чи групі людей обов'язково повинна бути причинена якась шкода чи пошкодження. Існування джерела небезпеки свідчить передусім про існування або ж можливість утворення конкретної небезпечної ситуації, при якій буде причинена шкода. До матеріальних збитків, пошкодження, шкоди здоров'ю, смерті або іншої шкоди приводить конкретний вражаючий фактор.

Шкідливий виробничий фактор – фактор середовища і трудового процесу, що може викликати зниження працездатності, патологію (професійне захворювання), привести до порушення здоров'я нащадків.

Шкідливими можуть бути:

- фізичні фактори: температура, вологість і рухливість повітря, випромінювання, що іонізують і не іонізують, шум, вібрація, недостатня освітленість;

- хімічні фактори: загазованість і запиленість повітря;

- біологічні фактори: хвороботворні мікроорганізми;

- фактори навантаження праці: фізичне статичне та динамічне навантаження; велика кількість стереотипних робочих рухів, велика кількість нахилів корпусу, незручна робоча поза;

- фактори напруженості праці: інтелектуальні, сенсорні, емоційні навантаження, монотонність і тривалість роботи.

Експлуатація електричних установок відноситься до розряду робіт, виконуваних в умовах підвищеної небезпеки. До основних небезпечних і шкідливих виробничих факторів при роботі в цеху відносять:

- дія виробничих вібрацій на людину;
- шум на виробництві;
- пил;
- небезпека поразки електричним струмом;
- інші.

Вібрація викликає порушення фізіологічного і функціонального стану людини. Вплив вібрації не тільки погіршує самопочуття працюючого і знижує його продуктивність праці, але часто приводить до важкого професійного захворювання – віброхвороби. Основним критерієм умов праці вібронебезпечних професій є рівень впливу вібрації. Розрізняють наступні умови праці і вібровпливу на людину: комфортні – не викликають дратівного впливу; нормальні - не знижують працездатності; віробезпечні – не викликають несприятливого біологічного впливу; вібронебезпечні – можливі патологічні зміни в організмі і віброхвороби.

Шум негативно впливає на різні системи організму: серцево-судинну, нервову, порушує сон, увагу, збільшує роздратованість, депресію, неспокій, подразнення, може впливати на дихання і травну систему; ушкодження слухової функції з тимчасовою або постійною втратою слуху; порушення здатності передавати та сприймати звуки мовного спілкування; відволікання уваги від звичайних занять; зміни фізіологічних реакцій людини на стресові сигнали; вплив на психічне і соматичне здоров'я; дію на трудову діяльність і продуктивність праці. Дослідження свідчать про несприятливий вплив шуму на центральну нервову, серцево-судинну систему і органи травлення. Порушення стану функціонування центральної нервової системи під впливом шуму призводить до ослаблення уваги і працездатності, особливо розумової.

Шум відноситься до шкідливих факторів виробництва як і звук, виникає при механічних коливаннях у твердих, рідких і газоподібних середовищах. Шумом

являються різні звуки, що заважають нормальної діяльності і викликають неприємні відчуття. Звук являє собою коливальний рух навколишнього середовища, сприйманий людським органом слуху.

У цехах допускається шум близько 100 дБ. Рівень шуму вище 140 дБ може викликати болісний ефект. Комплекс змін, що виникають в організмі під впливом шуму, розглядається медиками як "шумова хвороба".

Пил – дрібні і тверді частки, здатні якийсь час знаходитися в повітрі у зваженому стані. Утворюється при ритті комунікаційних ліній, монтажі будинків, опоряджувальних роботах, очищенні поверхонь і ін. Пил характеризується хімічним складом, розміром і формою часток, їхньою щільністю, електричними, магнітними й іншими властивостями. Ступінь подрібненості пилу називається його дисперсністю. Дисперсний склад може бути представлений у виді таблиць, математичних виразів, або графіків. Одна з основних характеристичних величин пилу – швидкість витання часток, тобто швидкість їхнього осадження під дією сили ваги в незбуреному повітрі.

У залежності від складу пилу змінюється його шкідливість; прикладом, найбільш шкідливим для людини вважається діоксид кремнію SiO_2 , що викликає таке захворювання, як силікоз. По хімічному ж складі пил підрозділяється на органічний (деревна, бавовняна ...), неорганічний (цементна, карбідна ...) і змішаний. ПДК коливається від 1 до 10 мг/м³.

Характерною для електротравматизму є порівняно велика кількість нещасних випадків з важким результатом – за даними енергонагляду з кожних 100 розслідуваних нещасних випадків від дії електричного струму 90 закінчується загибеллю потерпілих.

Основний спосіб захисту від статичної електрики – заземлення устаткування, судин і комунікацій, в яких накопичується статичний струм, використання спеціального взуття з електропровідною підошвою і інші засоби захисту.

Основними заходами захисту від ураження електричним струмом є:

- забезпечення недоступності струмоведучих частин;

- електричний розподіл мережі;
- використання подвійної ізоляції, вирівнювання потенціалу, використання захисного заземлення, захисного відключення;
- застосування спеціальних електрозахисних засобів – портативних приладів і пристосувань;
- організація безпечної експлуатації електроустановок.

Електрозахисні засоби поділяють на:

1. Ізольюючі:

- основні: гумові рукавички діелектричні, інструмент з ізольюючими рукоятками з показником напруги до 1000 В;
- додаткові: калоші діелектричні, килими і ізольюючі підставки.

2. Огороджувальні: щити, огороження-клітки, ізольюючі накладки і ковпаки, попереджувальні плакати, пристрої тимчасового заземлення.

Справність засобів захисту повинна перевірятися оглядом перед кожним їх застосуванням, а також періодично через 6...12 місяців

В установках з напругою до 1000 В з ізольованою нейтраллю безпека їх обслуговування забезпечується тільки при невеликій довжині мережі й при високому рівні опору ізоляції фаз щодо землі. Остання умова може бути виконана шляхом безперервного контролю ізоляції, своєчасного й швидкого відшукування й усунення місць ушкодження кваліфікованим персоналом.

Поразка електричним струмом можлива не тільки при виконанні зазначених умов, але й при переході вищої напруги в мережу нижчої. Такий перехід може мати місце не тільки при пробі між обмотками трансформаторів, при живленні автотрансформатора, але, наприклад, і при падінні проводів високовольтної лінії (ВЛ) 6 ÷ 10 кВ і вище на провід лінії 0,4 кВ.

Для зменшення небезпеки поразки вторинну обмотку трансформатора заземлюють, а на ВЛ виконується повторне заземлення нульового проводу. Ушкоджена ділянка мережі ВЛ відключається захистом через якийсь проміжок часу, але на час дії захисту заземлення знижує напругу вторинного кола щодо

землі. Крім того, пробій обмоток небезпечний і тим, що він може сприяти й пробою на корпус трансформатора.

У всіх розглянутих випадках дотику, особливо в електроустановках до 1000 В, велику роль грає будь-який додатковий опір, послідовно підключений до опору тіла людини, такий як опір підлоги, взуття, захисних засобів (рукавичок, калош та інших).

5.3. Розрахунок захисного заземлення системи керування електроприводом самозатискного патрону токарного вертстату

За вимогами щодо будови електроустановок на напругу устаткування меншу ніж 1000 В, опір захисного заземлення повинен бути не більше 4 Ом.

Як штучне заземлення застосовуємо сталеві труби діаметром $d=60$ мм і довжиною $l_m=6$ м. Для зв'язку вертикальних електродів і як самостійний горизонтальний електрод, використовуємо смугову сталь перетином 4х40 мм.

Визначаємо опір розтікання струму одиничного вертикального заземлювача:

$$R_{B1} = \frac{\rho}{2\pi l_m} \left(\ln \frac{2l_m}{d} + \frac{1}{2} \ln \frac{4t + l_m}{4t - l_m} \right), \quad (5.1)$$

де t – глибина занурення труби, м; ρ – розрахунковий питомий опір ґрунту.

Питомий опір ґрунту визначаємо за формулою:

$$\rho = \rho_B \cdot \psi, \quad (5.2)$$

де ρ_B – питомий опір ґрунту, Ом·м; $\psi=1,3$ – коефіцієнт сезонності.

Питомий опір ґрунту визначаємо, $\rho_B=400$.

Підставляючи відомі величини у формулу (5.2), одержимо:

$$\rho = 400 \cdot 1,3 = 520 (\text{Ом} \cdot \text{м}).$$

Визначимо глибину занурення труби, яка дорівнює відстані від землі до середини труби:

$$t = 0,5 \cdot l_m + t_0, \quad (5.3)$$

де t_0 – відстань від поверхні землі до верхнього кінця заземлювача, приймаємо $t_0 = 1,5 \text{ м}$.

$$t = 0,5 \cdot 6 + 1,5 = 4,5 \text{ м}.$$

Підставляючи відомі величини у формулу (5.1), одержимо:

$$R_{B1} = \frac{520}{2 \cdot 3,14 \cdot 6} \left(\ln \frac{2 \cdot 6}{0,06} + \frac{1}{2} \ln \frac{4 \cdot 4,5 + 6}{4 \cdot 4,5 - 6} \right) = 77,9 \text{ Ом}.$$

Визначимо кількість заземлень по формулі:

$$n = \frac{R_{B1}}{\eta \cdot R_3}, \quad (5.4)$$

де R_3 – найбільший допустимий опір заземлюючого пристрою, Ом; η – коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів без урахування впливу сполученої смуги, $\eta = 1$ (електроди розміщені по контуру). Тоді

$$n = \frac{77,9}{1,4} = 19,5.$$

Приймаємо $n=20$ шт.

$$R_{\text{ВФ}} = \frac{R_{\text{В1}}}{n \cdot \eta_{\Phi}} = \frac{77,9}{20 \cdot 0,7} = 5,56 \text{ Ом.} \quad (5.5)$$

Визначимо опір розтіканню струму горизонтальної смуги:

$$R_{\text{1Г}} = \frac{\rho}{2\pi l_1} \cdot \ln \frac{2l_1^2}{b \cdot t_1} \quad (5.6)$$

де t_1 – глибина занурення смуги, м; b – ширина смуги, м; l_1 – довжина смуги, м.

Визначається як:

$$l_1 = 1,05 \cdot a \cdot n; \quad (5.7)$$

де a – відстань між вертикальними заземленнями, м:

$$a = 2 \cdot 6 = 12 \text{ м.}$$

Підставляючи отримані величини у формулу (5.7), одержимо:

$$l_1 = 1,5 \cdot 12 \cdot 20 = 252 \text{ м.}$$

Підставляючи відомі величини у формулу (5.6), одержимо:

$$R_{\text{1Г}} = \frac{520}{2 \cdot 3,14 \cdot 252} \cdot \ln \frac{2 \cdot 252^2}{0,04 \cdot 1,5} = 4,7 \text{ Ом;}$$

$$R_{\text{1Г}} = \frac{R_{\text{1Г}}}{\eta_{\Gamma}} = \frac{4,7}{0,56} = 8,5 \text{ Ом.}$$

Визначимо опір розтіканню струму заземлюючого пристрою:

$$R_3 = \frac{R_{b\Phi} \cdot R_{\Gamma}}{R_{b\Phi} + R_{\Gamma}}. \quad (5.8)$$

Підставляючи відомі величини у формулу (5.8), одержимо:

$$R_3 = \frac{5,56 \cdot 8,5}{5,56 + 8,5} = 3,36 \text{ Ом.}$$

R_3 не перевищує допустимого опору захисного заземлення: $3,36 \text{ Ом} < 4 \text{ Ом}$.

5.4. Розробка заходів щодо зменшення впливу шкідливих та небезпечних факторів, пов'язаних з експлуатацією й налагодженням електропривода самозатискного патрону токарного верстату

На основі аналізу шкідливих та небезпечних факторів, таких як: вібрації, шум, пил та електронебезпека, було розроблено низку заходів, щодо їх зменшення або уникнення.

Основними заходами зниження впливу вібрацій є зниження її в джерелі виникнення та вибору технологічних процесів та робочих режимів з урахуванням частот власних коливань машин та механізмів.

Причиною низькочастотних, вібрацій, як правило, є дисбаланс роторів, що виникає внаслідок нерівномірності густини матеріалу машин, неправильного вибору допусків і посадок, урізання коефіцієнтів об'ємного розширення або зносостійкості окремих елементів машин.

Якщо не вдається усунути вібрації в джерелі виникнення, тоді застосовують такі методи зниження вібрації:

- балансування роторів (валів);
- удосконалення ручних механізованих інструментів;
- усунення надмірних люфтів та зазорів, що забезпечується періодичним оглядом машин та механізмів;

- вібродемпфування, в основу якого покладено збільшення активних втрат у коливних системах;

- віброгасіння;

- віброізоляцію, що полягає у введенні в систему додаткових пружних елементів, які перешкоджають впливу від машини на другі елементи конструкції.

Відносно джерела збудження вібрації методи колективного захисту поділяються на методи, котрі знижують параметри вібрації впливом на джерело збудження, а також ті, котрі знижують параметри вібрації в напрямку її поширення.

Для віброізоляції стаціонарних машин використовують віброізольовані отвори у вигляді прокладок або пружин. Однак, можлива їх комбінація. Комбінований віброізолятор поєднує пружинний віброізолятор з пружинною прокладкою. Пружинний віброізолятор пропускає високочастотні коливання, а комбінований забезпечує великий діапазон коливань, що гасяться. Пружинні елементи можуть бути металевими, полімерними, волокнистими тощо.

Персонал, який працює із вібронебезпечними процесами, повинен вдягати спеціальний одяг, спеціальне взуття.

Захист людини від шуму можна забезпечити як колективними засобами та методами, так і індивідуальними. Колективні засоби захисту діляться на засоби, що знижують шум в його джерелі, та засоби, що знижують шум на шляху його розповсюдження від джерела до об'єкту, який захищають.

Методи зниження шуму:

- зниження шуму в джерелі його виникнення;

- звукоізоляція;

- екранування;

- будівельно-акустичні заходи.

Зниження шуму в джерелі виникнення досягається за рахунок зміни конструкції або принципу дії верстата, що знижує віброактивність вузлів, випромінювання шуму поверхнями верстата та аеродинамічний шум.

При акустичній обробці приміщення шум знижується внаслідок зменшення інтенсивності відбитих хвиль.

Виходячи з гігієнічних нормативів, витікає, що знижувати потрібно не будь-яку віброакустичну активність машин, а тільки ту, яка шкідливо впливає на людський організм, тобто за рівнем, вищим за гранично допустимий норматив.

Як захист від шуму і звуку варто застосовувати звукоізоляцію, звукопоглинання, спеціальні глушители аеродинамічного шуму, засоби індивідуального захисту, навушники, беруши, протишумні каски, спеціальний протишумний одяг.

Заходи щодо боротьби з пилом на цьому виробництві та її шкідливим впливом на організм людини проводяться за наступними напрямками:

- раціоналізація технологічного процесу, що усуває утворення пилу;
- автоматизація процесів, при яких утворюється пил;
- застосування МОР, як змочування обробленої поверхні;
- застосування пиловитягаючої вентиляції, вентиляції загального та місцевого призначення;
- регулярне прибирання приміщень;
- забезпечення робочих протипиловим спецодягом, респіраторами, окулярами та іншими засобами захисту;
- створення на підприємстві умов для забезпечення заходів особистої гігієни.

При впровадженні розробленого технологічного процесу механічної обробки деталі у виробництво існуватиме пилове забруднення повітря, що негативно впливає на здоров'я працівників та довговічність обладнання. Однак, використання місцевої та загально-обмінної (природної та механічної) систем вентиляції, які забезпечують високий ступінь очистки відпрацьованого повітря від шкідливих домішок за рахунок його багатоступеневого очищення у відповідних апаратах, дозволяє досягнути істотного покращення складу повітряного середовища виробничого приміщення.

Електробезпека на виробництві забезпечується відповідною конструкцією електроустановок, застосуванням технічних способів та засобів захисту; організаційними та технічними заходами.

Конструкція електроустановок повинна відповідати умовам експлуатації, забезпечувати захист персоналу від дотику із струмоведучими і рухомими частинами та від попадання всередину обладнання сторонніх предметів і води.

Забезпечення електробезпеки від випадкового дотику до струмоведучих частин досягається такими способами та засобами: захисні огорожі; ізоляція струмоведучих частин; застосування малих напруг; електричний розподіл мережі; захисне заземлення; захисне занулення; захисне відключення; захист від небезпеки при переході напруги з вищої сторони на нижчу; компенсація струмів замикання на землю; ізолюючі захисні та охоронні засоби; організації безпечної експлуатації електроустановок.

Технічними заходами щодо забезпечення електробезпеки робіт є:

- відключення ремонтного електроустановки і вживання заходів проти випадкового його включення;
- установка тимчасових огорож струмоведучих частин і вивішування заборонних плакатів не "включати - працюють люди" або не "включати – роботи на лінії";
- приєднання переносного заземлення до заземлюючої шини стаціонарного заземлюючого пристрою і перевірка відсутності напруги на струмоведучих частинах, які для безпеки проведення робіт підлягають короткому замиканню і заземленню;
- накладення переносних заземлень на відключені струмоведучі частин електроприводу відразу після перевірки відсутності напруги або включення спеціальних заземлюючих роз'єднувачів;
- огорожа робочого місця і вивішування на огорожі дозволяючого напису "Працювати тут".

Ці технічні заходи виконує допущений до роботи з числа оперативного ремонтного персоналу з кваліфікаційною групою не нижче III по дозволу особи,

що віддає розпорядження на проведення робіт. При роботі з електричними колами напругою до 1000 В застосовуються наступні основні захисні засоби:

- діелектричні рукавички;
- вимірювальні оперативні штанги;
- кліщі електровимірювань;
- покажчики напруги.

Висновки за розділом 5

У даному розділі було проведено аналіз небезпечних і шкідливих факторів при роботі системи управління, а саме: частини обертових пристроїв, що рухаються, можуть привести до важких фізичних травм при дотику до них, ті, що рухаються поступально – до забитих місць і переломів. Насиченість приміщення електроустаткуванням призводить до підвищення небезпеки ураження електричним струмом. Несправності електричних пристроїв і електропроводки, неправильна експлуатація електроустаткування можуть привести до коротких замикань і виникнення пожежі. Було розраховано захисне заземлення системи управління електроприводом самозатискного патрону токарного верстату. Крім цього, було розглянуто вплив шуму та вібрацій на організм людини. У зв'язку з цим, було розроблено низку заходів, щодо уникнення від впливу шкідливих та небезпечних факторів, пов'язаних з експлуатацією й налагодженням системи управління електроприводом.

ВИСНОВОК

У результаті виконання магістерської роботи було розроблено та вдосконалено систему керування електроприводом затискання патрона токарного верстата. В роботі здійснено детальний аналіз конструкції та принципу дії токарного верстата 16K20, що дозволило сформулювати основні вимоги до системи автоматизації для підвищення точності та ефективності роботи обладнання.

Вибір векторного частотного перетворювача CFM110 для керування електроприводом став ключовим етапом в удосконаленні системи. Його застосування забезпечує високу точність та стабільність роботи системи при змінному навантаженні, що є критично важливим для токарних верстатів з самозатискними патронами. Крім того, завдяки широкому діапазону частотного регулювання та можливості векторного керування, CFM110 ефективно вирішує завдання синхронізації приводів та підвищення продуктивності.

Процес моделювання динамічних процесів у системі керування в середовищі Simulink дозволив створити точну динамічну модель та розробити алгоритми керування, що сприяють підвищенню ефективності процесу затискання заготовки та забезпечують стабільність роботи при різних навантаженнях.

Результати роботи дозволяють стверджувати, що запропонована система автоматизації є ефективним рішенням для модернізації токарних верстатів з самозатискними патронами, забезпечуючи покращення точності обробки, зменшення часу на переналагодження обладнання та підвищення надійності роботи в умовах змінного навантаження.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Д. В. Гоменюк, Л. А. Романов, М. М. Шимановський Технології верстатних робіт житомир «Полісся» 2021
2. Стискін Г. М. Технологія механічної обробки на металообробних верстатах. К: Техніка, 2005. 512 с.
3. Програмування оброблення на верстатах з ЧПК і налагодження їх І За ред. В. П. Щербакова. - К.: Вища шк., 1997. - 342 с
4. Стискин Г. М. Прогрессивные приспособления и инструменты для токарных работ. К.: Техника, 1982. 63 с.
5. Зимин Е.Н., Преображенский В.И., Чувашов И.И. Электрооборудование промышленных предприятий и установок в
6. Головінов В. П. Програмування оброблення на токарному верстаті з пристроєм ЧПК моделі 2P22: Проб. навч. посіб. К.: Вища шк., 2002. 102 с.: іл.
7. Державний стандарт професійно-технічної освіти. ДСПТО 8211.D0.28.52–2014. Токар 2, 3, 4, 5, 6 розрядів
8. Кузнецов Ю. М. Верстати з ЧПУ та верстатні комплекси. Частина 2. К. — Тернопіль: ТОВ «ЗМОК» — ПП «Гнозіс», 2001. 298 с.: іл.
9. Кондратюк С. Є. Металознавство та обробка металів (у запитаннях і відповідях). К. : Вікторія, 2000. 372 с.
10. Стискін Г. М. Інструменти для механічної обробки матеріалів. Л.: Оріяна-Нова, 2002. 240 с.
11. Кузнецов Ю. М. Верстати з ЧПУ та верстатні комплекси. Частина 2. К. — Тернопіль: ТОВ «ЗМОК» — ПП «Гнозіс», 2001. 298 с.: іл.
12. Чумак М. Г. Матеріали та технологія машинобудування: Підручник. К.: Либідь, 2000. 368 с.
13. Стискін Г. М., Ревнівцев М. П., Мелещик В. А. Технологія токарної обробки. К.: Либідь, 1998. 176 с.
14. Базь О.С., Захаренко Г.С. Токарна справа. Частина 1: навчальний посібник. Чернівці: Букрек, 2020. 232 с.:

15. Стискін Г. М. Технологія механічної обробки на металообробних верстатах Т38. К.: Техніка, 2005. 512 с.

16. Хільчевський В. В. Матеріалознавство і технологія конструкційних матеріалів. 2002. 425 с.

17. Головінов В. П. Програмування оброблення на токарному верстаті з пристроєм ЧПК моделі 2Р22: Проб. навч. посіб. К.: Вища шк., 2002. 102 с.: іл.

18. Кузнецов Ю. М. Верстати з ЧПУ та верстатні комплекси. Частина 2. К. — Тернопіль: ТОВ «ЗМОК» — ПП «Гнозіс», 2001. 298 с.: іл.

19. Гайворонський В. А. Програмування автоматизованого обладнання. Частина 1. Технологічні основи обробки корпусних деталей: Навчальний посібник. К.: Кондор, 2007. 290 с

20. Балацький В. В. Сучасні інструментальні матеріали. К.: Техніка, 1999. 120с.

21. Частотне керування асинхронним приводом: Методичні вказівки для самостійної роботи з дисципліни „Основи електропривода” для студентів напряму підготовки 6.100101 – „Енергетика та електротехнічні системи в АПК” / Ловейкін В.С., Ромасевич Ю.О. – Ніжин.: 2011. – 98 с

22. Бедфорд Б., Хофт Р. Теория автономных инверторов. - М.: Энергия, 1969. - 280 с.

23. Application Note AN-90 TinySwitch-III Family

24. AN-1044. Plug N Drive Application Overview Integrated Power Module for Appliance Motor Drive / P. Wood, M. Battello, N. Keskar, A. Guerra. 2002. International Rectifier rev.1.22 p. URL:

25. AN955 VF Control of 3-Phase Induction Motor Using Space Vector Modulation

26. В.І. Сенько, К.В. Трубіцин, В.І. Чибеліс ІНВЕРТОРИ І ПЕРЕТВОРЮВАЧІ ЧАСТОТИ Монографія Київ Видавництво Ліра-К 2020

27. Михальський В.М., Соболев В.М., Чехет Е.М. Векторна широтноімпульсна модуляція в матричних перетворювачах. Навчальний посібник. – К.: Ін-т електродинаміки НАН України, 2003. – 74с.

28. Кириленко О.В. , Жуйков В.Я., Денисюк С.П., Рибіна О.Б. Системи силової електроніки та методи їх аналізу. – К.: “Текст”, 2006. – 488 с.

29. Перетворювальна техніка. Частина 1: Підручник / В.С. Руденко, В.Я. Ромашко, В.Г. Морозов. – К.: ІСДО, 1996. – 262 с.

30. Лавріненко Ю.М., Марченко О.С., Савченко П.І., Синявський О.Ю., Войтюк Д.Г. Лисенко В.П. Електропривод: підручник (за ред. Лавріненка Ю.М.). – К.: вид-во Лір-К., 2009. – 504 с.

31. Перетворювальна техніка. Підручник : Ч. 2/ Ю.П. Гончаров , О.В. Будьонний, В.Г. Морозов та ін., За ред.. В.С. Руденка. – Харків: Фоліо, 2000. – 360 с.

32. Електроніка і мікросхемотехніка : Підручник для вищ. навч. закл. освіти : У 4-х т./ В.І. Сенько, М.В. Панасенко , Є.В. Сенько та ін.; Під ред. В.І. Сенька. – К.: ТВО "Видавництво Обереги", 2000. – Т.1. Елементна база електронних пристроїв. – 309 с.

33. Преобразователи частоты серии VFD-EL. Руководство по эксплуатации. 222 с. Приложение С . Как правильно выбрать преобразователь частоты.- С. 212

34. Головінов В. П. Програмування оброблення на токарному верстаті з пристроєм ЧПК моделі 2P22: Проб. навч. посіб. К.: Вища шк., 2002. 102 с.: іл

35. Винокурова Л. Е. Основи охорони праці: Навчальний посібник для професійно-технічних навчальних закладів. К.: Факт, 2005. 344 с. : іл.

36. Загірняк М. В., Коренькова Т. В., Калінов А. П., Гладир А. І., Ковальчук В. Г. Сучасні перетворювачі частоти в системах електропривода Навчальний посібник Видання друге, перероблене і доповнене Харків Видавництво «Точка» 2017

37. Колб А. А. Теорія електроприводу: Навчальний посібник / А. А. Колб, А. А. Колб. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 511 с.

38. Попович М. Г. Електромеханічні системи автоматичного керування та електроприводи: Навч. Посібник / М. Г. Попович, О. Ю. Лозинський, В. Б. Клепиков. – К.: Либідь, 2005. – 680 с.

39. Вайнтрауб М. А. Засоби контролю процесів механообробки надточних деталей : монографія / Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, М. А. Вайнтрауб, Т. Р. Ключко. – К. : НТУУ «КПІ», 2011. – 516 с., іл. – Бібліогр. : с. 503 – 513.

40. Вайнтрауб М. А. Теорія і практика професійної підготовки майбутніх кваліфікованих робітників з обробки металу : монографія / М. Вайнтрауб. – вид. 2-ге, доповн. – К. : Т. Ключко, 2013. – 328 с

41. Технологія верстатних робіт (для учнів професійно-технічних навчальних закладів машинобудівного профілю) Навчальний посібник Київ-2015

42. Вайнтрауб М. А. Фізичні засади технології ТОНТОР : монографія / Г. С. Тимчик, В. І. Скицюк, Т. Р. Ключко. – К. : НТУУ «КПІ», 2010. – 352 с. – Бібліогр. : с. 342 – 349

43. Технологія верстатних робіт (для учнів професійно-технічних навчальних закладів машинобудівного профілю) Навчальний посібник Київ-2015.

44. Гандзюк М.П. Основи охорони праці / М.П. Гандзюк, Є.П. Желібо, М.О. Халімовський. — К.: Каравела, 2003. – 408 с.

45. Пожежна безпека. Нормативно-правові акти та інші документи т.т. 1- 15. Протипожежні вимоги в галузі проектування та будівництва. — К.: ТОВ «Пожінформтехніка», 1997-2009 рр.

46. Піддубний В.В. Питання професійної гігієни праці в системі охорони праці / В.В. Піддубний, О.І. Стовбун — К.: Логос, 2004. – 195с.

47. Шаповал М.І. Основи стандартизації, управління якістю і сертифікації: [підручник] / М.І. Шаповал – [3-є вид] — К.: Європ. ун-ту, 2001. – 174 с.

48. Яремко З.М. Охорона праці: [навч. посіб] / З.М. Ярема, С.В. Тимошук, О.І. Третяк, Р.М. Ковтун — Л.: ЛНУ ім. І. Франка, 2010. – 70 с.

Кваліфікаційна робота для здобуття
ступеню магістр на тему:

**«Удосконалення системи керування
електроприводу затискання патрона
токарного верстаку»**

Виконав: студент групи 6371м
Меркулов Дмитро Олександрович
Керівник: к.т.н., Козлов А.Ю.

ДОДАТОК А.
МУЛЬТИМЕДІЙНА ПРЕЗЕНТАЦІЯ

Мета роботи: удосконалення системи керування електроприводом затискання патрона токарного верстата шляхом розробки та впровадження автоматизованої системи, що забезпечує підвищення точності, надійності та ефективності обробки деталей.

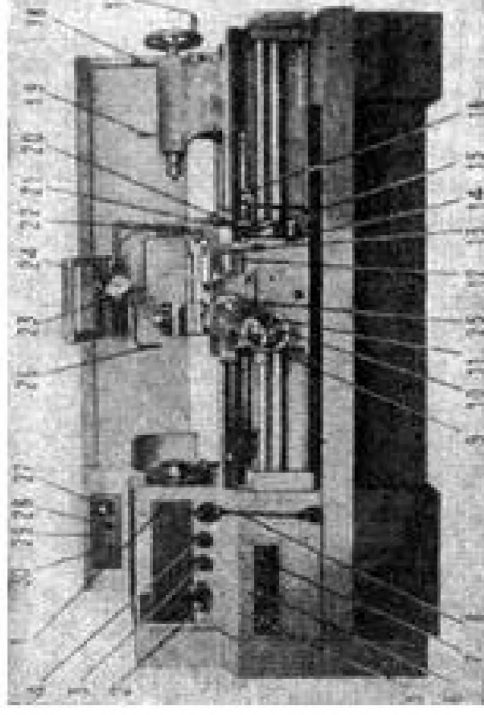
Об’єкт дослідження: система керування електроприводом затискання патрона токарного верстата з самозатискним патроном.

Предмет дослідження: процеси автоматизації та моделювання динамічних процесів в системі керування електроприводом, а також розробка та оптимізація алгоритмів керування для удосконалення роботи токарного верстата з самозатискним патроном.

Завдання:

- Визначити основні технічні дані та характеристики токарного верстату 16K20
- Вибрати та пояснити доцільність використання частотного перетворювача *CFM110* для використання його в системі керування.
- Розробити рівняння динаміки системи
- Створити динамічну модель управління у системі *Simulink* та провести моделювання
- Розробити алгоритм керуючої програми

Токарный верстат 16K20



Слайд 4 – Токарный верстат 16K20

Перетворювач частоти CFM110



Слайд 6 – Перетворювач частоти CFM110

Рівняння динаміки електроприводу

Приписане значення моменту опору двигуна:

$$M_{o,op}(t) = \frac{h_{c,1} \cdot F_{np}(t)}{\eta_p \cdot \eta_{am} \cdot i_{p2} \cdot 2\pi}.$$

Помилка керування:

$$\varepsilon(t) = M_{o,op} - M_o(t).$$

Закон управління:

$$M'_{np}(t) = \begin{cases} \tilde{k}_1 \cdot \varepsilon(t) \cdot M_{o,op}(t) & \text{при } \varepsilon(t) \geq 0; \\ \tilde{k}_2 \cdot \varepsilon(t) & \text{при } \varepsilon(t) < 0; \end{cases}$$

$$M''_{np}(t) = \begin{cases} M'_{np}(t) & \text{при } M'_{np}(t) < M_{max}; \\ M_{max} & \text{при } M'_{np}(t) \geq M_{max}; \end{cases}$$

$$M_{np}(t) = \begin{cases} M'_{np}(t) & \text{при } \omega \leq \omega_{max}; \\ 0 & \text{при } \omega > \omega_{max}. \end{cases}$$

Електромагнітний момент двигуна:

$$T_e \frac{dM}{dt} + M(t) = M_{np}(t).$$

Рівняння руху двигуна:

$$J \frac{d\omega}{dt} = M(t) - M_o(t).$$

Швидкість обертання спірального диску:

$$\omega_{c,1}(t) = \frac{\omega(t)}{i_p(t)}.$$

Перемикання редукції:

$$i_p(t) = \begin{cases} i_{p1} & \text{при } M_o(t) < M_{o,min}; \\ i_{p2} & \text{при } M_o(t) \geq M_{o,min}. \end{cases}$$

Кут повороту спірального диску:

$$\varphi_{c,1}(t) = \int \omega_{c,1}(t) \cdot dt.$$

Переміщення кулачків:

$$x(t) = \frac{h_{c,1} \varphi_{c,1}(t)}{2\pi}.$$

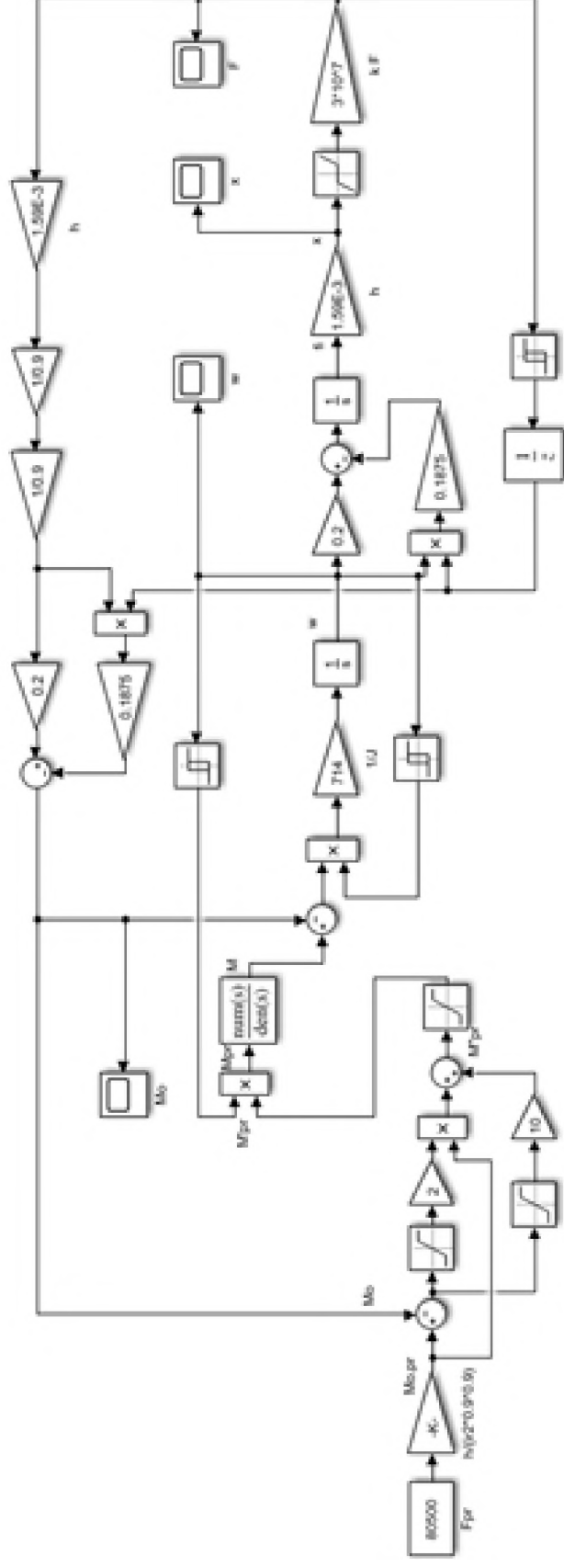
Сила затиску:

$$F(t) = \begin{cases} 0 & \text{при } x(t) < x_c; \\ \tilde{k}_F \cdot (x(t) - x_c) & \text{при } x(t) \geq x_c. \end{cases}$$

Момент опору:

$$M_o(t) = \frac{h_{c,1} \cdot F(t)}{\eta_p \cdot \eta_{am} \cdot i_p(t) \cdot 2\pi}.$$

Система керування в програмі *Simulink*



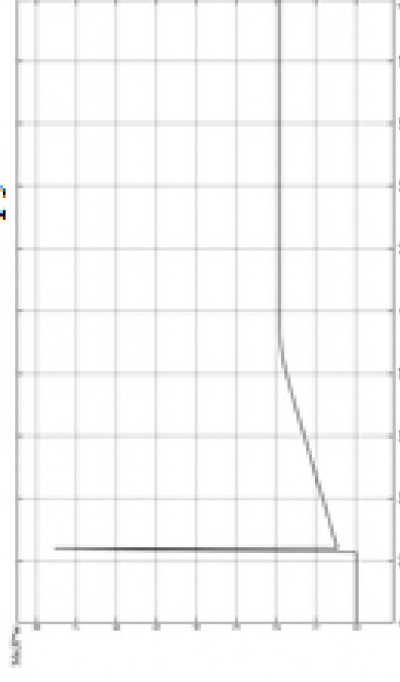
Слайд 8 – Системи керування в програмі *Simulink*

Результати моделювання процесу затиску заготовки

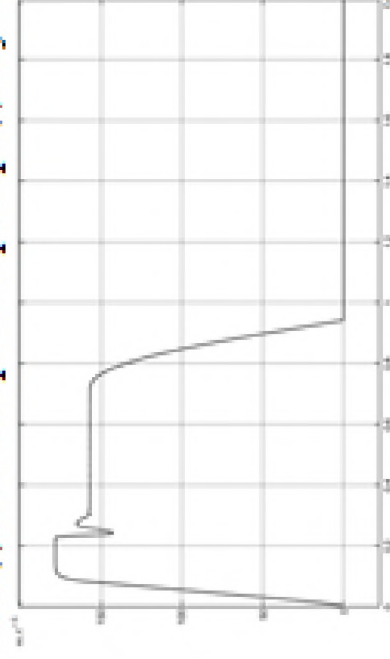
Сила затиску заготовки



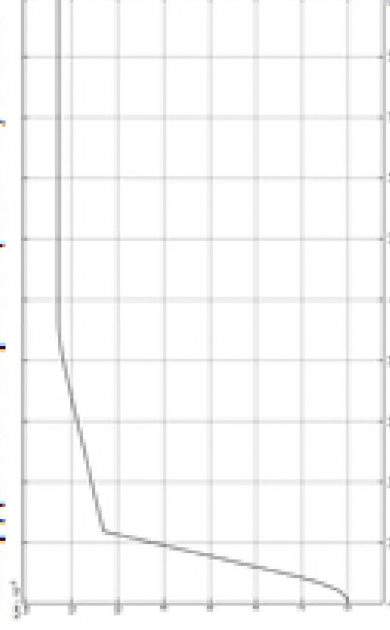
Момент опору



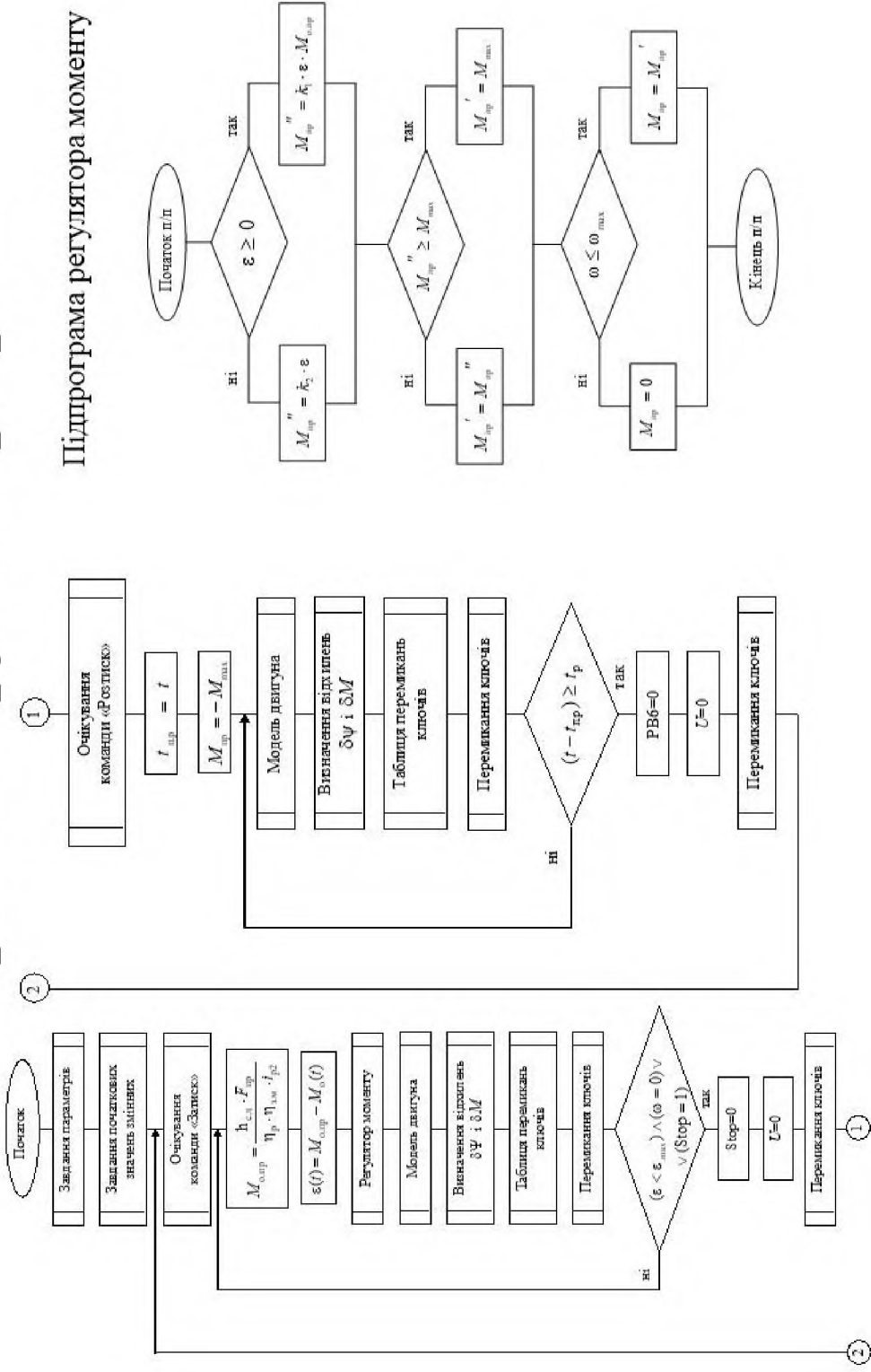
Швидкість обертання ротора двигуна



Координата переміщення кулачків

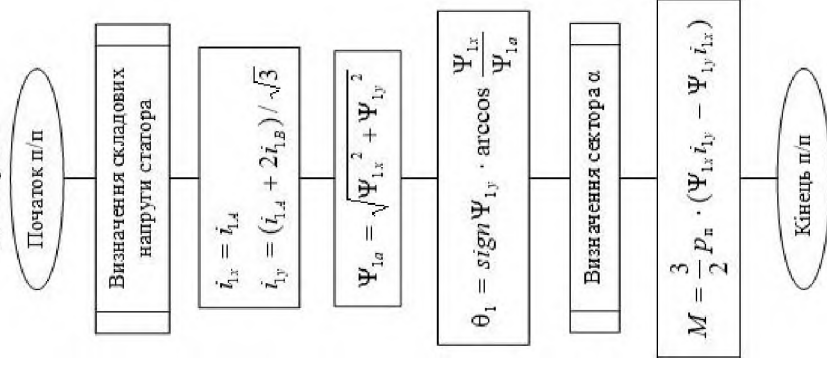


Алгоритми керуючої програми

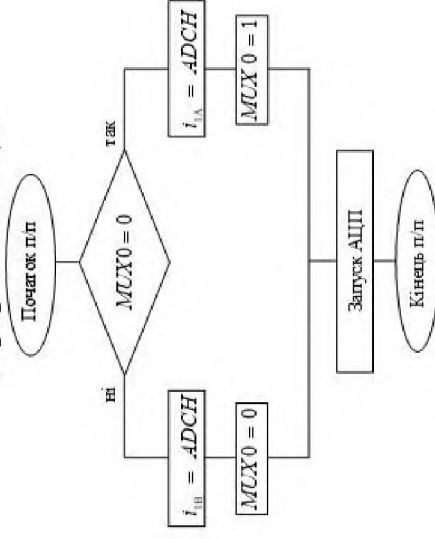


Алгоритми підпрограм

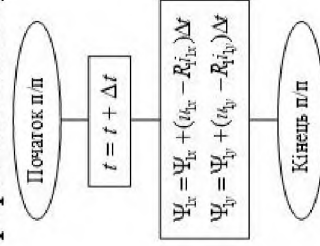
Підпрограма моделі
двигуна



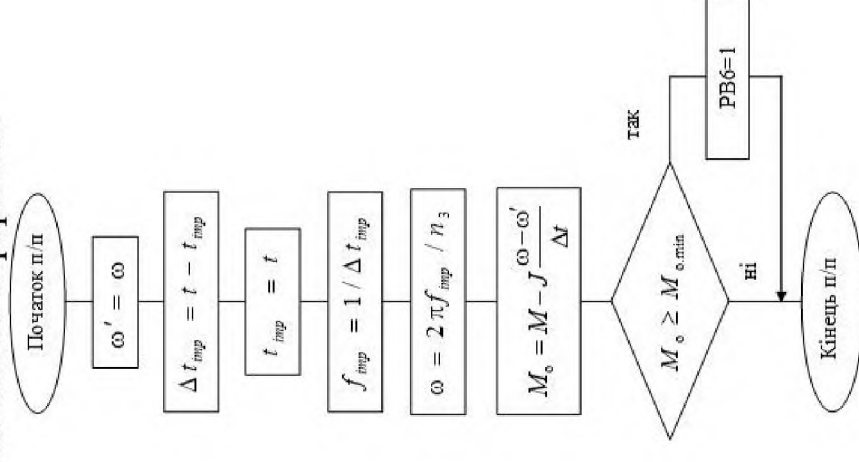
Підпрограма обробки
переривань АЦП



Підпрограма обробки
переривань таймера



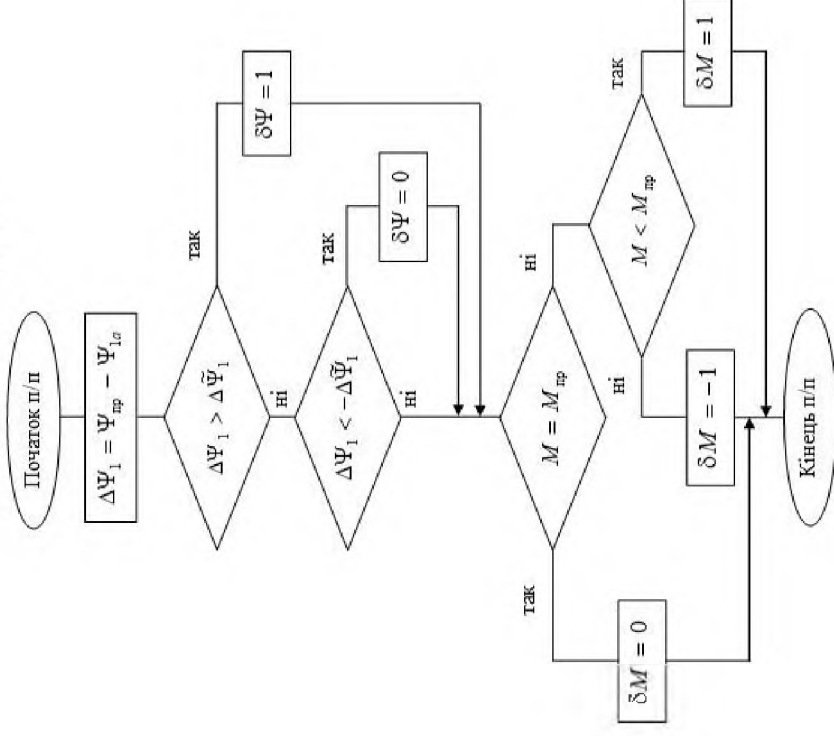
Підпрограма обробки
зовнішніх переривань



Алгоритми підпрограм

Підпрограма визначення

відхилень $\delta\Psi$ і δM



Підпрограма визначення сектора α

