

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

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

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

Пояснювальна записка

до кваліфікаційної роботи

магістр
(ступінь вищої освіти)

на тему **Модернізація електрообладнання радіально-свердлильного
верстата моделі 2М57-2 та дослідження його характеристик**

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

Марченко І.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Лактіонов О.І.

(прізвище та ініціали)

Рецензент Шефер О.В.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2023 рік

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри
автоматики, електроніки та
телекомунікацій


“ 04 ” 09 О.В. Шефер
2023 р.

З А В Д А Н Н Я

НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Марченку Ігорю Віталійовичу

1. Тема проекту (роботи) **«Модернізація електрообладнання радіально-свердлильного верстата моделі 2M57-2 та дослідження його характеристик»**
керівник проекту (роботи) Лактіонов Олександр Ігорович, к.т.н., доцент
затверджена наказом вищого навчального закладу від 04.09.2023 року № 986-фа
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 13.12.2023 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Технічний паспорт радіально-свердлильного верстата моделі 2M57-2
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити Порівняльний аналіз існуючих верстатів свердлильної групи та їх систем керування. Коротка технічна характеристика і опис основних вузлів верстата. Вимоги до електроприводу і автоматики. Вибір роду струму і величини напруги мережі живлення. Вибір системи електроприводу, методів регулювання швидкості та гальмування. Розрахунок потужності електродвигунів та їх вибір. Розрахунок і вибір апаратів керування. Розрахунок і вибір апаратів захисту. Вибір проводів і кабелів живлення. Розробка системи автоматичного керування двигуном шпинделя. Автоматизація системи охолодження свердлильного верстата засобами Arduino. Організація монтажу електрообладнання верстата. Технічне обслуговування та експлуатація електрообладнання верстата. Можливі пошкодження і ремонт електрообладнання верстата.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):

- 1) Схема загального вигляду;
- 2) Схема електрична принципова. Силова частина;
- 3) Схема монтажна;
- 4) Порівняльний аналіз верстатів свердлильної групи;
- 5) Схема системи охолодження верстата засобами Arduino;
- 6) Структурна схема електродвигуна шпинделя свердлильного верстата 2М57-2 (узагальнений вигляд) та передавальна функція двигуна
- 7) Схема можливостей використання верстата;
- 8) Загальна передавальна функція системи та її програмна реалізація

6. Дата видачі завдання 02.10.2023 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Вступ. Порівняльний аналіз існуючих верстатів свердлильної групи та їх систем керування. Перший аркуш графічної роботи	11.10.23		15%	Пл. 1
2	Коротка технічна характеристика і опис основних вузлів верстата. Вимоги до електроприводу і автоматики. Другий аркуш графічної частини	18.10.23	I	30%	Пл. 2
3	Вибір роду струму і величини напруги мережі живлення. Вибір системи електроприводу, методів регулювання швидкості та гальмування. Розрахунок потужності ел.двигунів та їх вибір.	25.10.23		40%	Пл. 4
4	Розрахунок і вибір апаратів керування. Розрахунок і вибір апаратів захисту. Вибір проводів і кабелів живлення. Розробка системи автоматичного керування двигуном шпинделя. Третій аркуш графічної частини	14.11.23		50 %	Пл. 5
5	Автоматизація системи охолодження свердлильного верстата засобами Arduino. Організація монтажу електрообладнання верстата. Четвертий аркуш графічної частини	21.11.23	II	60%	Пл. 6
6	Технічне обслуговування та експлуатація електрообладнання верстата. Можливі пошкодження і ремонт електрообладнання верстата. П'ятий аркуш графічної частини	28.11.23		70%	Пл. 7
7	Шостий – дев'ятий аркуші графічної частини	06.12.23		90%	Пл. 8
8	Оформлення магістерської роботи	13.12.23	III	100%	Пл. 9

Магістрант


(підпис)

Марченко І.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Лактіонов О.І.
(прізвище та ініціали)

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ	8
1.1 Порівняльний аналіз існуючих верстатів свердлильної групи та їх систем керування	8
1.1.1 Принципи керування у верстатах свердлильної групи	12
1.1.2 Розподіл систем керування за способами впливу на робочі механізми машини (верстата)	14
1.1.3 Базова структура системи керування	15
1.1.4 Різновиди систем керування за принципом дії	19
1.2 Коротка технічна характеристика і опис основних вузлів верстата	27
1.3 Вимоги до електроприводу і автоматики	30
1.4 Вибір роду струму і величини напруги мережі живлення	32
1.5 Вибір системи електроприводу, методів регулювання швидкості та гальмування	34
Висновки до розділу 1	34
2 РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА	35
2.1 Розрахунок потужності електродвигунів та їх вибір	35
2.1.1 Розрахунок потужності двигуна головного руху та вибір його за каталогом	35
2.1.2 Розрахунок потужності двигуна насоса охолоджувальної рідини та вибір його за каталогом	41
2.1.3 Розрахунок потужності двигуна затиску колони та вибір його за каталогом	42
2.2 Розрахунок і вибір апаратів керування	45
2.2.1 Вибір комутаційних апаратів	45
2.2.2 Вибір додаткових пристроїв до контакторів (теплові реле)	46
2.2.3 Вибір контролера для керування електродвигунами шпинделя	46
2.3 Розрахунок і вибір апаратів захисту	47
2.4 Розрахунок та вибір проводів і кабелів живлення	48
Висновки до розділу 2	49

3 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СВЕРДЛИЛЬНИМ ВЕРСТАТОМ ЗАСОБАМИ ТЕОРІЇ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ	50
3.1 Розробка системи автоматичного керування двигуном шпинделя	50
3.1.1 Визначення стійкості та якості системи	52
3.1.2 Підвищення надійності та точності системи засобами ПД-регулятора	54
3.2 Автоматизація системи охолодження свердильного верстата засобами Arduino	56
Висновки до розділу 3	61
4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА	62
4.1 Організація монтажу електрообладнання верстата	62
4.2 Технічне обслуговування та експлуатація електрообладнання верстата ..	65
4.3 Можливі пошкодження і ремонт електрообладнання верстата	68
Висновки до розділу 4	70
ВИСНОВКИ	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	72
ДОДАТКИ	76
Додаток А Розділ 1 (англійська версія)	76
Додаток Б Текст тез наукової конференції	100
Додаток В Текст презентації	105

ВСТУП

Машинобудування належить до найпотужніших галузей народного господарства, забезпечує високу якість і точність виробів взагалі та оброблюваних поверхонь деталей машин зокрема. Її ефективність досягається збільшенням частки автоматизованих установок, роботизованих систем, оснащених мікропроцесорами або обчислювальними пристроями.

Ефективне використання зазначеного устаткування неможливе без створення сучасного інструментального спорядження підвищеної надійності, яке б забезпечувало економічне використання дорогої прогресивної техніки. Ця обставина зумовлює підвищені вимоги до металорізальних інструментів, їх якості, ефективності. Тому майбутні фахівці в галузі металообробки повинні вміти проектувати різні види інструментів, а також вдосконалювати їх для верстатів-автоматів, автоматичних ліній, верстатів з ЧПК, швидко переналагоджувальних технологічних систем з урахуванням вимог до оброблюваних деталей, особливостей устаткування.

Тема магістерської роботи безпосередньо пов'язана з експлуатацією даного типу металорізальних верстатів.

Об'єкт дослідження. Процес удосконалення системи керування верстатом.

Предмет дослідження. Модернізація електрообладнання радіально-свердлильного верстата моделі 2М57-2.

Мета роботи: модернізація електрообладнання радіально-свердлильного верстата моделі 2М57-2 шляхом використання сучасних технологій.

Завдання дослідження:

- 1 Провести порівняльний аналіз існуючих верстатів свердлильної групи.
- 2 Здійснити розрахунок та вибір обладнання верстата.
- 3 Здійснити модернізацію системи керування верстатом.
- 4 Запропонувати рекомендації технологічного обслуговування верстата.

Методи дослідження: порівняльний аналіз, моделювання та симуляція, методи дисципліни електричні апарати, методи теорії автоматичного керування.

Практичне значення роботи: полягає у використанні запропонованих рішень для підвищення продуктивності виготовлення продукції на верстаті.

Апробація матеріалів магістерської роботи здійснювалася на ІХ Всеукраїнській науково-практичній конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика» у листопаді 2023 року.

1 ВИБІР І ОБҐРУНТУВАННЯ ВИХІДНИХ ДАНИХ

1.1 Порівняльний аналіз існуючих верстатів свердлильної групи та їх систем керування

На сучасному виробництві свердлильні вертати є найбільш поширеними серед металообробних верстатів [1]. Вони мають різне комплектування і будову виконавчої частини верстата та значне різноманіття інструментального забезпечення. Сьогодні виробники пропонують різні моделі верстатів для свердління, які можуть виконувати свердління і розгортання отворів, зенкерування і нарізання внутрішньої різьби.

Свердління є механічною обробкою матеріалів, для якої використовується спеціальний інструмент для різання – свердло. За допомогою цієї операції виконуються отвори різної форми і розмірів. Процес свердління застосовується при необхідності зенкерування, розгортання та розточування отворів [2].

Зенкерування, розгортання отворів і свердління можна виконувати застосувавши вертикально-свердлильне оброблення металів. Використовуючи різні інструменти та пристосування при вертикальній обробці матеріалів, з'являється можливість виконати нарізання різьби на вертикально-свердлильних верстатах.

На вертикально-свердлильному верстаті виконують роботи по механічному обробленню за допомогою різання, а саме – свердління.

Свердління – це процес, при якому свердло, що обертається, утворює різні отвори, які відрізняються по глибині, розміром та конфігурацією [2].

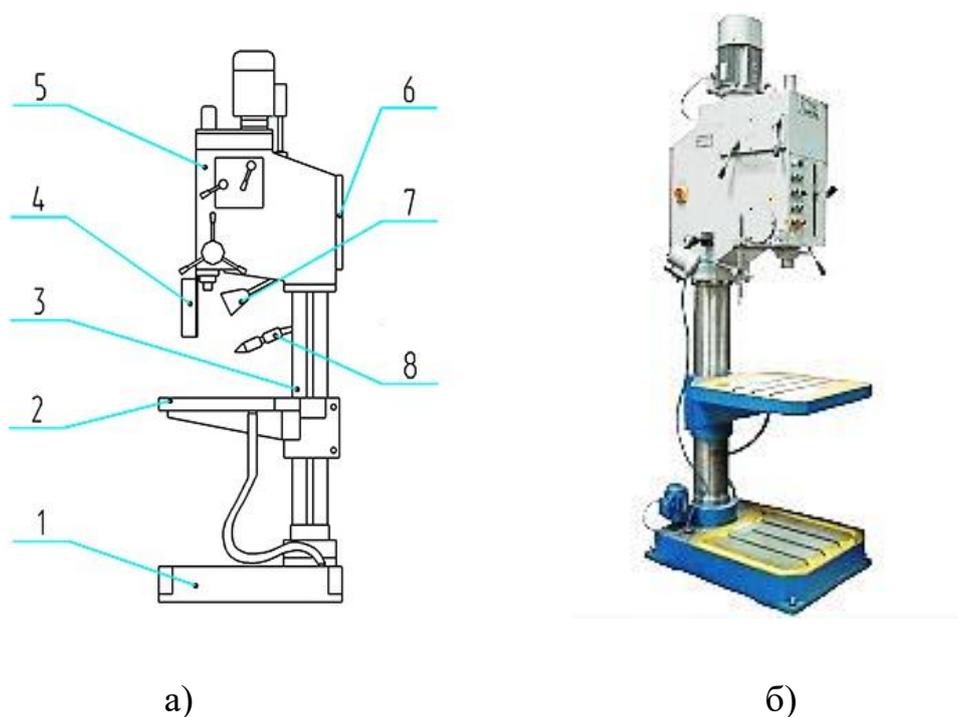
Зенкерування є напівчистим механічним способом оброблення заготовки з використанням відповідного інструменту. Оброблення таким способом виконується у випадках збільшення діаметра отвору, його калібрування, очищення від задирок або зменшення жорсткості.

Подібним до зенкерування способом обробки є розсвердлювання. Відмінність між ними полягає в тому, що розсвердлювання вважається

остаточним, закінченим і виконується після застосування свердла і зенкеру. За допомогою цього способу вертикального оброблення внутрішньої поверхні отвору можна дуже точно видалити припуск у вигляді найтоншої стружки. Розсвердлювання необхідно для отримання отворів для кріплення підшипників, отворів для плунжера, зменшення шорсткості поверхні та підготування до різьблення.

Одним із підвидів вертикального оброблення металу є радіальне свердління [2]. У порівнянні з вертикально-свердлильними верстатами свердло переміщується відносно деталі, що обробляється, а сама деталь, що обробляється, закріплюється на верстаті, і це дає можливість обробляти великогабаритні заготовки.

Вертикально-свердлильний верстат 2Т150, який зображено на рис.1.1, є представником свердлильних верстатів, обробка деталей на якому виконується як з ручною, так і з механічною подачею шпинделя.



1 – основа; 2 – стіл; 3 – колона; 4 – огорожа; 5 – свердлильна головка; 6 – електрообладнання; 7 – світильник; 8 - охолодження

а) будова верстата:

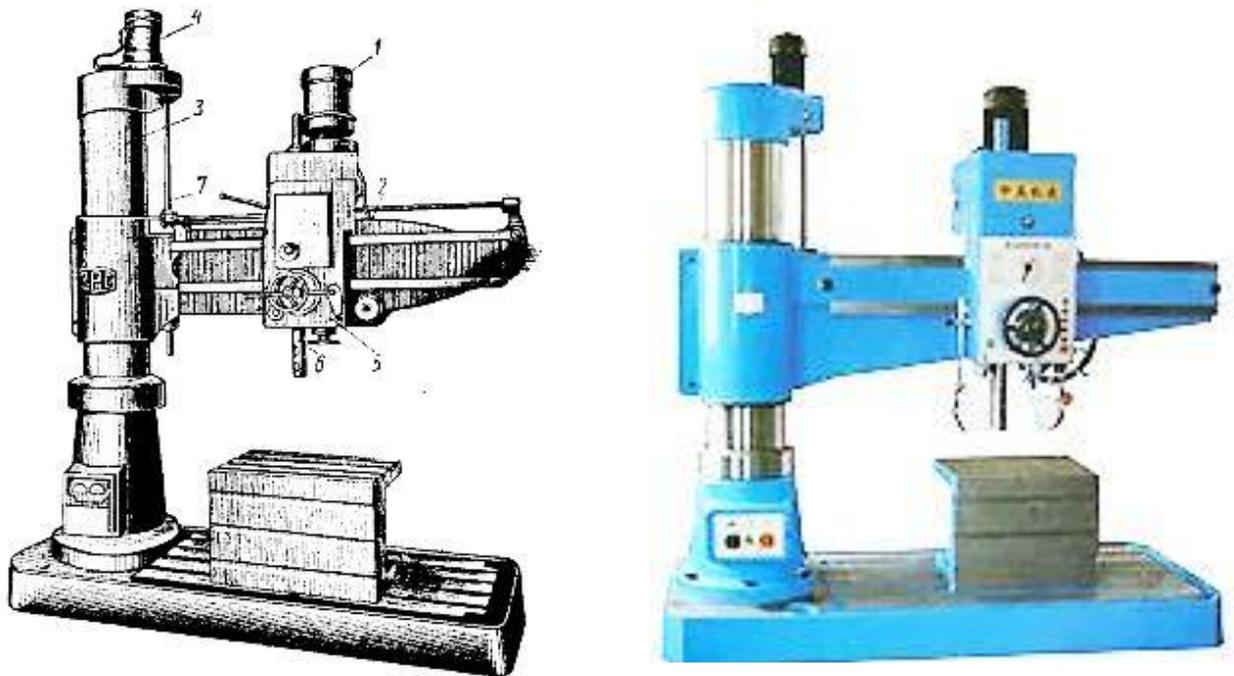
б) зовнішній вигляд

Рисунок 1.1 – Вертикально-свердлильний верстат моделі 2Т140

Основні вузлові частини верстату розташовані на величезній станині, оснащій вертикальними напрямними. По цих напрямних переміщується стіл, на якому розташована свердлильна головка [1].

На чавунну свердлильну головку встановлені електричний двигун, редуктор, механізм подачі і шпиндель. На шпинделі кріпляться патрони різної конструкції та призначення. Для включення і виключення, регулювання швидкості передбачений перемикач. Свердло подається одним із способів: вручну через штурвал або механічно.

Радіально-свердлильний верстат має більш складну будову та значні можливості [1]. Шпиндель цього типу верстатів можна переміщувати в будь-яку точку горизонтальної заготовки. Але крім цього, принцип роботи і будова нічим не відрізняються від усього набору ручних дрилів. Розглянемо радіально-свердлильний верстат 2А554, який зображено на рис. 1.2.



а)

б)

1 – електричний двигун; 2 – траверса; 3 – колона; 4 – електричний двигун;

5 – шпиндельна бабка; 6 – шпиндель

а) будова верстата:

б) зовнішній вигляд

Рисунок 1.2 - Радіально-свердлильний верстат 2А554

Даний верстат призначений для свердління, зенкерування, підрізування торців в обох напрямках, розгортання, розточування отворів і нарізування різьблень.

Послідовність виконання операцій на даному верстаті наступна: спочатку на фундаментній основі закріплюється заготовка і далі за допомогою обертового руху шпинделя або свердлильної головки з декількома шпинделями виконується її обробка. При виконанні одного отвору за іншим здійснюється переміщення шпинделя або свердлильної головки разом з траверсою навколо колони, при цьому траверса рухається вертикально вздовж направляючих колони. Обертання і подача шпинделя виконується від електродвигуна 1. Вертикальне переміщення траверси 2 по колоні 3 виконується від електродвигуна 4. Стосовно будови свердлильної головки можна додати, що в ній розміщені гідравлічні механізми для переключень і коробки швидкості та подачі.

Горизонтально-свердлильним є свердлильний верстат такого типу, в якого шпиндель встановлений паралельно до підлоги [1]. Будова верстата в цілому схожа за конструкцією з вертикально-свердлильним верстатом з відмінністю у просторовому розміщенні. Зовнішній вигляд горизонтально-свердлильного верстату зображено на рис. 1.3.



Рисунок 1.3 - Горизонтально-свердлильний верстат СвГД

Розглянемо системи керування верстатами. Система автоматичного керування верстатом (САКВ) - це комплекс технологій та програмного забезпечення, призначений для автоматизації процесів управління верстатами. Вона дозволяє програмно керувати різними параметрами верстату, такими як швидкість обертання інструментів, подача матеріалу, точність обробки тощо.

Ця система може використовувати різні методи керування, такі як числове керування (CNC), програмне керування (PLC), системи візуалізації процесів та сенсорні системи для забезпечення точності обробки та ефективності роботи верстату.

1.1.1 Принципи керування у верстатах свердлильної групи

Якщо процес обробки об'єкта праці повторюється багато разів (наприклад, процес обробки деталей у масовому виробництві), тобто на верстатах обробляються лише одні й ті ж деталі, то рух робочого механізму машини (закон керування процесом) повторюватиме цикл багато разів, залишаючись постійним [3]. У даному випадку кількість визначених прийомів керування обмежена, і для їх виконання можна використовувати прості автоматичні пристрої. При безперервному виробництві часто змінюються вироби (десь від 2 до 40 різних оброблюваних заготовок на місяць), тому необхідно вміти переналагоджувати роботу верстатів, пресів та ін. У таких випадках потрібна більш складна система додаткового обладнання верстата.

Сукупність керованих об'єктів (машин) та пристроїв автоматичного керування (без участі оператора) (сукупність засобів збору, оброблення, передачі інформації та формування команд керування), дії яких направлені на підвищення працездатності об'єктів керування і є системою автоматичного керування [3].

Система автоматичного керування повинна формувати з великою точністю виконання команд руху робочих органів верстатів, синхронність їх руху у різних циклах, забезпечувати швидкість передачі та виконання самих

команд, здатність виконання значної кількості інструкцій (зміну подачі та швидкості обертання шпинделя, зміну положення револьверної головки). Економічність процесу забезпечується за рахунок простоти конструкції, надійності, можливості швидкого перенастроювання та низької вартості компонентів САК. Автоматична система керування виправдає себе лише в тому випадку, якщо вона забезпечуватиме необхідну точність оброблення, продуктивність і економічність. Собівартість деталей, оброблених таким способом, буде нижчою, ніж без застосування системи. САКВ відрізняються за такими факторами, як ступінь централізації управління, тип носія програмного забезпечення, режим впливу, наявність зворотного зв'язку, принцип синхронізації руху робочого механізму, кількість керованих координат тощо.

Розглянувши типи систем керування, можна сказати що кожен із них має свої переваги і недоліки, а саме [3]:

1) Централізовані системи мають центральний командний пункт (розподільний вал, блок керування), який відповідає за роботу автомата або автоматичної лінії. Система нескладна та надійна в експлуатації. Для вимкнення машини у випадках, якщо команди з центральної командної точки не можуть бути виконані, що призводить до поломки або пошкодження машини, автомат повинен мати додаткові запобіжні пристрої.

2) При децентралізованій системі керування здійснюється за допомогою окремих пристроїв верстата або потокової лінії. Цей тип керування виконується через різне обладнання, що пов'язане з конкретним пристроєм. Як правило, таким обладнанням є шляхові перемикачі і вимикачі, які вмикаються та вимикаються рухомими частинами машини або автоматизованої лінії. Усі приводи підключені до системи перемикачів, і робочий механізм може виконати наступну дію тільки після завершення попередньої дії. В цій системі значна кількість перемикачів знаходяться у робочій зоні верстатів і забруднюються мастильно-охолоджуючою рідиною

та пилом, що викликає пошкодження, тим самим впливаючи на надійність системи керування.

3) Змішана система керування поєднує централізовану і децентралізовану системи керування. Конкретними вузлами технологічного процесу керують децентралізовано, а інші керує центральний командний пункт. У випадку аварії центральний командний пункт зупиняє видачу команд. Наприклад, розподільний вал повинен зупинитися, коли кінцевий вимикач надає повідомлення про те, що попередня дія робочого органу ще не закінчена.

1.1.2 Розподіл систем керування за способами впливу на робочі механізми машини (верстата)

За способом впливу на робочий механізм машини системи керування розділяються на безперервні та дискретні (переривчасті) [3]. У безперервній системі керування команда є безперервною функцією часу і керованим сигналом. У системах періодичного (дискретного) керування задані команди приходять окремими імпульсами через певні часові інтервали.

У деяких випадках системи автоматичного керування не відповідають на зміну характеристик самого процесу, тому не підтримується інформація про вхідний процес. Наприклад, якщо при повороті деталі її діаметр збільшується внаслідок роботи інструменту, то система не відповідає на цю зміну і процес обробки триватиме до втручання наладчика, який повинен відкоригувати положення інструменту або встановити новий.

Розімкненою можна вважати систему, в якій відсутній зв'язок процесу керування з його проходженням. Систему вважають замкненою або адаптованою якщо зв'язок процесу керування з його проходженням наявності.

Якщо є потреба в керуванні процесом, у якому необхідно суворо дотримуватися параметрів, то слід використовувати замкнену систему керування. У такій системі є необхідність в отриманні інформації про хід процесу, тобто існування зворотного зв'язку. Це системи зворотного зв'язку.

Наприклад, під час шліфування деталі, коли робота шліфувального круга призводить до збільшення розміру заготовки на певну величину, вмикається автоматичне регулювання положення шліфувального круга (щоб шпиндель подавався разом з ним) і можна було б скомпенсувати зношення круга. Такі автоматичні регулятори (автоналадчики) дають можливість швидко врахувати і скоригувати відхилення від заданих характеристик процесу, тобто здійснити виконання точних деталей на заміну [3]. Використання автоматичних регулюючих пристроїв позбавляє працівників (наладчиків) виконувати завдання зміни положення інструментів на верстатах, що скорочує час налагодження верстата, завдяки чому наладчики можуть ремонтувати більшу кількість верстатів, тобто підвищується продуктивність праці робітників.

Існує визначена послідовність виконання кожної окремої команди керування. Повідомлення (імпульси, сигнали, команди), що необхідні для виконання керованих рухів, видаються при зміні параметрів, на які необхідно реагувати. Наприклад, коли заготовка подається в патрон, ручку пневматичного приводу необхідно повернути, щоб закріпити заготовку в патроні верстата. У даному прикладі безпосереднє виконання керуючого руху полягає в повороті ручки пневмоприводу для затиску заготовки [3].

Іноді після подачі команди, що вимагає здійснення певної керуючої дії перед виконанням, необхідно здійснити проміжну дію. Наприклад, після появи команди на зупинку шліфувальної машини, коли деталь досягає заданого розміру, команду не потрібно виконувати негайно, а процес виходу її затримати.

Тому в будь-якому розпорядженні керування можна виділити дві або три фази – поява сигналу на виконання роботи (команди), негайне її виконання і проміжні дії, якщо це необхідно.

1.1.3 Базова структура системи керування

Система керування містить два основних блоки (див. рис. 1.4): об'єкт керування і пристрій керування, який іноді ще називають регулятором [4].

На основі однієї або кількох заданих дій $Y(t)$, що визначають послідовність керування, пристрій керування формує на об'єкт задаючу дію $G(t)$ і підтримує на заданому рівні або змінює стан $Y(t)$ за певним законом, значення якого може бути відображено на його виході через відповідний сигнал $y(t)$. Перед пристроєм керування стоїть завдання забезпечити задану якість роботи системи на всіх практично важливих режимах, особливо при впливі на об'єкт зовнішніх збурюючих дій і факторів нестабільності $X(t)$. Пристрої керування створюються розробниками системи на основі знань про властивості керованих об'єктів і обов'язкові завдання системи.

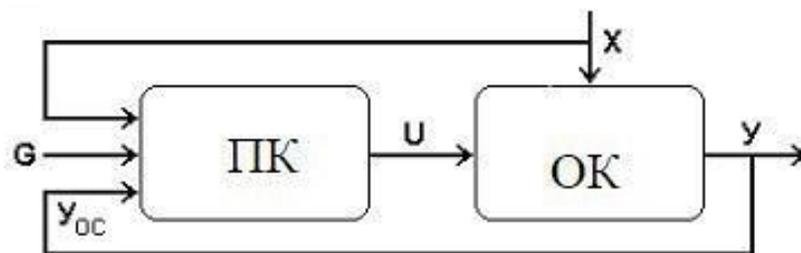


Рисунок 1.4 – Система керування формальним об'єктом автоматизації

Зовнішні зв'язки об'єкту керування зображено на рис. 1.4, де X – канал дії середовища на об'єкт і пристрій керування, Y – канал дії об'єкту на середовище або інформаційний канал стану об'єкту, U – канал дії керування на об'єкт, G – задаюча дія, Y_{0c} – сигнал зворотного зв'язку [4].

Підтримка певної закономірності зміни однієї або кількох фізичних параметрів процесу, що відбувається в об'єкті керування, є одним із головних завдань керування. Ці параметри називають керованими (напрямок руху інструменту, рівень рідини, температура, тиск).

Об'єкт керування завжди містить керуючий орган, під дією якого здійснюється вплив на параметри об'єкту керування (резистори, клапан, заслінка тощо). Фізична величина $U(t)$ на вході органу керування називається вхідною величиною або керуючою дією на об'єкт.

В структуру об'єкта керування обов'язково входить чутливий елемент [4], який перетворює контрольовану величину в пропорціональну їй величину, зручну для використання в системі керування. Значення $Y(t)$ на виході чутливого елемента називається вихідним значенням об'єкта керування. У більшості випадків це електричний сигнал (струм, напруга) або механічний рух. В якості чутливого елемента можна використовувати терморезистори, тахометри, важелі, датчики тиску, датчики положення та інше.

Керуюча дія $U(t)$ здійснюється керуючим пристроєм і діє на орган керування об'єктом для підтримування необхідного значення контрольованої величини. Керуючу дію можуть здійснювати двигуни, електромагніти. В структурі системи керування міститься також задаючий блок. Він формує програму зміни керуючої дії, а саме, дає задаючий сигнал $U(t)$. Задаючий блок виконується як окремий пристрій, що формує сигнал $G(t)$ на вході пристрою керування, і може бути розміщений в середині пристрою керування або взагалі не існувати. Годинниковий маятник може бути як приклад задаючого блоку.

Величина $X(t)$, яка має вплив на об'єкт керування і за необхідності на пристрій керування, називається збуренням [4]. Вона показує вплив змін середовища, навантаження тощо на вихідне значення $Y(t)$.

Взагалі кажучи, усі комунікації в системі керування можуть бути багатоканальними (багатомірними), а сама дія є інформаційним сигналом на матеріальному носії будь-якої фізичної природи (електричної, магнітної, механічної, оптичної тощо).

Основні типи систем за принципами і закономірностями функціонування пристрою керування поділяються на: стійкі системи, програмні, відслідковуючі та саморегульовані, серед яких можна виділити екстремальні системи, оптимальні системи та адаптивні системи.

Системи по забезпеченню стійкості (стабілізації) підтримують незмінним значення керованої величини при будь-яких видах збурень, а саме, $u(t)=const$. Задаючий блок формує зразковий сигнал, з яким порівнюється

вихідне значення. Зазвичай, задаючий блок дозволяє налаштовувати зразковий сигнал, що дає можливість змінювати значення вихідного значення.

Програмна система забезпечує зміни керованого параметра, що відповідають програмі, заданій на вході пристрою керування, або сформованих задаючим блоком. Системи цього типу можуть представляти плейєри, програмні машини тощо. Існують системи з часовими програмами, які забезпечують $y=f(t)$, і системи з просторовими програмами, які забезпечують $y=f(x)$ та застосовуються у тих випадках, де на виході системи важливо отримати потрібну траєкторію в просторі.

Система стеження відрізняється від програмної системи тим, що програма $y=f(t)$ чи $y=f(x)$ наперед невідома. Пристрій, який відслідковує будь-які зміни зовнішніх параметрів, діє як задаючий блок. Ці зміни визначатимуть зміни вихідного значення $y(t)$.

Системи розглянутих трьох типів можуть бути побудовані за будь-яким із трьох принципів керування (розімкнена система, компенсація, зворотній зв'язок). Їх характеристика полягає в тому, що вихідне значення (стан системи) має відповідати заданому значенню, однозначно визначеному в будь-який момент.

Саморегульовані системи характеризуються активним задаючим блоком, що визначає значення регульованої величини, яке є в певному сенсі оптимальним.

В екстремальних системах вихідний параметр завжди повинен дорівнювати екстремальному значенню з усіх можливих значень, яке невизначено заздалегідь і може мінятися. Щоб знайти їх, система виконує невеликі експериментальні рухи та аналізує поведінку вихідного параметру на ці події, після чого генеруються керуючі дії, які наближають вихідне значення до екстремального значення. Процес безперервний і виконується лише за допомогою зворотного зв'язку.

Оптимальна система є більш складною варіацією екстремальної системи. Тут, загалом, відбувається комплексна обробка інформації про характер зміни вихідних значень і збурень, про характер впливу керуючих змін на вихідні значення можливо із залученням теоретичної та евристичної інформації. Наявність обчислювальної техніки є основною відмінністю екстремальних систем. Ці системи можуть застосовувати будь-який з трьох основних принципів керування.

В адаптивній системі можна автоматично регулювати параметри або змінювати структуру системи для адаптації до мінливих зовнішніх умов. Тому розрізняють адаптивні системи, що саморегулюються і самоорганізуються.

1.1.4 Різновиди систем керування за принципом дії

Налічується багато варіантів систем автоматичного керування машинами з різними принципами роботи та методами обробки інформації. Розділити системи автоматичного керування можна на три групи [3]:

1) За видом програмоносія системи автоматичного керування верстатами бувають аналоговими, числовими та цикловими. Як програмне забезпечення у аналоговій системі використовується фізичне моделювання компонентів обробки. Шаблони, копіювальні апарати використовуються як фізичні симулятори (носії програмного забезпечення). Для надання інформації у числовій системі застосовується комбінація числових кодів, що описує нариси деталі та основні технічні функції, які вона виконує. В якості носіїв програми задіяні перфострічки, магнітні стрічки та запам'ятовуючі пристрої. У системі циклу вставні панелі, монтажні майданчики тощо використовуються як носії програмного забезпечення для виділення серії базових циклів і на цій основі для побудови повного циклу обробки деталей значення руху в основному циклі програмуються.

2) За ознакою впливу вхідної інформації всі системи автоматичного керування розподіляться на дві групи:

– Системи автоматичного керування, що входять до першої групи, працюють на основі повних, завчасно розроблених програм керування. Внесення до них змін чи виправлень не допускається. Ця група включає системи керування розподільним валом, копіювання, системи керування циклом і деякі системи числового програмного керування.

– Системи автоматичного керування, що входять до другої групи працюють на основі неповних вхідних даних або даних, які можуть бути змінені в процесі оброблення на основі залучення поточної технічної інформації про контрольований процес з метою удосконалення технологічного оброблення заготовки. Ця група включає системи керування, в яких оптимальне керування: здійснюється шляхом зміни керуючих впливів; досягається зміною значень показників системи машина-прилади-інструмент-заготовка; виконується зміною послідовності виконання керування.

3) За наявності зворотного зв'язку системи автоматичного керування поділяються на розімкнені та замкнені.

У розімкненій системі (див. рис. 1.5) існує лише один канал надходження інформації від програми керування до операції обробки деталі, завдяки якому інформація занесена до програмоносія передається на деталь. Звертаємо увагу на те, що у цій системі немає перевірки реального стану виконуючого органу. Якість виконаної роботи буде залежати від точних передаючих рухів механізмів.

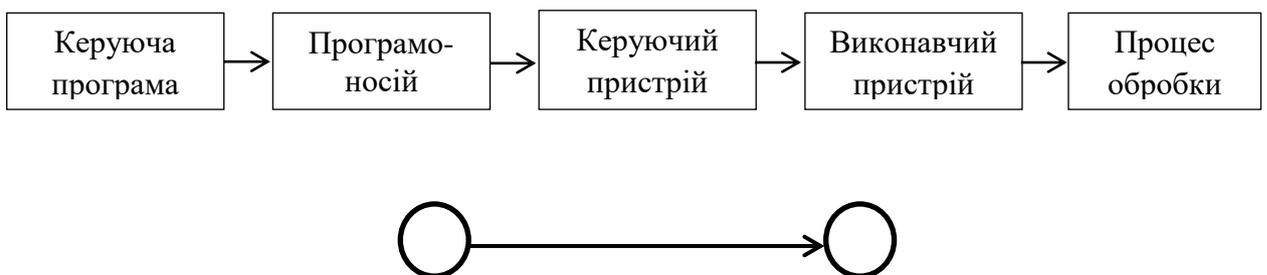


Рисунок 1.5 – Розімкнена система автоматичного керування

Система з розподільчим валом, копіювальна механічна система, системи ЧПК з маховим проводом подачі є розімкненими системами керування.

Замкнені системи застосовують декілька каналів надання інформації, при чому один з них є прямим, а інші є додатковими каналами інформації. Замкнені системи можна розділити на два види:

1) Система керування із зворотним зв'язком за положенням виконавчого органу (див. рис.1.6).

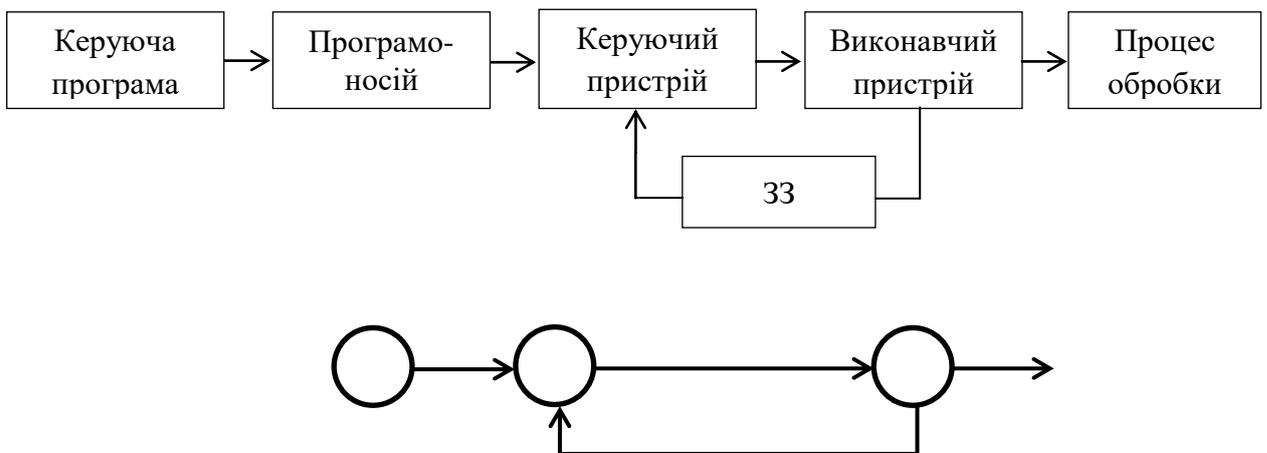


Рисунок 1.6 – Замкнена система керування за положенням виконавчого органу

До цього виду систем входять відстежуюча система копіювання, система ЧПК замкнутого типу.

2) Система керування із зворотним зв'язком за положенням і з наявністю датчиків вимірювання параметрів процесу обробки деталі для внесення змін і коригування прямого каналу інформації (див. рис.1.7).

До цього виду систем входять системи числового програмного керування, які містять додаткові блоки, що вирішують питання оптимізації процесу оброблення деталі.

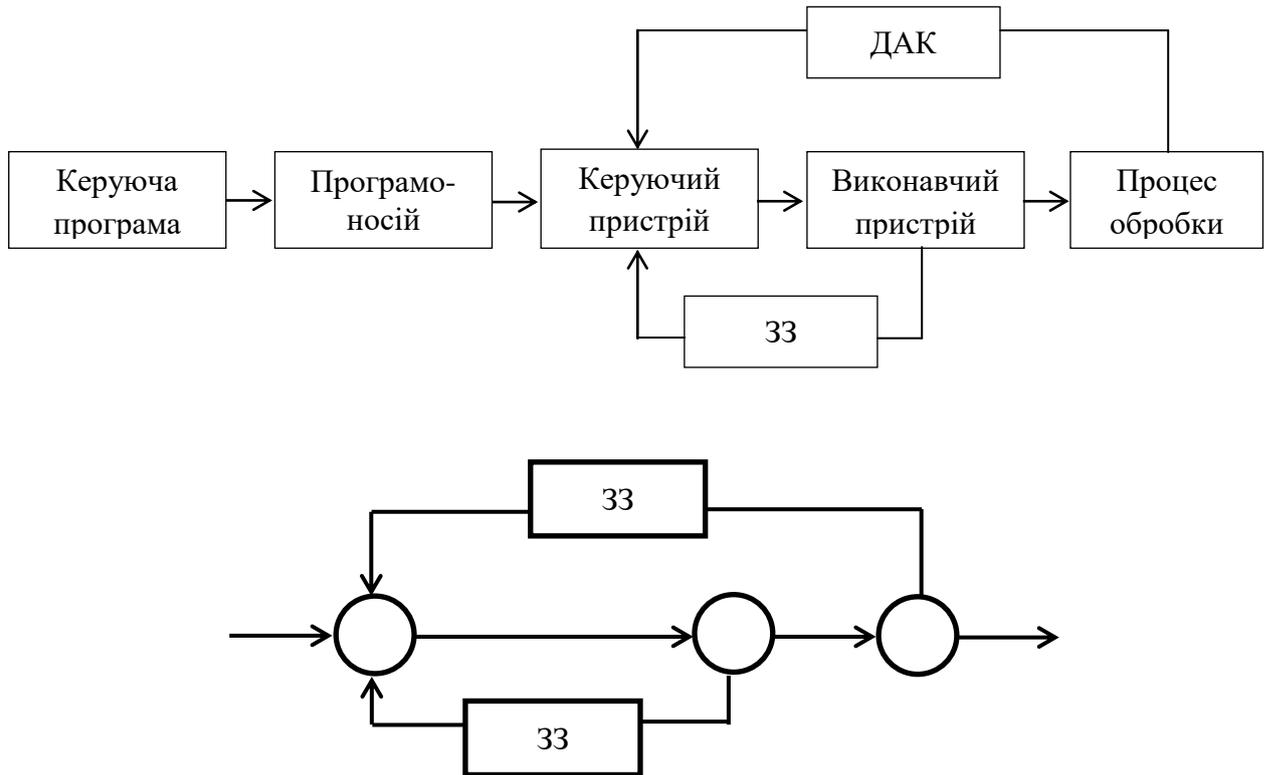
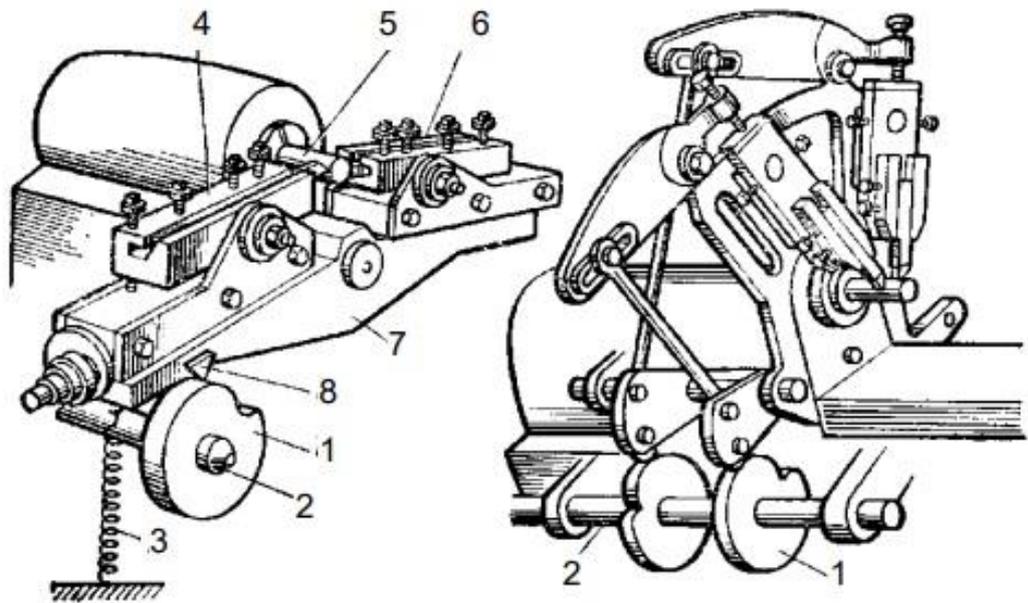


Рисунок 1.7 – Замкнена система автоматичного керування за положенням виконавчого органу і контролем параметрів процесу різання

Кожна із систем автоматичного керування містить пристрої, що пов'язані з конкретними робочими органами верстата [3].

Досить розповсюджена у машинобудуванні система керування з розподільним валом. Вона має багато позитивних моментів, при чому головним є значна централізація давачів-кулаків, що розміщені на розподільному валу, адже цим здійснюється чітка синхронізація надання сигналів керування для приведення в рух робочих органів машини. Робочий орган починає виконувати необхідні рухи після розрахунку профілю кулачка (піднімання, спускання). Також кулачки, з будовою яких можна ознайомитися на рис. 1.8, крім керуючої функції, за допомогою важелів здійснюють переміщення робочих органів верстата



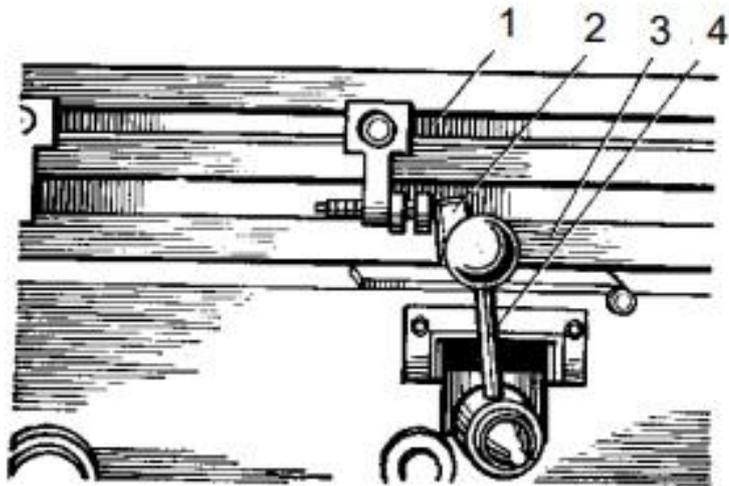
1 – кулачок; 2 – розподільний вал; 3 – пружина; 4 – передній супорт;
5 – оброблювана заготовка; 6 – задній супорт; 7 – балансир-важіль; 8 – ніж

Рисунок 1.8 - Кулачковий механізм:

Дана система характеризується надійністю, надає можливість завчасно провести розрахунки та в конкретний момент часу виконати робочий цикл різного ступеня складності. Але система також має недолік – це відсутність зворотного зв'язку, тобто система розімкнена, що призводить до нагальної потреби значної кількості перевірок готових деталей для своєчасного обслуговування верстату. Робітник-наладчик має можливість оглянути невелике число таких машин (не більш 10) [3]. Потрібно враховувати, що на переналаштування верстату на іншу деталь потрібно багато часу, і тому система з розподільним валом здійснюється при крупносерійному і масовому виробництві. Щоб прискорити переналаштування використовують пристосування, що дозволяють змінити напрям руху робочого органу, не змінюючи кулачки. Також у серійному виробництві можна замінити весь блок кулачків з розподільним валом.

При застосуванні системи керування з упорами необхідно зазначити, що упор, який є програмоносієм, потрібно закріпити у певному положенні на верстаті [3]. Подача команди на зміну напрямлення або швидкості руху відбувається у випадку наближення рухомої частини машини до упору, при цьому здійснюється зупинка верстата. Лише тоді виконавчі механізми виконують зміну руху частин машини.

Регулювання напрямку руху стола до його реверса за допомогою упорів здійснюють на шліфувальному верстаті (див. рис. 1.9). Перевагами системи керування з упорами є дистанційне керування, проста будова конструкції, низька вартість. Необхідно відмітити, що відсутність змоги керувати розміщенням виконавчого органа під час його переміщення створює певні складнощі при синхронізації виконання команд для декількох робочих пристроїв і є значним недоліком даної системи керування. Запропоновану систему керування рекомендують задіяти при незначній кількості робочих органів, наприклад при автоматизації універсальних верстатів. Дану систему використовують на автоматичних лініях.



- 1 – упор; 2 – виступ важеля, який натискає на упор; 3 – головка важеля;
4 – важіль

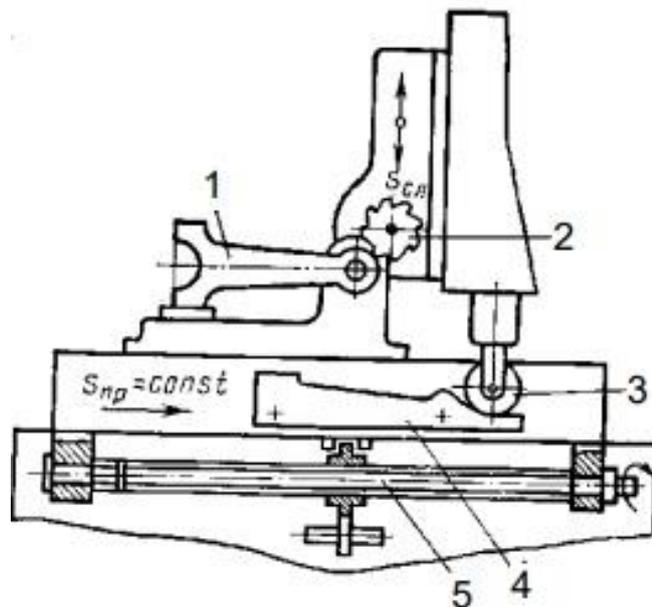
Рисунок 1.9 - Керування за допомогою упорів:

У системі керування з копірами програмоносієм є копір (з пластмаси, сталевий), що розміщується на верстаті. Напрямок руху робочого органа машини виконується згідно профіля копіра [3].

Копіювальні системи керування діляться на дві групи:

Перша група. Копір міцно закріплений на робочому органі машини і переміщує вузол з інструментом та механізм подачі за однією або двома координатами. В даному випадку рух за другою та третьою координатами здійснюється механізмом подачі машини. Зі схемою силової системи копіювального керування можна ознайомитися на рис. 1.10.

Друга група. Копір здійснює лише передачі інформації та несе незначне навантаження. Вплив на напрям руху виконують відповідний перетворювач і силовий привід машини.



1 – деталь, яка обробляється; 2 – фреза; 3 – ролик щупа, який зв'язаний з шпіндельною бабкою фрезерного верстата; 4 – копір; 5 – привід подачі
стола

Рисунок 1.10 - Схема силової системи копіювального керування:

Для системи керування першої групи реакція копіра на вплив подачі інформації повільна і це призводить до зниження точності оброблення

подальших заготовок. Система має сталевий, термооброблений копір, який характеризується високою зносостійкістю і міцністю [3]. Для системи керування другої групи копір не потребує значної міцності та зносостійкості, має простішу будову, нижчу вартість та високу точність оброблення деталей. Використовують також комбіновані системи керування. До них відносяться пневмогідравлічні, гідравлічні, електричні, електромеханічні, комбіновані електрогідравлічні копіювальні системи. У комбінованих системах керування (див. рис. 1.11) щуп 5, що поміщений у командний задаючий механізм копіювальної головки 4, переміщається по копіру 6. При цьому стіл верстата виконує рух із незмінною заданою подачею $S_{зад}$. Щуп 5 в залежності від кута профілю копіра α отримує подачу $S_{сл}$, яка передається на інструмент 1 виконавчим органом – силовим двигуном 2. Через зворотний зв'язок 3 вертикальний рух виконавчого органа 2 миттєво передається копіювальній головці 4.

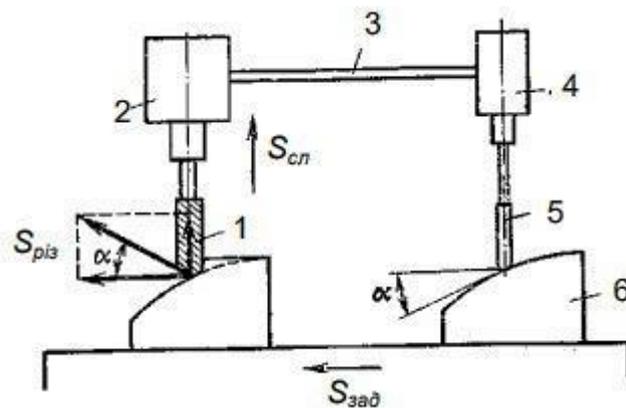


Рисунок 1.11 - Схема відстежуючої копіювальної системи

Універсальний верстат може мати систему керування з вбудованими копірами. При використанні даної системи здійснюється швидке переналаштування машини на оброблення других заготовок, але недоліком є значна вартість виробництва копирів та здатність автоматизувати лише робочі ходи.

1.2. Коротка технічна характеристика і опис основних вузлів верстата

Верстат 2М57-2 є універсальним металообробним верстатом, який широко використовується у виробничих підприємствах для різних операцій з обробки металевих виробів. Основні технічні характеристики верстата 2М57-2 включають [5]:

Тип верстата: універсальний верстат.

Максимальний діаметр обробки: залежно від конкретної модифікації, зазвичай до 570 мм.

Максимальна довжина обробки: також залежно від модифікації, зазвичай до 2000 мм.

Центральна висота верстата: приблизно 285 мм.

Потужність головного приводу: залежить від конкретної модифікації, зазвичай в діапазоні 7.5 – 11 кВт.

Швидкість головного шпинделя: має декілька режимів швидкості, зазвичай від 20 до 1600 об/хв.

Тип шпинделя: посадковий шпиндель DIN 55027.

Конус шпинделя: Морзе 5.

Вага верстата: залежить від модифікації, зазвичай в діапазоні від 2500 до 4000 кг.

Верстат 2М57 має наступні основні вузли [5]:

– Сталева основа, на якій розташовані всі інші вузли верстата. Ложемент забезпечує стабільну підтримку і жорсткість всієї конструкції.

– Головна шпиндель: Це головний обертовий вал верстата, який виконує обробку деталей. Шпиндель забезпечує обертання різця або інструменту, необхідного для обробки металу. Швидкість обертання шпинделя може бути регульована залежно від вимог обробки.

– Станина: Це жорсткий металевий каркас, який утримує ложемент та інші вузли верстата. Станина забезпечує стабільну підтримку та амортизацію вібрацій під час роботи верстата.

– Каретка: Це рухома конструкція, яка переміщується вздовж станини і містить інструмент для обробки деталей. Каретка може мати різні режими руху, такі як подача і повернення.

– Вузол, який дозволяє регулювати кут нахилу інструменту для виконання різних операцій, таких як нарізання різьби або фрезерування.

– Механізм з різними шестернями, що дозволяє регулювати швидкість обертання шпинделя та подачу інструменту. Вона містить такі елементи, як муфта, шестерні, вал і різні регулятори.

– Електричний двигун, який забезпечує привід головної шпинделі та інших рухомих вузлів верстата.

Окрім наведених вище технічних характеристик верстат забезпечує наступне.

Матеріали обробки: Верстат 2М57-2 призначений для роботи з різними типами матеріалів, такими як метал, дерево, пластик тощо. Це дає широкі можливості в обробці різних виробів і деталей.

Навантаження і потужність: Верстат 2М57-2 має визначену навантажувальну здатність і потужність, які впливають на його робочі можливості. Ця інформація допомагає користувачам визначити, наскільки великі та складні вироби можна обробляти на цьому верстаті.

Керування: Верстат 2М57-2 може мати різні системи керування, включаючи механічне, електричне або програмне керування. Це впливає на зручність у використанні та можливості налаштування робочих параметрів.

Наявність додаткових аксесуарів: В деяких моделях верстата 2М57-2 можуть бути доступні додаткові аксесуари, які розширюють його функціональні можливості. Це можуть бути важелі, фіксатори, насадки тощо, що полегшують обробку деталей та забезпечують більш гнучкість у роботі.

Ці додаткові відомості допоможуть користувачам краще оцінити можливості та придатність верстата 2М57-2 до їх конкретних вимог та завдань. Основні технічні характеристики радіально-свердлильного верстата моделі 2М57-2 наведено в табл. 1.1.

Таблиця 1.1 – Основні технічні характеристики радіально-свердлильного верстата моделі 2М57-2

Параметри складових верстата	Дані
Клас точності, ГОСТ 8-82	Н
Найбільший умовний діаметр свердління (сталь45, ГОСТ 105074)	25
Найбільший діаметр нарізати різьблення (сталь 45)	M16
Виліт шпинделя (відстань від осі шпинделя до утворюючої колони, виміряний в площині, паралельній напрямних рукава і що проходить через вісь колони), мм:	
найменший	300
найбільший	800
Найбільший крутний момент на шпинделі, Н-м	90
Найбільше зусилля подачі, Н	5000
Потужність головного приводу, кВт	1,5
Потужність приводу насоса охолоджуючої рідини моделі ПА-25М УХЛ4, кВт	0,18
Потужність приводу електромеханічної голівки затиску колони моделі ЕМЗ 7921-0003, кВт	0,25
Габаритні розміри верстата, мм:	
Довжина	1760
Ширина	915
Висота	1970
Маса верстата, кг	1250
Термін служби верстата до першого капітального ремонту, років	13
Напрацювання на відмову в відпрацьованих тис. год.	1,0

1.3 Вимоги до електроприводу і автоматики

Вимоги до електроприводу і автоматики верстата 2М57 можуть залежати від конкретної моделі та виробника. Однак, основні вимоги включають наступне [6].

Верстат 2М57-2, зазвичай, працює від електричної мережі з напругою 380 В трифазного струму. Важливо дотримуватися правильного напруги та фазного збалансування для ефективної роботи верстата.

Верстат оснащений електродвигуном для приводу головного шпинделя та інших рухомих вузлів. Вимоги до електродвигуна включають потужність, частоту обертання та крутний момент. Зазвичай, використовуються асинхронні трифазні електродвигуни з відповідними характеристиками для виконання різних операцій.

Верстат 2М57-2 може бути оснащений автоматичною системою керування, яка дозволяє програмувати послідовність операцій і контролювати рухи верстата. Це може включати систему числового програмування (CNC) або інші типи автоматизованих систем керування.

Верстат може мати панель керування з кнопками, перемикачами та індикаторами для запуску, зупинки, регулювання швидкості, керування подачею та інших функцій верстата.

Важливо, щоб електропривод та автоматика верстата забезпечували відповідні заходи безпеки, такі як захист від перевантаження, аварійний зупин системи, захист від короткого замикання та інші заходи для запобігання нещасним випадкам та пошкодженню обладнання.

Додаткові вимоги до автоматики та рекомендації для верстата 2М57-2 можуть включати наступне:

Наявність системи автоматичного керування: Верстат 2М57-2 може бути оснащений системою автоматичного керування, яка дозволяє програмувати послідовність операцій і контролювати рухи верстата. Це значно полегшує роботу та забезпечує більшу точність та повторюваність операцій.

Інтерфейс користувача: Панель керування верстата 2М57-2 повинна бути зрозумілою та зручною для користувача. Кнопки, перемикачі та індикатори повинні бути розташовані зручно і мати зрозумілі піктограми або написи.

Можливість програмування: Рекомендується мати можливість програмувати послідовність операцій і параметри руху верстата 2М57-2. Це дозволяє налаштувати його для виконання різних завдань та оптимізувати процес виробництва.

Збереження налаштувань: Важливо мати можливість зберігати та відновлювати налаштування верстата 2М57-2. Це дозволяє зручно переключатися між різними типами робіт і зберігати налаштування для конкретних завдань.

Захист від помилкових операцій: Рекомендується мати механізми захисту від помилкових операцій, таких як блокування певних функцій або попереджувальні сигнали при некоректних налаштуваннях.

Запобігання перевантаженню: Автоматика верстата 2М57-2 повинна мати систему захисту від перевантаження. Це може включати моніторинг потужності, температури або навантаження та автоматичне вимкнення у разі перевищення допустимих норм.

1.4 Вибір роду струму і величини напруги мережі живлення

Вибір роду струму і величини напруги мережі живлення верстата 2M57-2 зазвичай залежить від встановлених стандартів електропостачання в країні або регіоні, де він буде експлуатуватися.

Зазвичай, верстати 2M57-2 працюють від трифазного струму, або змінного струму [7]. Більшість верстатів 2M57-2 призначені для роботи з напругою 380 В. Це стандартна напруга для багатьох країн, включаючи Європейський союз і деякі інші країни. Проте, в інших регіонах, таких як Північна Америка, можуть використовуватися інші стандарти напруги, такі як 440 В або 480 В.

Більшість країн мають стандартну частоту 50 Гц або 60 Гц для електропостачання. Верстат 2M57-2 може бути спроектований для праці з обома частотами, і виробник може пристосувати верстат до відповідного стандарту залежно від регіону, в якому він буде експлуатуватися.

Рекомендації стосовно вибору роду струму і величини напруги мережі живлення верстата 2M57-2 залежно від використання сонячних панелей і інверторів можуть включати наступне:

Використання сонячних панелей. Якщо ви плануєте живлення верстата 2M57-2 від сонячних панелей, важливо враховувати їх характеристики та вимоги до системи. Оскільки сонячні панелі генерують постійний струм (DC), ви можете розглянути використання проміжного змінного (AC) інвертора для перетворення постійного струму на змінний струм, необхідний для верстата.

Вибір інвертора. При виборі інвертора для верстата 2M57-2 з сонячними панелями, переконайтеся, що його характеристики відповідають потужності верстата і його електричним вимогам. Важливо врахувати, що інвертор повинен мати можливість перетворювати постійний струм з сонячних панелей на змінний струм потрібної напруги та частоти, які відповідають верстату.

Підключення до мережі живлення: Якщо верстат 2M57-2 планується використовувати в комбінації зі сонячними панелями та мережевим живленням, рекомендується використовувати систему "гібридного" живлення. Така система дозволяє перемикатися між сонячною енергією та мережевим живленням залежно від наявності сонячного світла та потреб верстата. Зазвичай для таких систем використовуються спеціальні контролери або інвертори, які забезпечують плавний перехід між джерелами енергії.

При виборі роду струму і величини напруги мережі живлення для верстата 2M57-2 з сонячними панелями і інверторами слід враховувати наступні фактори:

Номінальна потужність верстата. Перед вибором роду струму і напруги необхідно визначити номінальну потужність верстата 2M57-2. Це допоможе визначити відповідну потужність сонячних панелей і інвертора для забезпечення ефективного живлення.

Стандарти напруги та частоти: дослідіть стандарти напруги та частоти в країні або регіоні, де буде використовуватися верстат 2M57-2 з сонячними панелями. Переконайтеся, що обрані сонячні панелі та інвертори підтримують відповідні стандарти.

Мережеве живлення. Якщо верстат планується підключити до мережевого живлення, слід врахувати характеристики мережі, такі як напруга та частота, щоб підібрати відповідний род струму та величину напруги для верстата і забезпечити його сумісність з мережевою інфраструктурою.

Розташування і зонування: Врахуйте розташування верстата 2M57-2 з сонячними панелями і інверторами. В деяких країнах або регіонах можуть існувати обмеження щодо використання сонячної енергії, а також правила щодо зонування та сертифікації сонячних систем. Дотримання цих правил є важливим для безпечної та законної експлуатації системи.

1.5 Вибір системи електроприводу, методів регулювання швидкості та гальмування

При виборі системи електроприводу для свердлильного верстата необхідно враховувати кілька факторів, щоб забезпечити ефективну та надійну роботу. Ось кілька ключових аспектів, які варто враховувати:

- Тип робіт та вимоги: розгляньте, який тип свердління ви будете виконувати на верстаті і які вимоги до швидкості, крутного моменту та точності у вас є. Наприклад, якщо вам потрібні високі швидкості свердління, може бути доцільно обрати систему зі змінною швидкістю або інверторний привід.

- Можливості верстата: переконайтеся, що обрана система електроприводу сумісна зі свердлильним верстатом. Перевірте його вхідні параметри, такі як напруга живлення, потужність, фазні характеристики тощо, і забезпечте, щоб вибрана система відповідала цим вимогам.

- Тип приводу: існують різні типи електроприводів, такі як постійний струм (DC), змінний струм (AC) або гібридні системи. Кожен з цих типів має свої переваги та обмеження. Наприклад, приводи DC можуть забезпечувати високий крутний момент при низьких швидкостях, тоді як приводи AC зазвичай є більш доступними та простими у використанні.

- Контроль та автоматизація: розгляньте можливості контролю та автоматизації системи електроприводу. Наприклад, чи потрібне вам можливість програмування режимів роботи, регулювання швидкості або інтеграція з іншими автоматичними системами.

Висновок за розділом 1

Проведено порівняльний аналіз систем керування верстатів свердлильної групи та визначено особливості верстатів-аналогів, котрі дозволять модернізувати досліджуваний верстат. З'ясовано особливості вибору системи електроприводу, методів регулювання швидкістю й гальмування.

2 РОЗРАХУНКОВО-ТЕХНІЧНА ЧАСТИНА

2.1 Розрахунок потужності електродвигунів та їх вибір

2.1.1 Розрахунок потужності двигуна головного руху та вибір його за каталогом

Дано: верстат моделі 2М57-2.

Вихідні дані до проекту: перевірити можливість обробки наступного технологічного процесу: свердління наскрізного отвору діаметром $D = 5$ мм на глибину $l = 20$ мм.

Оброблювальний матеріал – сталь 40Х із межею міцності $\sigma_s = 700$ МПа ($=70$ кгс/мм²); заготовка – прокат гарячекатаний.

Вид обробки – обробка чорнова.

Вид охолодження – охолодження емульсією.

Ріжучий інструмент, який використовується – свердло діаметром $D = 5$ мм із робочою частиною з швидкоріжучої сталі Р18 для обробки конструкційної сталі із $\sigma_s = 85-90$ кгс/мм² [9].

Геометричні елементи ріжучого інструменту: форма заточки – подвійна із під точкою поперечної кромки і стрічки ДПЛ; кути свердла $2\varphi = 118^\circ; 2\varphi_0 = 70^\circ; \psi = 40...60^\circ$; при стандартному заточуванні $\psi = 55^\circ; \alpha = 11^\circ$. У стандартних свердл діаметром $D > 10$ мм для обробки конструкційної сталі $\omega = 30^\circ$ [5].

Використовуючи вихідні дані, призначимо режим різання.

1) Для свердління сталі с $\sigma_B \leq 80$ кгс/мм² та діаметрі свердла 5 мм, подача $S_0 = 0,45 - 0,55$ мм/об. Поправочні коефіцієнти на подачу для заданих умов обробки рівні одиниці, так як здійснюється свердління отвору з полем допуску по Н12 в жорсткій заготовці при глибині свердління $l < 5D (D < 5 \cdot D, 20 < 25)$. Приймаємо середнє значення діапазон $S_0 = 0,5$ мм/об, [5].

Коректуємо подачу за паспортними даними верстата: $S_0 = 0,125$ мм/об. Провіряємо прийняту подачу по осьовій складовою силою різання, P_0 , Н, за формулою (2.1) з [9]:

$$P_0 = C_p \cdot D^{q_p} \cdot S_0^{y_p} \cdot K_p, \quad (2.1)$$

де C_p – коефіцієнт у формулі осьової сили при свердлінні для свердлення конструкційної сталі з $\sigma_s = 700$ МПа ($=70$ кгс/мм²) інструментом з швидкоріжучої сталі (для свердл з підточеною перемичкою), $C_p = 68$;

q_p, y_p – показники степені у формулі осьової сили при свердлінні, для свердління конструкційної сталі з $\sigma_s = 700$ МПа ($=70$ кгс/мм²) інструментом з швидкоріжучої сталі (для свердл з підточеною перемичкою), $q_p = 1$; $y_p = 0,7$;

D – діаметр свердла, мм;

s – подача, мм/об.;

K_p – поправочний коефіцієнт на силу різання.

Вираховуємо поправочний коефіцієнт на осьову складової сили різання $K_p = K_{mp}$, для обробки конструкційної сталі за формулою (2.2) з [9]:

$$K_{mp} = \left(\frac{\sigma_B}{75}\right)^{n_p}, \quad (2.2)$$

де σ_s – межа міцності оброблювального матеріалу, МПа;

n_p – показник степені при матеріалі ріжучого інструменту, для конструкційної сталі з $\sigma_s = 700$ МПа ($=70$ кгс/мм²), $n_p = 0,75$.

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

$$P_0 = 68 \cdot 5 \cdot 0,125^{0,7} \cdot 0,95 = 75,3 \text{ Н.}$$

Здійснюємо перевірку виконання умови за формулою (2.3) з [9]:

$$P_0 \leq P_{\max} \quad (2.3)$$

де P_0 – значення осьової складової сили різання, допустимої механізмом подачі;

P_{\max} – максимальне значення осьової складової сили різання, допустимої механізмом подачі верстата 2М57, $P_{\max} = 32000$ Н.

Так як $75,3 < 32000$, то назначена подача $S_0 = 1.6$ мм/об допустима.

2) Назначаємо період стійкості свердла, T , хв. з [9]. Для свердла діаметром $D = 5$ мм при обробці конструкційної сталі свердлом з швидкоріжучої сталі рекомендується період стійкості $T = 50$ хв. Допустимий знос свердла $n_3 = 0,8 \dots 1,0$ мм (для обробки сталі свердлами з швидкоріжучої сталі, $D > 20$ мм).

3) Швидкість v_n , м/хв., головного руху різання, що допускається ріжучими властивостями свердла визначаємо за формулою (2.4) з [9]:

$$v_n = \frac{C_v D^q v}{T^{m_v} t^{x_v} S_0^{y_v}} K_v, \quad (2.4)$$

де C_v – коефіцієнт у формулі швидкості різання, яка допускається ріжучими властивостями свердла, для свердління конструкційної сталі з $\sigma_s = 700$ МПа ($=70$ кгс/мм²) свердлом діаметром $D = 5$ мм із робочою частиною з швидкоріжучої сталі Р18 для обробки конструкційної сталі із $\sigma_s = 85-90$ кгс/мм², при $s > 0,2$ мм/об: $C_v = 9,8$;

q_v , m_v , y_v , x_v – показники степені у формулі швидкості різання, яка допускається ріжучими властивостями свердла, для свердління конструкційної сталі з $\sigma_s = 700$ МПа ($=70$ кгс/мм²) свердлом діаметром $D = 5$ мм із робочою частиною з швидкоріжучої сталі Р18 для обробки конструкційної

сталі з $\sigma_s = 85-90$ кгс/мм², при $s > 0,2$ мм/об: $C_v = 9,8$; $q_v = 0,4$; $m_v = 0,2$; $y_v = 0,5$; $x_v = 0$;

T – період стійкості свердла, хв.;

t – глибина, мм;

s – подача, мм/зуб;

d – діаметр інструменту, мм;

K_v – поправочний коефіцієнт на швидкість головного руху різання.

Враховуємо поправочні коефіцієнти та швидкість головного руху різання K_{m_v} , за формулою (2.5) із [9]:

$$K_{m_v} = C_m \left(\frac{75}{\sigma_B} \right)^{n_v} \quad (2.5)$$

де σ_s – межа міцності оброблювального матеріалу, МПа;

n_v – показник степені при матеріалі ріжучого інструменту, для конструкційної сталі з $\sigma_s = 700$ МПа ($=70$ кгс/мм²), $n_v = 0,9$.

$$K_{m_v} = 1 \left(\frac{75}{70} \right)^{0,9} = 1,07^{0,9} = 1,065$$

Так як значення коефіцієнта та показників степені формули для свердла з швидкоріжучої сталі Р18, яка практично рівноцінна швидкоріжучій сталі Р6М5; поправочний коефіцієнт, враховуючий глибину свердління K_{l_v} , приймається в залежності від відношення, за формулою (2.6) з [9]:

$$K_l = \frac{l}{D}, \quad (2.6)$$

де D – діаметр ріжучого інструменту;

l – довжина поверхні деталі, яку потрібно обробити.

Так як, $K_{l_v} = \frac{20}{5} = 4$, то $K_{l_v} = 1$.

Вираховуємо загальний поправочний коефіцієнт на швидкість різання, K_v , який враховує відмінності від табличних умов різання за формулою (2.7) з [9]:

$$K_v = K_{m_v} K_{n_v} K_{l_v}, \quad (2.7)$$

де K_{m_v} – коефіцієнт на якість оброблювального матеріалу, [5];

K_{n_v} – коефіцієнт на інструментальний матеріал, [5];

K_{l_v} – коефіцієнт, враховує глибину свердління, [5].

$$K_v = 1,065 \cdot 1 \cdot 1 = 1,065.$$

$$v_n = \frac{9,8 \cdot 5^{0,4}}{50^{0,2} \cdot 0,125^{0,5}} \cdot 1,065 = 25,6 \text{ м/хв.}$$

4) Вираховуємо частоту обертання шпинделя, n , хв^{-1} , що відповідає знайденій швидкості головного руху різання за формулою (2.8) з [9]:

$$n = \frac{1000 v_n}{\pi D} \text{ хв}^{-1}, \quad (2.8)$$

де v_n – швидкість головного руху різання, що допускається ріжучими властивостями свердла, м/хв.;

D – діаметр ріжучого інструменту, мм..

$$n = \frac{1000 \cdot 25,6}{3,14 \cdot 5} = 1629,7 \text{ хв}^{-1}.$$

Коректуємо частоту обертання шпинделя за паспортними даними верстата та встановлюємо дійсну частоту обертання: $n_{Д 800 \text{ хв}^{-1}}$.

5) Виразуємо дійсну швидкість головного руху різання, v_d , м/хв за формулою (2.9) з [9]:

$$v_d = \frac{\pi D n_d}{1000}, \quad (2.9)$$

де n_d – дійсна частота обертання шпинделя верстата, об/хв;

D – діаметр ріжучого інструменту, мм.

$$v_d = \frac{3,14 \cdot 5 \cdot 800}{1000} = 12,56 \frac{\text{м}}{\text{хв}}.$$

6) Виразуємо момент від сил опору різання при свердлінні, M , Н·м за формулою (2.10) з [9]:

$$M = C_m D^{q_m} S_0^{y_m} K_p, \quad (2.10)$$

де C_m – коефіцієнт степені формули для свердління конструкційної сталі з $\sigma_B = 75$ кгс/мм²; $C_m = 0,0345$;

q_m, y_m – показники степені формули для свердління конструкційної сталі з $\sigma_B = 75$ кгс/мм²; $q_m = 2$; $y_m = 0,8$.

Враховуємо поправочний коефіцієнт K_p з [9]. Цей коефіцієнт вже визначений при підрахунку осьової складової сили різання: $K_p = K_{m_p} = 0,95$.

$$M = 0,0345 \cdot 5^2 \cdot 0,125^{0,8} \cdot 0,95 = 1,55 \text{ кгс} \cdot \text{м}$$

7) Враховуємо потужність, використовувану для різання $N_{\text{різ}}$, кВт за формулою (2.11) з [9]:

$$N_{\text{різ}} = \frac{M \cdot n_d}{975}, \quad (2.11)$$

$$N_{\text{різ}} = \frac{1,55 \cdot 800}{975} = 1,27 \text{ кВт}$$

8) Перевіряємо, чи достатня потужність верстата. Обробка можлива, якщо виконується умова (2.12) з [9]:

$$N_{\text{різ}} \leq N_{\text{шп}} \quad (2.12)$$

У верстата моделі 2М57-2

$$N_{\text{д}} = 1,5 \text{ кВт, а } n = 0,78; N_{\text{д}} = 1,5 \cdot 0,78 = 1,2 \text{ кВт.}$$

Технічні характеристики електродвигуна головного приводу наведені в таблиця 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні характеристики електродвигуна головного приводу

Тип двигуна	P, кВт	n, хв ⁻¹	I _{ст.} , А	ККД, %	cosφ	$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$
AIP80A2	1,5	3000	3,5	78,5	0,84	7	2,2	2,3

2.1.2 Розрахунок потужності двигуна насоса охолоджувальної рідини та вибір його за каталогом

Використовуючи паспортні дані насоса охолоджуючої рідини моделі ПА-25М УХЛ4 розраховуємо потужність для приводу насоса.

Потужність, яка необхідна для приводу насоса N , кВт визначається за формулою (2.13) [9]:

$$N = \frac{\rho \cdot g \cdot Q \cdot h}{1000 \cdot \eta \cdot \eta_{\text{п}}}, \quad (2.13)$$

де ρ – густина рідини (змащувальна охолоджуюча рідина), що перекачується, задана технічними умовами, кг/м³;

g – прискорення вільного падіння, м/с²;

Q – продуктивність насосу, м³/с

h – напір насосу, Н/м²;

η – коефіцієнт корисної дії насосу;

$\eta_{\text{п}}$ – коефіцієнт корисної дії передачі.

$$N = \frac{8829 \cdot 9,81 \cdot 0,0004 \cdot 0,4}{1000 \cdot 0,6 \cdot 0,9} = 0,025 \text{ кВт.}$$

Номінальна потужність приводу завжди більша розрахункової потужності насосу. Нормальна робота насосу можлива, якщо виконується умова (2.14) [9]:

$$N_{\text{н}} \leq N_{\text{пр}} \quad (2.14)$$

У насоса моделі ПА-25М УХЛ4, $N_{\text{д}} = 0,18$ кВт, технічні характеристики електродвигуна насосу охолоджувальної рідини наведені в табл. 2.2.

Таблиця 2.2 – Технічні характеристики електродвигуна насосу охолоджувальної рідини

Тип двигуна	P, кВт	n, хв ⁻¹	I _{ст.} , А	ККД, %	cosφ	$\frac{I_{\text{п}}}{I_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{п}}}{M_{\text{н}}}$	$\frac{M_{\text{max}}}{M_{\text{ном}}}$
AIP56A2	0,18	3000	0,55	65,7	0,77	5,3	2,2	2,2

2.1.3 Розрахунок потужності двигуна затиску колони та вибір його за каталогом

Використовуючи паспортні дані електромеханічної голівки затиску колони моделі EM3 7921-0003 розраховуємо потужність для приводу затиску. Значення змінних у формулі (2.15) обрано з відповідного паспорту обладнання.

Потужність, яка необхідна для приводу затиску колони N , кВт, визначається за формулою (2.15) [11, с. 314]:

$$N = \frac{F_{т.мах} \cdot v_{б.пер}}{60 \cdot \eta_{п}}, \quad (2.15)$$

де $F_{т.мах}$ – максимальне тягове зусилля, Н;
 $v_{б.пер}$ – швидкість переміщення, мм/хв;
 $\eta_{п}$ – коефіцієнт корисної дії.

$$N = \frac{1250 \cdot 0,002}{60 \cdot 0,24} = 0,17 \text{ кВт.}$$

Номінальна потужність приводу завжди більша розрахункової потужності електромеханічної голівки затиску.

Нормальна робота затиску колони можлива, якщо виконується відома умова (2.14). У електромеханічної голівки затиску колони моделі ЕМЗ 7921-0003, $N_{д} = 0,18$ кВт. Технічні характеристики електродвигуна електромеханічної голівки затиску колони наведені в табл. 2.3.

Таблиця 2.3 – Технічні характеристики електродвигуна електромеханічної голівки затиску колони

Тип двигуна	P, кВт	n, хв ⁻¹	I _{ст.} , А	ККД, %	cosφ	$\frac{I_{п}}{I_{н}}$	$\frac{M_{п}}{M_{н}}$	$\frac{M_{max}}{M_{ном}}$
AIP56B2	0,25	3000	0,73	68	0,78	5,3	2,2	2,2

Розшифрування маркування двигуна AIP56B2:

AIP 56 B 2 УЗ AIP – загальнопромислова серія електродвигунів (аналоги: AIPM, 5A, 5AM, 4AMУ, 4AM та інші);

56 – габарит двигуна (загальноприйнята відстань від осі обертання до площини кріплення: 56 мм);

B – виконання довжини сердечника;

2 – кількість полюсів, відповідає частоті обертання ротора близько 3000 об/хв;

УЗ – кліматичне виконання «помірний клімат».

Параметри та умови експлуатації

Всі технічні параметри трифазного електродвигуна АІР 56 В2 є типовими і має потужність 0,25 кВт при фактичній частоті обертання вала 2720 об/хв. Двигун розроблений для використання в мережі змінного струму частотою 50 Гц і з напругою 220/380 В (з'єднання обмоток Δ / Y). Коефіцієнт корисної дії (ККД) складає 68,0%. Ізоляція обмоток статора відповідає класу F і може витримувати нагрів до 150°C. Підвищений захист класу IP55 забезпечує захист від потрапляння пилу та вологи. Самим оптимальним режимом експлуатації електромотора АІР56В2 є режим S1, який має на увазі тривалу роботу зі стабільним навантаженням. Трифазні електромотори АІР56В2 мають конструктивні виконання.

Самі поширені варіанти:

ІМ 1081 – електродвигун АІР56В2 з лапами. Лапи дозволяють установити двигун паралельно до поверхні кріплення.

ІМ 2081 – електродвигун АІР56В2 з лапами і фланцем. Комбіноване виконання дозволяє встановлювати двигун як паралельно так і перпендикулярно до поверхні кріплення.

ІМ 3081 – електродвигун АІР56В2 з фланцем. Фланець дає можливість установити двигун перпендикулярно до поверхні кріплення. Наведені вище монтажні виконання електродвигунів АІР роблять їх універсальними для різних областей застосування.

Варіанти підключень

На таблиці кожного електродвигуна завод-виробник відмічає можливі варіанти схем підключення обмоток в залежності від напруги мережі живлення. У випадку з АІР56В2 маємо: « Δ / Y 220/380», де: Δ - схема «трикутник»; Y - схема «зірка»; 220, 380 - напруга мережі (В), від якої може живитися мотор АІР56В2. Для підводу кабелю живлення і підключення обмоток по одній із схем на двигуні є клемна коробка. Схема «зірка» Обмотки АІР56В2 підключені заводом-виробником за схемою «зірка» по замовчуванню. Дана схема забезпечує постійну

тривалу роботу електродвигуна в мережі 380 В з максимальним ККД. Схема «трикутник» Використовується для роботи в мережі 220 В. Підключення трифазного електродвигуна АІР56В2 по схемі «трикутник» виконується тільки через конденсатор. Втрата потужності складе близько 30%.

2.2 Розрахунок і вибір апаратів керування

Технічні характеристики електродвигунів верстата 2М57-2 наведені в табл. 2.4.

Таблиця 2.4 – Технічні характеристики електродвигунів верстата 2М57-2

Тип двигуна	Р, кВт	n, хв ⁻¹	I _{ст.} , А	ККД, %	cosφ	$\frac{I_{\Pi}}{I_{Н}}$	$\frac{M_{\Pi}}{M_{Н}}$	$\frac{M_{\max}}{M_{\text{НОМ}}}$
АІР56В2	0,25	3000	0,73	68	0,78	5,3	2,2	2,2
АІР80А2	1,5	3000	3,5	78,5	0,84	7	2,2	2,3
АІР56А2	0,18	3000	0,55	65,7	0,77	5,3	2,2	2,2

2.2.1 Вибір комутаційних апаратів

Магнітні пускачі– електромагнітні комутуючі пристрої, призначені для дистанційного запуску безпосереднім підключенням до мережі, зупинки і реверсування трифазних асинхронних двигунів з короткозамкненим ротором [13]. Загальний зовнішній вигляд магнітного пускача ПМ показаний на рис. 2.1.

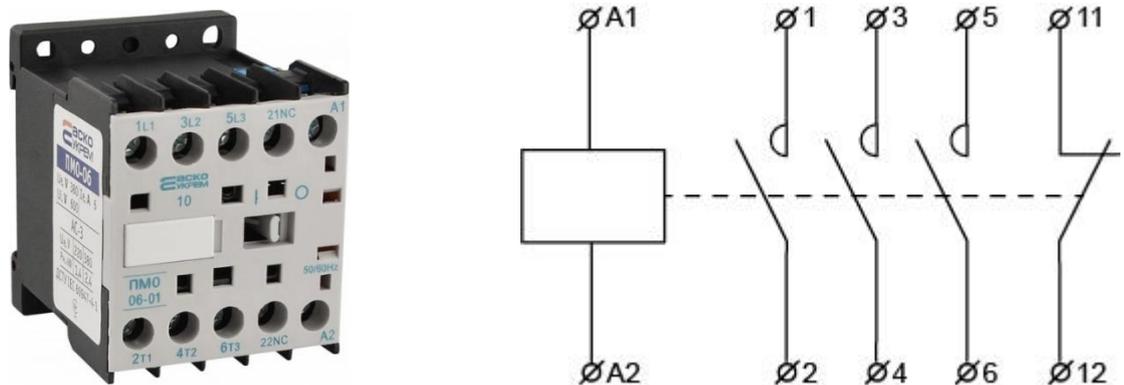


Рисунок 2.1 - Зовнішній вигляд магнітного пускача ПМ

Для двигунів AIP56B2, AIP80A2, AIP56A2 магнітний пускач обираємо за номінальним робочим струмом. Обрано пускач ПМ 0-06-01 В7 24В, Ін.р. = 6 А; $U_{кер.}=24$ В (АС).

2.2.2 Вибір додаткових пристроїв до контакторів (теплові реле)

Для двигунів AIP56B2 й AIP56A2 обираємо теплове реле РТ-0305 (0,63-1А), $I_{уст.}=0,63...1$ А. Для двигуна AIP80A2 – РТ-0310 (4-6А), $I_{уст.}=4,0...6,0$ А, див. рис. 2.2.



Рисунок 2.2 - Зовнішній вигляд теплового реле РТ

2.2.3 Вибір контролера для керування електродвигунами шпинделя

Вибір контролера для керування електродвигунами шпинделя верстата зазвичай залежить від кількох факторів:

- Різні верстати можуть вимагати різних типів контролерів в залежності від їхніх технічних характеристик та потреб у керуванні.
- Якщо верстат використовує систему числового керування (CNC), контролер повинен бути сумісним із цією системою.
- Якщо потрібна велика точність чи висока швидкість реакції системи керування, контролер повинен мати відповідні характеристики.

– Якщо потрібно, щоб контролер взаємодівав із іншими системами автоматизації або мережами, це також може вплинути на вибір.

– Якщо вам потрібна можливість розширення функціоналу у майбутньому або більші можливості, вибір контролера з відповідними можливостями розширення може бути важливим.

Обираємо два контролера. Перший для керування двигуном насосу охолодження (Arduino Mega), котрий характеризується дешевизною. Другий для керування двигуном шпинделя та додатковим обладнанням.

2.3 Розрахунок і вибір апаратів захисту

Апарати керування та захисту вибирається з використання відомої умови номінального струму, який визначається з відомої умови (2.16):

$$I_{\text{роб.}} = \sum I_{\text{ном.}} \quad (2.16)$$

$$I_{\text{роб.}} = \sum I_{\text{ном.}} = 3,5 + 0,55 + 0,73 = 4,78 \text{ А}$$

Максимальний струмовий захист не повинен спрацьовувати при виконанні умови (2.17):

$$I_{\text{у.мах.}} \geq K_{\text{н}} \cdot I_{\text{пуск}} \quad (2.17)$$

де $K_{\text{н}} = 1,5 \dots 2,2$.

$$I_{\text{у.мах.}} \geq 2 \cdot 4,78 = 9,56 \text{ А}$$

Для системи обираємо автоматичний вимикач моделі SH203-B10 з трьома полюсами, $I_{\text{ном}} = 10\text{А}$; з стійкістю ТКЗ 6кА; $U_{\text{ном}} = 220/380\text{В}$; $f = 50\text{Гц}$ [15].

Все обладнання буде розміщено у спеціальній шафі, що знаходиться поряд з верстатом. Для ізоляції контактів, скруток використовуємо термоусадку трубку, гільзи, пластикові ковпачки тощо.

2.4 Розрахунок та вибір проводів і кабелів живлення

Правильний вибір провідників і кабелів системи живлення і керування верстату забезпечить виконання основних вимог до неї. Правильний переріз забезпечить надійність, безпеку роботи верстату у будь яких режимах роботи. Основним критерієм до вибору проводів і кабелів є номінальний струм який споживає верстат, тип і напруга мережі живлення, умови експлуатації.

Номінальний струм, який споживає двигун головного руху, двигун насоса охолоджувальної рідини і двигун електромеханічної голівки затиску колони $I_{\text{ном}}$, А розраховуємо за формулою (2.18) [13, с. 90]:

$$I_{\text{ном.}} = \frac{P_{\text{ном.}}}{U_{\text{ном.}} \cdot \cos\varphi \cdot \eta \cdot \sqrt{3}}, \quad (2.18)$$

де $P_{\text{ном}}$ – номінальна потужність, кВт;

$U_{\text{ном}}$ – номінальна напруга, В;

$\cos\varphi$ – коефіцієнт потужності;

η – коефіцієнт корисної дії.

$$I_{\text{ном.}} = \frac{1,5}{0,38 \cdot 0,84 \cdot 0,78 \cdot \sqrt{3}} = 3,5 \text{ А}$$

$$I_{\text{ном.}} = \frac{0,18}{0,38 \cdot 0,77 \cdot 0,65 \cdot \sqrt{3}} = 0,5 \text{ A}$$

$$I_{\text{ном.}} = \frac{0,25}{0,38 \cdot 0,78 \cdot 0,68 \cdot \sqrt{3}} = 0,73 \text{ A}$$

Номінальний струм, що споживатимуть двигуни головного приводу, насоса охолоджувальної рідини та електромеханічної голівки затиску колони складає 3,5А; 0,5А; 0,73А відповідно. Тепер обираємо відповідний провід із каталогу.

Для живлення двигунів обираємо 4-х жильний мідний кабель в полівінілхлоридній ізоляції ПВС 4×1,5 прокладений у повітрі з допустимим довготривалим струмом $I_{\text{доп}} = 6 \text{ A}$ [14].

При загальній потужності навантаження $1,5+0,25+0,18=1,9 \text{ кВт}$ або 1930 Вт, напрузі мережі 380 В, коефіцієнту потужності 0,92 й температурі кабелю 30 °С втрати напруги сягають 6,09 В або 1,6%.

Висновки до розділу 2

1 Здійснено перевірку потужності електродвигунів на предмет здійснення операцій свердлування верстатом.

2 Обрано апаратуру дистанційного керування, контролер керування шпинделем верстата.

3 Обрано апарати захисту від коротких замикань, зокрема SH203-B10 з трьома полюсами, $I_{\text{ном}} = 10\text{A}$; з стійкістю ТКЗ 6кА; $U_{\text{ном}} = 220/380\text{В}$; $f = 50\text{Гц}$.

4 Обрано провода та кабелі живлення силової частини і схеми керування верстатом відповідно до вимог чинних нормативних документів.

3 МОДЕРНІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ СВЕРДЛИЛЬНИМ ВЕРСТАТОМ ЗАСОБАМИ ТЕОРІЇ АВТОМАТИЧНОГО КЕРУВАННЯ

3.1 Розробка системи автоматичного керування двигуном шпинделя

Свердлильний верстат моделі 2М57-2 складається з наступних електродвигунів: шпинделя, гідронасосу голівки, гідронасосу колони, гідронасосу рукава, охолодження інструментів різання. Розглянемо процес модернізації системи керування електродвигуном шпинделя (див. рис. 3.1).

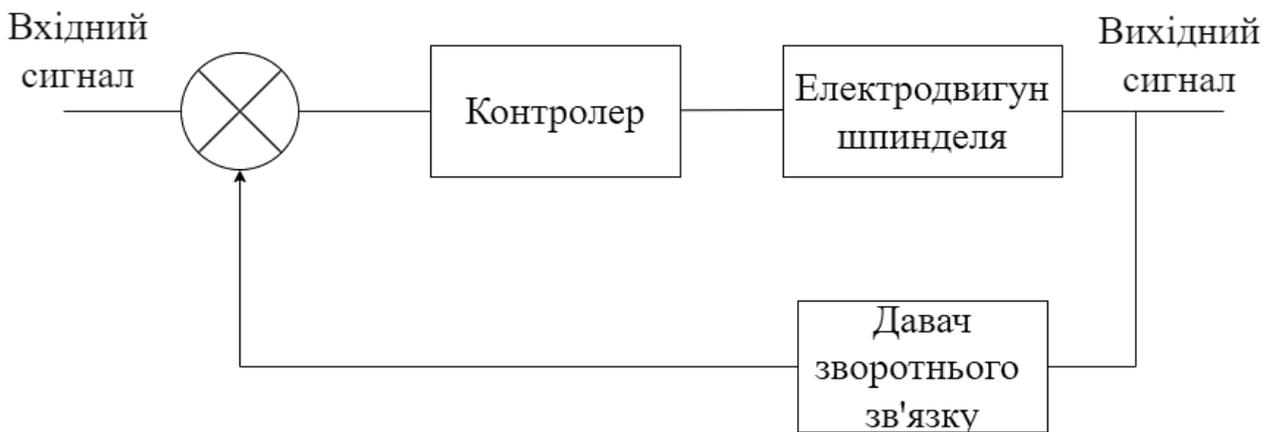


Рисунок 3.1 - Структурна схема електродвигуна шпинделя свердлильного верстата 2М57-2 (узагальнений вигляд)

На структурній схемі показано складові частини вузла шпинделя свердлильного верстата 2М57-2. Вхідний сигнал керування передається на контролер, до якого підключений електродвигун шпинделя. Фізично він підключений за допомогою додаткового обладнання, зокрема драйвера. Електродвигун здійснює операції свердління, розточування тощо, відповідно до заданих значень.

Для визначення різниці між вхідним і вихідним сигналом реалізовано давач зворотного зв'язку. У разі існування різниці між вхідним й вихідним

сигналами розпочинається процес запуску системи автоматичного керування, мета котрої полягає у мінімізації різниці сигналів.

Для опису процесу керування електродвигуном шпинделя свердлильного верстата 2М57-2 необхідно побудувати відповідну передавальну функцію з використанням інструментарію теорії автоматичного керування.

Відомо, будовання передавальних функцій може відбуватися за допомогою кількох методів, зокрема фізичних, експериментальних, ідентифікації систем.

При використанні крокового двигуна, у якості електродвигуна шпинделя, передавальна функція двигуна матиме вигляд (3.1):

$$W(s) = 2p^2 \cdot F \cdot n \cdot L_0 / s^2 \cdot J + s \cdot D + 2p^2 \cdot F \cdot n \cdot I_0, \quad (3.1)$$

де P – кількість пар полюсів;

F – магнітний потік ($\text{Тл} \cdot \text{м}^2$);

L_0 – сила струму (А);

J – момент інерції ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$);

D – коефіцієнт в'язкого тертя ($\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{рад}^{-1}$).

Передавальна функція розімкненої системи має вигляд (3.2):

$$W_p(s) = W_{\text{контрол.}} \cdot (W_{\text{дв.}} \cdot W_{\text{вал}}) \quad (3.2)$$

Передавальна функція замкненої системи має вигляд (3.3):

$$W_z(s) = (W_{\text{контрол.}} \cdot (W_{\text{дв.}} \cdot W_{\text{вал}})) / (1 + (W_{\text{контрол.}} \cdot (W_{\text{дв.}} \cdot W_{\text{вал}})) \cdot W_{\text{давача}}).$$

Відповідно до технології проведення досліджень, за допомогою інструментів теорії автоматичного керування, проведемо математичні

операції для отримання загальної передавальної функції. Поділимо рівняння передавальної функції замкненої системи (3.3) на передавальну функцію розімкненої системи (3.2), отримаємо (3.4):

$$\frac{W_c(s)}{W_p(s)} = \frac{(W_{\text{керування}}(W_{\text{дв.}}W_{\text{вал}}))}{1+W_{\text{керування}}(W_{\text{дв.}}W_{\text{вал}})} \cdot W_{\text{давача}} \cdot \left(\frac{1}{W_{\text{керування}}(W_{\text{дв.}}W_{\text{вал}})}\right) \quad (3.4)$$

Спростуємо вираз (3.4), де подаємо хід спрощення для поглибленого осмислення (3.5):

$$W_c(s)/W_p(s) = 1/(1+(W_{\text{керування}}W_{\text{давача}}))$$

Вираз (3.4) дозволяє створити загальну передавальну функцію системи, котра враховує замкнену й розімкнену системи й має вигляд (3.5):

$$W_p(s) = 1/(1+(W_{\text{контрол.}} \cdot W_{\text{давача}})) \quad (3.5)$$

Загальна передавальна функція системи використовуватиметься для визначення стійкості та якості створеної системи й порівняльного аналізу з удосконаленою системою керування за необхідності.

3.1.1 Визначення стійкості та якості системи

Амплітудно-фазовий критерій стійкості за критеріями Найквіста полягає у вивченні кривих Найквіста, що представляють собою графік комплексної площини, де на рівні реальної вісі відображаються значення амплітуди передавальної функції, а на вертикальній вісі - її фази для різних частот.

Передумовою визначення стійкості системи за критерієм Найквіста є існування передавальної функції $W_p(s) = 1/(1+(W_{\text{контрол.}} \cdot W_{\text{давача}}))$. Реалізуємо стійкість системи за допомогою мови програмування Python та

бібліотеки control, де графічну інтерпретацію подаємо з використанням бібліотеки matplotlib.

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import control as ctl

# Задання передавальної функції
numerator = [1]
denominator = [1, 1] # 1 + Wконтрол * Wдавача

# Створення системи за передавальною функцією
sys = ctl.TransferFunction(numerator, denominator)

# Побудова кривих Найквіста
ctl.nyquist_plot(sys)

# Відображення графіка
plt.xlabel('Real')
plt.ylabel('Imaginary')
plt.title('Nyquist Plot')
plt.grid(True)
plt.show()
```

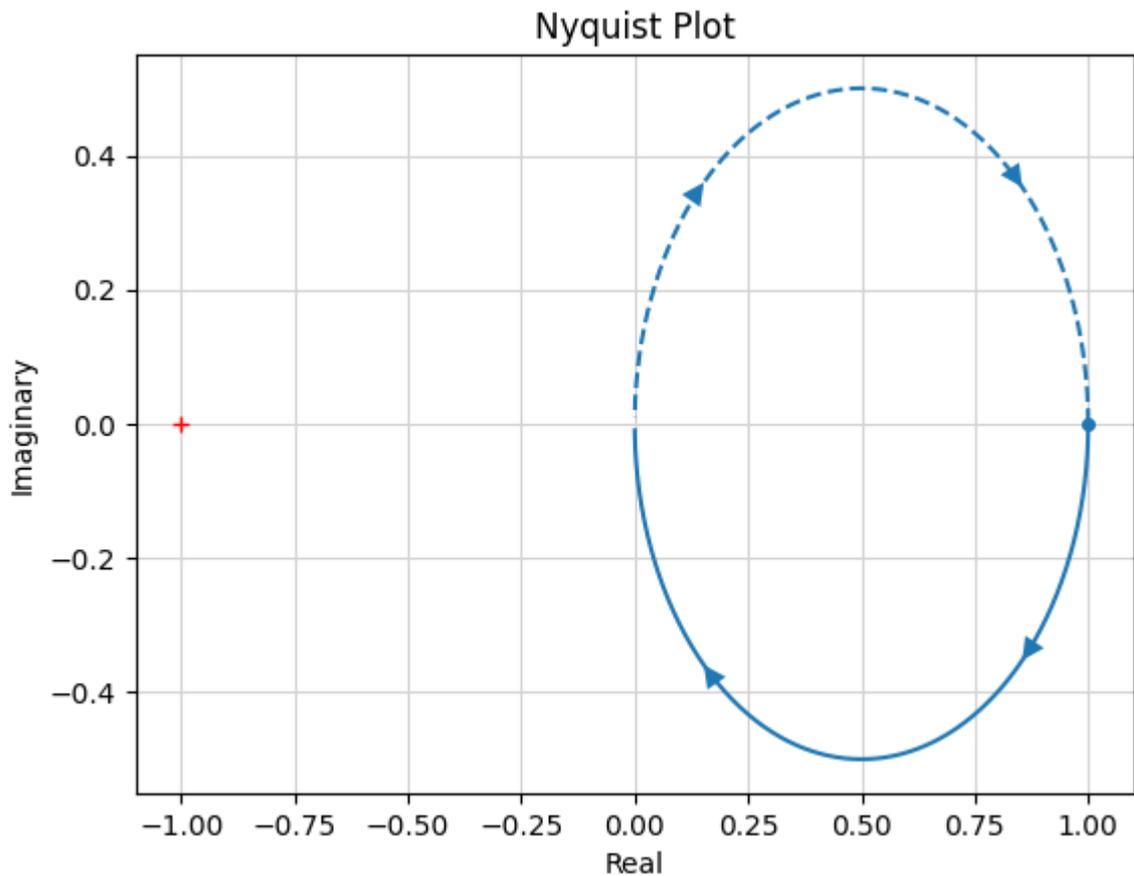


Рисунок 3.2 - Криві Найквіста для цієї передавальної функції $W_p(s)=1/(1+(W_{\text{контрол.}} \cdot W_{\text{давача}}))$ визначені за допомогою бібліотеки control

Якщо крива Найквіста не перетинає вісь у від'ємному напрямку або не має обертань навколо центра координат, це може свідчити про стійкість системи за критерієм Найквіста.

3.1.2 Підвищення надійності та точності системи засобами ПІД-регулятора

Для створення надійної та стабільної передавальної функції додамо Пропорційно-інтегрально-диференційний регулятор. Додавання ПІД-регулятора до передавальної функції, здійснимо помноживши частину ПІД-регулятора на існуючу функцію. Подаємо текст програми реалізації системи керування з використанням ПІД-регулятора.

```

numerator = [[1]]
denominator = [[1, Wконтрол * Wдавача]]

# Параметри ПІД-регулятора
kp = 1
ki = 0.5
kd = 0.2

# ПІД-регулятор
pid_numerator = [[kd, kp, ki]]
pid_denominator = [[1, 0]]

# Помноження ПІД-регулятора на існуючу передавальну функцію
numerator_pid = np.polymul(pid_numerator, numerator)
denominator_pid = np.polymul(pid_denominator, denominator)

# Створення об'єкта системи з ПІД-регулятором
system_pid = control.TransferFunction(numerator_pid, denominator_pid)

```

За результатами досліджень розроблено передавальну функцію системи керування шпинделем верстата, визначено стійкість системи та удосконалено надійність системи шляхом додавання ПІД-регулятора. Додавання ПІД-регулятора - це лише один з методів удосконалення системи керування. Оцінка ефективності удосконалення системи зазвичай включає тестування на реальних умовах або віртуальному середовищі, враховуючи багатофакторність та вимоги конкретної задачі.

Тому проведемо експериментальні додаткові тести та аналізи, щоб оцінити чи є додавання ПІД-регулятора достатнім для досягнення потрібної ефективності вашої системи.

3.2 Автоматизація системи охолодження свердлильного верстата засобами Arduino

Розглянемо формальну постановку завдання автоматизації системи охолодження електродвигуна свердлильного верстата. Нехай маємо температуру, стан електродвигуна (1- увімкнено, 0- вимкнено).

Математично це можна виразити у вигляді системи умов:

Якщо $T > T_{\text{ввімкнення}}$ та $M = 0$, тоді $M = 1$ (Увімкнути електродвигун).

Якщо $T < T_{\text{вимкнення}}$ та $M = 1$, тоді $M = 0$ (Вимкнути електродвигун).

Для автоматизації системи охолодження свердлильного верстата варто обрати обладнання, зокрема контролер, давач температури та реле чи MOSFET модуль. Це дозволить удосконалити існуючий привід за рахунок зменшення часу вмикання, можливість швидкого переналаштування й простого обслуговування.

Наприклад, драйвер на силовому MOSFET транзисторі IRF520 дозволяє вмикати / вимикати потужне навантаження зі струмом до 5А та напругою до 24В. На відміну від реле не має рухомих контактів, які мають звичай підгорати і спрацьовує швидше, а також можливість використовувати широтно-імпульсну модуляцію (ШИМ) [1].

У якості контролера оберемо Arduino Mega 2560. Arduino Mega 2560 - це пристрій на основі мікроконтролера ATmega2560. У його склад входять все необхідне для роботи з мікроконтролером: 54 цифрових порти вводу-виводу, з яких 15 можуть використовуватися в якості ШИМ, 16 аналогових входів, 4 UART, кварцовий резонатор на 16 МГц, троянд USB, троянд ;є живлення, роз'єм ICSP для внутрішньосхемного програмування і кнопка скидання. Для початку роботи з пристроєм достатньо просто подати живлення від адаптера або батареї, або підключити його до комп'ютера за допомогою USB кабелю. Arduino Mega сумісний з більшістю плат розширення, розроблених для Arduino [2].

Для підключення електродвигуна насоса охолодження оберемо 2-о канальний модуль реле 5В 10А з опторозв'язкою (low level) [3]. Електрична принципова схема 2-о канального модуля реле 5В 10А з опторозв'язкою представлена на рис. 3.3.

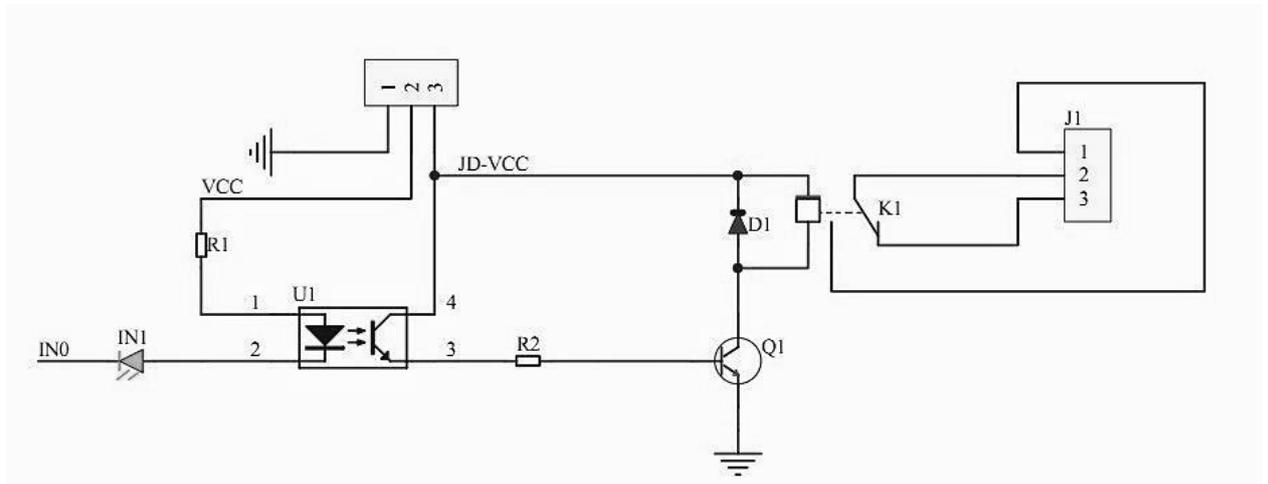


Рисунок 3.3 - Електрична принципова схема 2-о канального модуля реле 5В 10А з опторозв'язкою (low level)

Другий канал модуля залишимо не під'єднаним з метою можливості майбутнього удосконалення системи. Для розробки «цифрового двійника» системи керування використаємо середовище Wokwi. Досліджувана система керування двигуном насоса охолодження свердильного верстата представлена на рис. 3.4.

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Підключаємо бібліотеку дл
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

#define ONE_WIRE_BUS 13 // Пін, до якого підключений датчик
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

const int motorPin = 9; // Пін для підключення електродвигу

LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Ініціалізація об'єкт

void setup() {
  sensors.begin(); // Ініціалізуємо датчик DS18B20
  sensors.setResolution(12); // Встановлюємо роздільну здат
  pinMode(motorPin, OUTPUT); // Встановлюємо пін для е
```

Рисунок 3.4 - Досліджувана система керування двигуном насоса охолодження свердильного верстата

На рис. 3.4 показано програмну реалізацію системи автоматичного керування електродвигуна насоса охолодження. Запропонований код включає датчик температури DS18B20, який зчитує температуру, а потім використовує це значення для керування електродвигуном в залежності від встановлених порогових значень температури.

Для поглибленого аналізу типів компонентів (такі як Arduino Mega, модуль DS18B20, реле, LCD-дисплей) та їх розташування на віртуальній дошці, а також пінів компонентів з'єднані між собою подаємо JSON-файл.

```
{
  "version": 1,
  "author": "Ігор Марченко",
  "editor": "wokwi",
  "parts": [
    { "type": "wokwi-arduino-mega", "id": "mega", "top": 0, "left": 0, "attrs": {} },
    { "type": "board-ds18b20", "id": "temp1", "top": -135.53, "left": 119.28, "attrs": {} },
    { "type": "wokwi-relay-module", "id": "relay1", "top": -115, "left": 240, "attrs": {} },
    {
      "type": "wokwi-lcd2004",
      "id": "lcd1",
      "top": -339.2,
      "left": 5.6,
      "attrs": { "pins": "i2c" }
    }
  ],
  "connections": [
    [ "temp1:GND", "mega:GND.1", "black", [ "v0" ] ],
    [ "temp1:VCC", "mega:5V", "red", [ "v57.6", "h-172.8", "v240", "h201.6" ] ],
    [ "relay1:IN", "mega:9", "green", [ "h0" ] ],
```

```

[ "relay1:GND", "mega:GND.1", "black", [ "h-48", "v66.8", "h-76.8" ] ],
[ "relay1:VCC", "mega:5V", "red", [ "h-38.4", "v76.8", "h201.6", "v230.4", "h-
211.2" ] ],
[ "lcd1:GND", "mega:GND.2", "black", [ "h-67.2", "v537.6", "h240" ] ],
[ "lcd1:VCC", "mega:5V", "red", [ "h-57.6", "v537.7", "h220.8" ] ],
[ "lcd1:SDA", "mega:20", "green", [ "h-19.2", "v144.2", "h230.4", "v115.2",
"h105.6" ] ],
[ "lcd1:SCL", "mega:21", "green", [ "h-38.4", "v125.1", "h240", "v144",
"h124.8" ] ],
[ "temp1:DQ", "mega:13", "green", [ "v0" ] ]
],
"dependencies": {}
}

```

Таким чином, розглянутий код використовується для створення симуляції апаратної частини електродвигуна насосу охолодження свердлильного верстата до того, як буде написаний власний код для контролю цих компонентів.

Для зручності керування передбачається можливість використання клавіатури для корегування значення параметра температури обмотки електродвигуна.

При виникненні аварійних ситуацій, відповідно до вимог існуючих стандартів, використаємо кнопку аварійної зупинки електродвигуна. Для цього внесемо корективи у текст програми.

```

const int buttonPin = 8; // Пін для підключення кнопки
bool isSensorWorking = true; // Флаг для відстеження роботи датчика
void setup() {
    // ... (решта вашого налаштування)
    pinMode(buttonPin, INPUT_PULLUP); // Встановлюємо пін кнопки як
    вхід з підтягувальним резистором

```

```

}
void loop() {
  sensors.requestTemperatures();
  float actualTemp = sensors.getTempCByIndex(0);
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print("      ");
  lcd.setCursor(0, 1);
  lcd.print(actualTemp);
  float thresholdTemperature = 30.0;
  float turnOffTemperature = 25.0;
  if (digitalRead(buttonPin) == LOW) { // Якщо кнопка натиснута
    isSensorWorking = false; // Встановлюємо прапорець, що датчик не
    працює
    digitalWrite(motorPin, LOW); // Вимикаємо електродвигун
  }
  if (isSensorWorking) { // Якщо датчик працює
    if (actualTemp > thresholdTemperature) {
      digitalWrite(motorPin, HIGH);
    } else if (actualTemp < turnOffTemperature) {
      digitalWrite(motorPin, LOW);
    }
  }
  delay(1000);
}

```

У цьому коді кнопка підключена до піна 8 та зчитується у циклі loop. Якщо кнопка натиснута (LOW), флаг isSensorWorking встановлюється в false, що призводить до зупинки роботи з датчиком та вимкненням електродвигуна.

Висновки до розділу 3

- 1 Створено цифровий двійник системи автоматичного керування двигуном шпинделя верстата 2М57-2. Особливостями системи керування є використання зворотного зв'язку, що реалізовано за допомогою відповідного давача.
- 2 Побудовано загальну передавальну функцію системи керування шпинделя й визначено її ефективність за допомогою критерію стійкості Найквіста та якості. Крива Найквіста не перетинає вісь у від'ємному напрямку або не має обертань навколо центра координат, що вказує про стійкість системи за критерієм Найквіста.
- 3 Запропоновано існуючу технологію удосконалення надійності та точності системи керування інструментарієм ПІД регулювання.
- 4 Автоматизовано систему охолодження верстата засобами Arduino Mega 2560 та відповідного давача температури.

4 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

4.1 Організація монтажу електрообладнання верстата

Для організації монтажу електрообладнання верстата 2М57-2 рекомендується дотримуватись наступних кроків [7].

Перед початком монтажу переконайтесь, що у вас є повна технічна документація, включаючи керівництво з експлуатації та електричні схеми верстата 2М57. Ознайомтесь з усіма вказівками та рекомендаціями, щоб мати чітке розуміння процесу монтажу.

Почніть з монтажу станини верстата 2М57-2. Переконайтесь, що станина міцно закріплена і правильно вирівнюється. Дотримуйтесь інструкцій з монтажу, наданих виробником.

Після збірки основи розпочніть монтаж електрообладнання. Це включає підключення кабелів, розподільчих щитів, електричних моторів та інших компонентів. Дотримуйтесь електричних схем і діаграм з'єднань, наданих виробником.

Перш ніж підключати верстат 2М57-2 до джерела живлення, перевірте всі з'єднання щодо правильності і надійності. Переконайтесь, що всі проводи належним чином ізольовані та захищені від короткого замикання. Використовуйте вимикачі і захисні пристрої відповідно до норм безпеки.

Після завершення монтажу підключіть верстат 2М57-2 до живлення і перевірте його роботу. Впевніться, що всі електричні компоненти працюють належним чином та відповідають очікуваному функціоналу.

Перевірте, чи відповідає живлення верстата 2М57-2 вимогам, зазначеним у технічній документації. Правильно підключіть верстат до джерела живлення, дотримуючись всіх безпечних процедур та норм.

Після підключення до живлення налаштуйте верстат 2М57-2 згідно з інструкціями виробника. Перевірте роботу всіх функцій, переконайтесь, що верстат працює належним чином та виконує потрібні операції.

Здійсніть випробування безпеки верстата 2M57-2, щоб переконатися, що всі захисні пристрої працюють належним чином. Перевірте електричні заземлення, функціонування захисних кіл, системи аварійного відключення тощо.

Забезпечте кваліфікацію та навчання персоналу, який буде працювати з верстатом 2M57-2. Переконайтеся, що вони розуміють безпекові і експлуатаційні процедури, а також вміють користуватися усіма функціями верстата.

Збережіть усю документацію щодо монтажу, налаштування та безпеки верстата 2M57-2. Встановіть регулярний графік сервісного обслуговування та проводьте періодичну перевірку та обслуговування устаткування.

Монтаж магнітних пускачів

Монтаж магнітних пускачів – це процес встановлення і підключення магнітних пускачів до електричних мереж для управління електродвигунами. Магнітні пускачі використовуються для запуску, зупинки та захисту електродвигунів від перевантажень, короткого замикання та інших несприятливих умов.

Ось кроки, які можуть бути виконані при монтажі магнітного пускача:

– Підготовка: Перед початком монтажу переконайтеся, що у вас є необхідні інструменти, матеріали та документація. Перегляньте монтажні інструкції, щоб ознайомитися з процесом та вимогами виробника.

– Встановлення: Встановіть магнітний пускач на стіну або інше підходяще місце, враховуючи вимоги щодо розташування, заземлення та вентиляції. Дотримуйтесь вказівок виробника для правильного закріплення пускача.

– Підключення електричних проводів: Забезпечте вимкнення живлення та безпечну роботу з електричними проводами. Підключіть живлення до вхідних клем пускача відповідно до схеми з'єднання, яка надається виробником. Правильно підключіть фазні, нульові та заземлювальні проводи.

– Підключення керування: Підключіть керуючі проводи до клем керування пускача. Це може включати проводи від кнопок запуску, зупинки та інших керуючих пристроїв. Переконайтеся, що правильно підключили керуючі сигнали до відповідних клем.

– Перевірка: Після підключення перевірте, чи всі з'єднання правильні та надійні.

Монтаж електродвигунів

Монтаж електродвигуна включає в себе кілька етапів, які описані нижче:

Підготовка: Перш ніж розпочати монтаж, переконайтеся, що у вас є всі необхідні інструменти, обладнання і матеріали. Перегляньте документацію виробника електродвигуна, щоб ознайомитися з технічними вимогами та інструкціями з монтажу.

Вибір місця: Встановіть електродвигун на підлозі або на підставці, забезпечуючи стійку основу для нього. Зверніть увагу на доступ до електродвигуна для обслуговування та вентиляції, якщо це потрібно.

Підключення електропостачання: Перед підключенням електродвигуна переконайтеся, що живлення вимкнене. Підключіть електричні проводи від джерела живлення до з'єднувальних клем електродвигуна. Дотримуйтеся правильної послідовності підключення фазних проводів, нульового проводу і заземлення відповідно до вимог технічної документації.

Підключення системи охолодження: Якщо електродвигун має систему охолодження, з'єднайте водопровідні труби або інші компоненти системи охолодження з відповідними входами та виходами електродвигуна. Переконайтеся, що система охолодження належним чином налаштована і підключена до джерела охолоджуючого середовища.

Підключення системи управління: Якщо електродвигун контролюється системою управління, з'єднайте керуючі проводи від системи управління до керуючих клем електродвигуна.

4.2 Технічне обслуговування та експлуатація електрообладнання верстата

Верстат 2M57 може мати програмне забезпечення, яке контролює його роботу. Якщо виробник надає оновлення програмного забезпечення для верстата, то для його оновлення слід дотримуватись наступних кроків [7].

Отримання оновлення. Зв'яжіться з виробником верстата 2M57-2 або перевірте їх веб-сайт, щоб отримати інформацію про доступні оновлення програмного забезпечення. Переконайтеся, що ви отримуєте оновлення, призначене саме для вашої моделі верстата.

Ознайомлення з інструкціями. Уважно прочитайте інструкції, надані виробником, щодо процесу оновлення програмного забезпечення. Дотримуйтесь усіх кроків і рекомендацій, наданих виробником.

Підготовка до оновлення. Переконайтеся, що верстат 2M57-2 знаходиться у стані, який дозволяє безпечно виконати процес оновлення. Забезпечте належну живлення верстата та забезпечте його захищений від випадкового вимкнення під час оновлення.

Виконання оновлення. Слідуйте інструкціям виробника для виконання процесу оновлення програмного забезпечення. Це може включати підключення верстата до комп'ютера або іншого пристрою, виконання програмного оновлення за допомогою спеціального програмного забезпечення та очікування завершення процесу оновлення.

Перевірка роботи. Після успішного оновлення програмного забезпечення перевірте роботу верстата 2M57-2, щоб переконатися, що нове програмне забезпечення працює належним чином. Впевніться, що всі функції верстата працюють як очікувалося і відповідають вашим потребам.

Для експлуатації електрообладнання верстата 2M57-2 рекомендується дотримуватись наступних кроків і процедур.

Уважно прочитайте керівництво з експлуатації, надане виробником верстата 2M57-2. Ознайомтесь з усіма інструкціями щодо безпеки, включаючи правила використання та обслуговування обладнання.

Правильно підключіть верстат 2M57-2 до джерела живлення відповідно до вказівок виробника. Переконайтеся, що електричні параметри відповідають вимогам верстата, а також використовуйте відповідні захисні пристрої.

Перед початком роботи з верстатом 2M57-2 перевірте, чи всі рухомі деталі належним чином закріплені, чи вони вільні від перешкод і чи не мають ознак пошкоджень. Також перевірте наявність належних інструментів і пристосувань для виконання завдань.

Дотримуйтеся всіх вказівок щодо безпеки під час роботи з верстатом 2M57-2. Використовуйте захисні пристрої, окуляри, взуття з міцною підошвою та інші засоби захисту, які можуть бути необхідні для попередження травм.

Проводьте регулярне технічне обслуговування верстата 2M57-2 згідно з рекомендаціями виробника. Це включає очищення, змащення, перевірку стану деталей і компонентів, а також заміну витратних матеріалів за потреби.

Використовуйте відповідні інструменти для роботи з верстатом 2M57-2. Дотримуйтеся вказівок щодо встановлення і використання різних інструментів, шпинделів, пристосувань та аксесуарів.

Спостерігайте за роботою верстата 2M57 під час експлуатації. Зверніть увагу на будь-які незвичайні звуки, вібрацію, перегрівання або інші ознаки несправності. В разі виявлення проблем негайно вимкніть верстат та зверніться до фахівця для перевірки і ремонту.

Уникайте перевантаження верстата 2M57-2. Дотримуйтеся рекомендацій щодо максимальних обтяжень, швидкостей руху інструментів та інших параметрів роботи. Не використовуйте верстат поза його розрахунковими можливостями, щоб уникнути пошкодження обладнання або травм користувача.

Створіть графік обслуговування та перевірок верстата 2M57-2. Регулярно перевіряйте стан деталей, проводьте заміну витратних матеріалів, очищайте фільтри та системи охолодження за вказівками виробника.

Надайте достатню навчання та інструктаж персоналу, який працюватиме з верстатом 2M57-2. Переконайтеся, що вони розуміють процедури безпеки, правила експлуатації та технічного обслуговування. Забезпечте їм доступ до необхідної документації та контактів фахівців, які можуть надати допомогу при необхідності.

Технічна експлуатація двигунів змінного струму

Технічна експлуатація двигунів змінного струму включає в себе ряд процедур та практик, які допомагають забезпечити безперебійну роботу та продовжити термін служби двигунів. Ось деякі важливі аспекти технічної експлуатації двигунів змінного струму:

Перевірка і обслуговування: регулярно перевіряйте стан двигуна, включаючи його зовнішній вигляд, вібрації, ознаки зносу або пошкоджень. Здійснюйте регулярну обслуговування, включаючи змащення підшипників, очищення вентиляційних отворів і перевірку електричних з'єднань.

Захист від перевантаження: дотримуйтеся рекомендацій виробника щодо робочих параметрів двигуна, таких як струм, напруга, температура тощо. Використовуйте захисні пристрої, такі як запобіжники або реле перевантаження, для запобігання перевантаженню та пошкодженню двигуна.

Правильна ізоляція та заземлення: переконайтеся, що всі електричні з'єднання виконані належним чином і що ізоляція між проводами відповідає стандартам безпеки. Забезпечте належне заземлення двигуна для запобігання статичному заряду та захисту від електричного удару.

Режими пуску та зупинки: використовуйте належні процедури пуску та зупинки двигуна для запобігання великим струмам пуску і стрибкам напруги. Розгляньте використання пускових пристроїв, таких як м'які пускачі, для зменшення навантаження на двигун при пуску.

4.3 Можливі пошкодження і ремонт електрообладнання верстата

Можливі пошкодження електрообладнання верстата 2M57-2 включають наступні проблеми [8]:

Неправильне живлення, перенапруги або замикання можуть спричинити пошкодження електричних компонентів, таких як мотори, реле або контролери.

Неправильне використання або зіткнення з іншими об'єктами можуть призвести до пошкодження рухомих деталей, шпинделів, пристроїв автоматичного подавання або інших механізмів.

Внаслідок тривалої експлуатації або неправильного обслуговування можуть виникати знос, виривання, поломки або втрати робочих характеристик різних компонентів верстата.

Помилки в програмному забезпеченні, несправність сенсорів або інші електронні проблеми можуть впливати на функціонування верстата та його електронних систем.

В разі пошкодження електрообладнання верстата 2M57-2 рекомендується провести наступні дії:

Вимкніть верстат. Забезпечте безпеку, вимкнувши живлення верстата та відключивши його від джерела живлення.

Виклик фахівця. Якщо у вас немає необхідного досвіду або знань для самостійного ремонту, зверніться до кваліфікованого фахівця або сервісного центру виробника верстата 2M57-2. Вони зможуть діагностувати проблему та здійснити професійний ремонт.

Заміна пошкоджених частин. Після виявлення пошкодження фахівець зможе підібрати та замінити пошкоджені електричні апарати.

У Європі, для ремонту електрообладнання верстата та дотримання безпекових стандартів, рекомендується дотримуватися наступних кроків:

Виконання електробезпеки: Перш за все, переконайтеся, що живлення верстата відключене та що всі заходи безпеки виконані перед початком будь-яких робіт.

Діагностика проблеми: Виконайте детальну діагностику проблеми, виявіть пошкоджені компоненти та визначте причину поломки. Якщо у вас немає необхідних знань або досвіду, краще звернутися до кваліфікованого фахівця або сервісного центру.

Заміна компонентів: Після виявлення пошкоджених компонентів, замініть їх на нові або належно відновлені. Важливо використовувати оригінальні запчастини або еквівалентні замінники, які відповідають специфікаціям верстата.

Налагодження та тестування: Після заміни компонентів проведіть необхідні налаштування та тестування верстата. Переконайтеся, що всі функції працюють належним чином і відповідають вимогам безпеки.

Запобігання майбутнім поломкам: Регулярно проводьте обслуговування та перевірку верстата, щоб запобігти майбутнім поломкам. Дотримуйтесь рекомендацій виробника щодо технічного обслуговування та заміни зношених деталей.

Документування ремонту: Важливо вести записи про проведені ремонтні роботи, включаючи замінені компоненти, дату та виконавця ремонту.

Ремонт теплових реле

Ремонт теплових реле може бути виконаний за умови, що ви маєте достатні знання і навички в галузі електротехніки та безпеки. Однак, зазначу, що ремонт теплових реле вимагає точності та правильного розуміння його принципу дії. Якщо ви не маєте відповідного досвіду, краще звернутися до кваліфікованого фахівця або сервісного центру для проведення ремонту. Тим не менше, я можу надати загальні вказівки щодо можливих кроків при ремонті теплових реле:

Вимкніть живлення: перед початком ремонту переконайтеся, що живлення до теплового реле вимкнено і забезпечена безпека від електричного удару.

Візуальний огляд: огляньте теплове реле, щоб виявити будь-які ознаки пошкоджень, зносу або витоку. Переконайтеся, що всі контакти належним чином підключені.

Перевірка контактів: використовуючи вимірювальний прилад, перевірте стан контактів на тепловому реле. Вони повинні бути чистими, неокисленими і правильно затиснутими. В разі необхідності, очистіть контакти від бруду або окислення.

Перевірка температурного елемента: переконайтеся, що температурний елемент в тепловому реле працює належним чином. Зверніть увагу на будь-які ознаки пошкодження або зламу.

Заміна деталей: якщо виявлено пошкодження контактів, температурного елемента чи інших компонентів, які не можуть бути відремонтовані, розгляньте можливість заміни цих деталей.

Висновки до розділу 4

- 1 З'ясовано особливості монтажу електрообладнання верстата.
- 2 Досліджено алгоритм дій щодо технічного обслуговування верстата.
- 3 Визначено особливості дій при пошкодженні й ремонті електрообладнання верстата.

ВИСНОВКИ

Проведено порівняльний аналіз систем керування верстатів свердлильної групи та визначено особливості верстатів-аналогів, котрі дозволять модернізувати досліджуваний верстат. З'ясовано особливості вибору системи електроприводу, методів регулювання швидкістю й гальмування.

Здійснено перевірку потужності електродвигунів на предмет здійснення операцій свердлування верстатом. Обрано апаратуру дистанційного керування, контролер керування шпинделем верстата. Обрано апарати захисту від коротких замикань, зокрема SH203-B10 з трьома полюсами, $I_{\text{ном}} = 10\text{А}$; з стійкістю ТКЗ 6кА; $U_{\text{ном}} = 220/380\text{В}$; $f = 50\text{Гц}$. Обрано провода та кабелі живлення силової частини і схеми керування верстатом відповідно до вимог чинних нормативних документів.

Створено цифровий двійник системи автоматичного керування двигуном шпинделя верстата 2М57-2. Особливостями системи керування є використання зворотного зв'язку, що реалізовано за допомогою відповідного давача.

Побудовано загальну передавальну функцію системи керування шпинделя й визначено її ефективність за допомогою критерію стійкості Найквіста та якості. Крива Найквіста не перетинає вісь у від'ємному напрямку або не має обертань навколо центра координат, що вказує про стійкість системи за критерієм Найквіста.

Запропоновано існуючу технологію удосконалення надійності та точності системи керування інструментарієм ПДД регулювання. Автоматизовано систему охолодження верстата засобами Arduino Mega 2560 та відповідного давача температури.

З'ясовано особливості монтажу електрообладнання верстата. Досліджено алгоритм дій щодо технічного обслуговування верстата. Визначено особливості дій при пошкодженні й ремонті електрообладнання верстата.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- 1 Свердлильні верстати. [Електронний ресурс] // Компанія BULAT-METAL.– Режим доступу: <https://bulat-metal.com.ua/ua/sverlilnyie-stanki/> (дата звернення: 08.10.2023).
- 2 Свердлильні операції. [Електронний ресурс] // ТОВ СТАНКІВ. Режим доступу: <https://stankin.com.ua/sverdlylni-operacziyi/> (дата звернення: 10.10.2023).
- 3 СИСТЕМИ АВТОМАТИЗАЦІЇ ОБЛАДНАННЯ ПРИЛАДОБУДІВНОГО ВИРОБНИЦТВА. [Електронний ресурс] // Режим доступу:
https://elib.lntu.edu.ua/sites/default/files/elib_upload/%D0%90%D0%92%D0%9F%20%D0%B2%20%D0%9F%D0%91%20PDF%201/other/tema_3_sistemi_avtomatizacziyi_obladnannya_priladobudivnogo_virobnicztva.pdf
- 4 Теорія систем керування: підручник / В.І. Корнієнко, О.Ю. Гусєв, О.В. Герасіна, В.П. Щокін; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро: НГУ, 2017. 497 с.
- 5 2М57 – верстат радіально-свердлильний. *promstart.com.ua*. URL: <https://promstart.com.ua/ua/p83483140-2m57-stanok-radialno.html> (дата звернення: 12.10.2023).
- 6 Вимоги до електроприводу та схемами автоматизації. URL: <http://um.co.ua/8/8-9/8-90252.html> (дата звернення: 12.10.2023).
- 7 Шульга А.А., Полупан І.І., Ткаченко А.А. Автоматизований електропривод металорізальних верстатів: навчальний посібник: для студентів спеціальності «Електромеханічні системи автоматизації та електропривод». Краматорськ: ДДМА 2010. 124 с.
- 8 Муляр, Ю. І. Автоматизація виробництва в машинобудуванні. Частина II : навчальний посібник / Ю. І. Муляр, С. В. Репінський. – Вінниця : ВНТУ, 2020. 123 с.

- 9 Дідик Р.П., Зіль В.В., Пацера С.Т. Розрахункові операції режимів механічної обробки матеріалів: точіння, свердління, зенкерування, розгортання: навч. посіб. – Д.: Національний гірничий університет», 2013. 196 с.
- 10 Попрядухін В.С. Апарати керування і захисту: курс лекцій. Мелітополь: ТДАТУ, 2019. 190 с.
- 11 Монтаж, наладка і експлуатація електрообладнання. Конспект лекцій (для студентів 5 курсу денної і 6 курсу заочної форм навчання спеціальності 7.0906003 – «Електричні системи електроспоживання») / Авт. А.В. Хитров – Харків: ХНАМГ, 2009. 328 с.
- 12 Севостьянов І. В. Експлуатація верстатних комплексів. Навчальний посібник. Ч. I. – Вінниця: ВНТУ, 2005. 125 с.
- 13 Каталог електрообладнання. . [Електроний ресурс] – Режим доступу до ресурсу:
https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/kontaktori_miniatyurni_serii_pm0/21656/
- 14 Каталог електрообладнання. ТОВ "Актив Енерджі Сервіс" Одеса вул. Проценко, 52 Режим доступу до ресурсу https://www.acko.ua/e-store/xml_catalog/kontaktori_miniatyurni_serii_pm0/21656/
- 15 Каталог електрообладнання. [Електроний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://new.abb.com/products/ru/2CDS213001R0105/sh203-b10>
- 16 Електронасоси (помпи, насоси) П 25М, П-25М, П25М УХЛ4. [Електроний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://aspect.prom.ua/ua/p1263166606-25m-nasos-pompa.html>
- 17 Нагнітачі та теплові двигуни. [Електроний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://ep3.nuwm.edu.ua/2312/1/727226%20zah.pdf>
- 18 Електромеханічна головка моделі 7921-0003. [Електроний ресурс] – Режим доступу до ресурсу <https://www.mashprom.com.ua/7921-0003-%D0%B3%D0%BE%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D0%BA%D0%B0-%D1%8D%D0%BB%D0%B5%D0%BA%D1%82%D1%80%D0%BE%D0%BC>

[%D0%B5%D1%85%D0%B0%D0%BD%D0%B8%D1%87%D0%B5%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB/](https://www.acko.ua/upload/uf/9b5/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%96%20%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%B5%20%D1%81%D0%BA%D0%B0%D1%8F-%D0%BC%D0%BE%D0%B4%D0%B5%D0%BB/)

19 Теплові реле серії РТ. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу

<https://www.acko.ua/upload/uf/9b5/%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%B2%D1%96%20%D1%80%D0%B5%D0%BB%D0%B5%20%D1%81%D0%B5%D1%80%D1%96%D1%97%20%D0%A0%D0%A2.pdf>

20 Стандарти якості електропостачання та надання компенсацій. [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу

<https://www.nerc.gov.ua/sferi-diyalnosti/elektroenergiya/yakist-elektropostachannya/standarti-yakosti-elektropostachannya-ta-nadannya-kompensacij>

21 Модуль з транзистором MOSFET IRF520 купити в Києві та Україні [Електронний ресурс] // Arduino в Україні. – Режим доступу: <https://arduino.ua/prod2018-modyl-s-tranzistorom-mosfet-irf520> (дата звернення: 22.11.2023).

22 Arduino Mega 2560 R3 CH340: продаж, ціна у Дніпрі. Набори та компоненти для самостійного збирання електроніки від "Інтернет-магазин "Електроніка"" - 1530387467 [Електронний ресурс] // Радіомагазин "Електроніка" - інтернет магазин радіодеталей та електроніки. – Режим доступу:

https://electronica.in.ua/ua/p1530387467-arduino-mega-2560.html?source=merchant_center&utm_source=google&utm_medium=cpc&utm_campaign=20496384634&utm_term=&utm_content=&utm_position=&utm_matchtype=&utm_placement=&utm_network=x&gclid=Cj0KCQiA6vaqBhCbARIsACF9M6nrIPrsEL04Q_LR_32GbTMq-LrKul5Z7gzPvanAKQCefdQt3BzqIm0aAhRTEALw_wcB (дата звернення: 22.11.2023).

23 Дво канальний модуль реле 5В 10А з опторозв'язкою (low level) купити в Києві та Україні [Електронний ресурс] // Arduino в Україні. – Режим

доступу: <https://arduino.ua/prod201-2-h-kanalnii-modul-rele-5v-10a-s-optorazvuzkoj> (дата звернення: 22.11.2023).

24 Довідник ротаційного енкодера. [Електронний ресурс] // Режим доступу : <https://docs.wokwi.com/parts/wokwi-ky-040>

25 Лактіонов О.І. Модернізація електрообладнання радіально-свердлильного верстата моделі 2М57-2 та дослідження його характеристик / О.І. Лактіонов, І.В. Марченко // Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика : зб. наук. пр. за матеріалами ІХ Всеукр. наук.-практ. конф., 10 листоп. 2023 р. / Полтава : Нац. ун-т ім. Юрія Кондратюка, 2023. – С. 77. <http://reposit.nupp.edu.ua/handle/PoltNTU/13994>

Додаток А
Розділ 1 (англійська версія)

1 SELECTION AND JUSTIFICATION OF OUTPUT DATA

1.1 Comparative analysis of existing drilling group machines and their control systems

In modern production, drilling lathes are the most common among metalworking machines [1]. They have different equipment and structure of the executive part of the machine and a significant variety of tool support. Today, manufacturers offer various models of drilling machines that can drill and ream holes, countersink and tap internal threads.

Drilling is mechanical processing of materials, for which a special cutting tool is used - a drill. With the help of this operation, holes of various shapes and sizes are made. The drilling process is used when it is necessary to countersink, expand and bore holes [2].

Countersinking, opening holes and drilling can be performed using vertical metal drilling. Using various tools and devices during vertical processing of materials, it becomes possible to perform thread cutting on vertical drilling machines.

On a vertical drilling machine, work on mechanical processing is performed using cutting, namely drilling.

Drilling is a process in which a rotating drill bit forms various holes that vary in depth, size, and configuration [2].

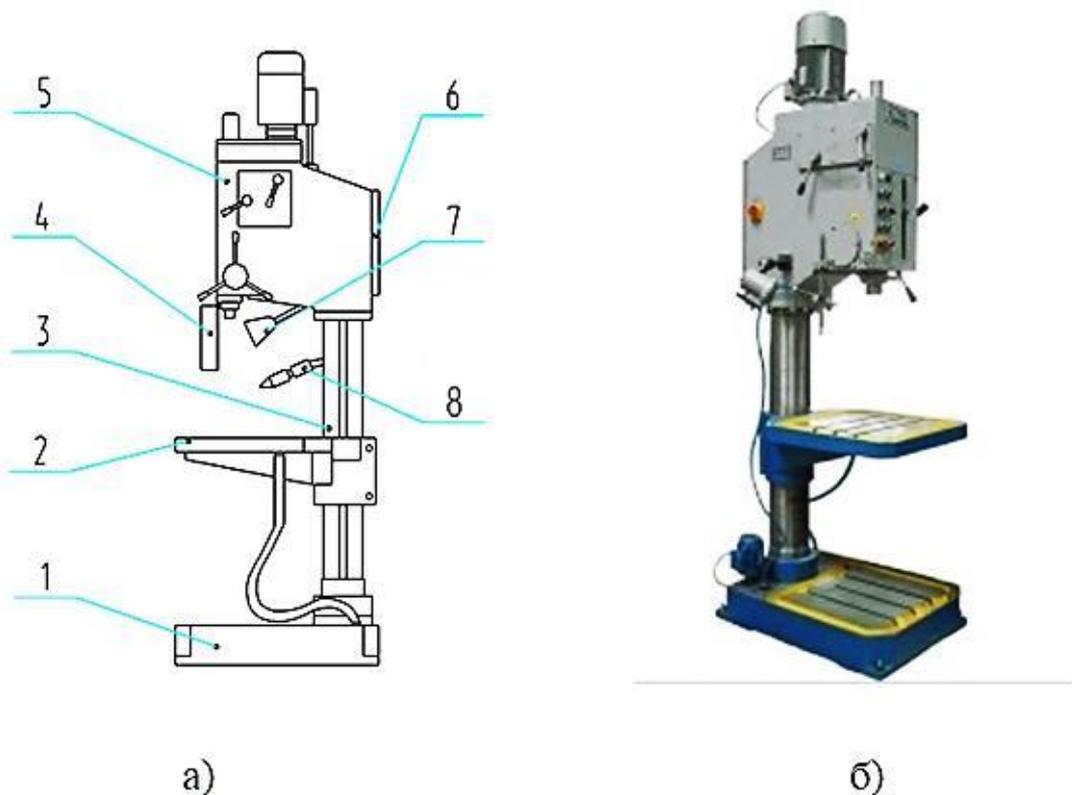
Countersinking is a semi-pure mechanical method of processing a workpiece using a suitable tool. Processing in this way is carried out in cases of increasing the diameter of the hole, calibrating it, cleaning it from burrs or reducing stiffness.

Reaming is a processing method similar to countersinking. The difference between them is that drilling is considered final, finished and is performed after using a drill and a countersink. With the help of this method, the vertical processing of the inner surface of the hole can be done very precisely remove

allowance in the form of the thinnest shavings. Reaming is necessary to obtain bearing mounting holes, plunger holes, reduce surface roughness, and prepare for threading.

One of the subtypes of vertical metal processing is radial drilling [2]. Compared to vertical drilling machines, the drill is moved relative to the workpiece, and the workpiece itself is fixed on the machine, and this makes it possible to process large workpieces.

The vertical drilling machine 2T150, which is shown in Fig. 1.1, is a representative of drilling machines, the processing of parts on which is performed with both manual and mechanical spindle feeding.



1 – base; 2 – table; 3 – column; 4 – fence; 5 – drill head; 6 – electrical equipment;
7 – lamp; 8 - cooling

a) structure of the machine:

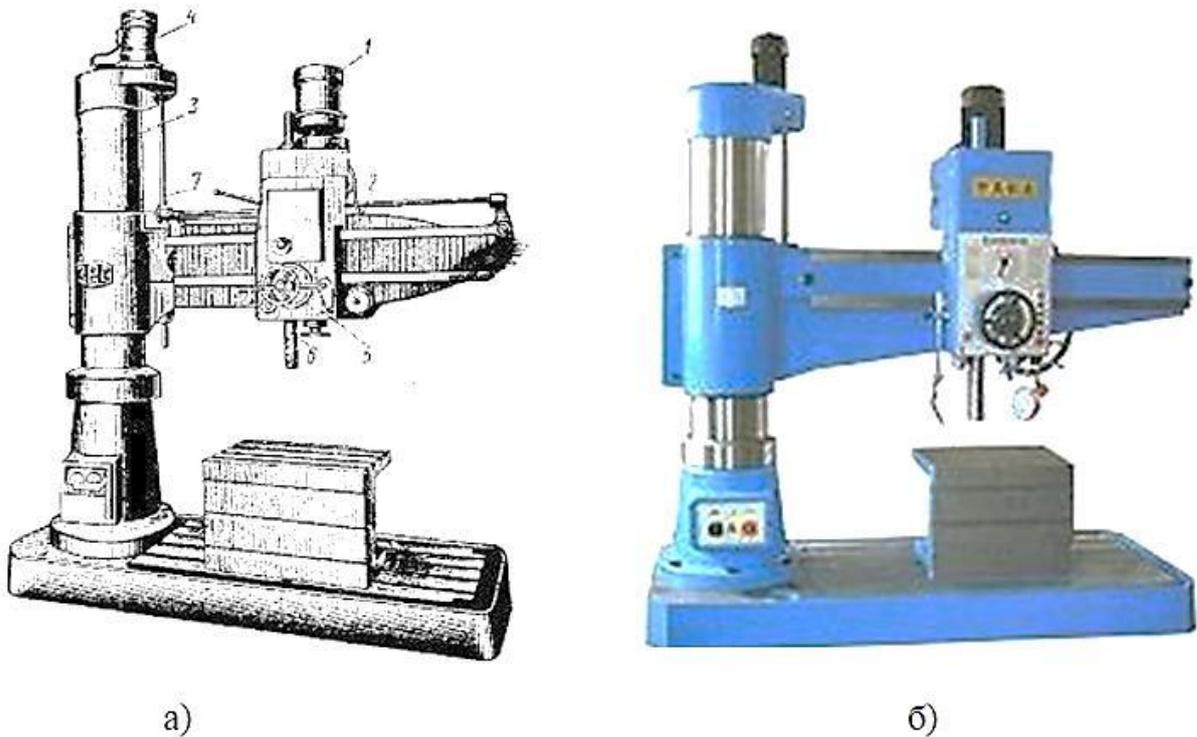
b) appearance

Figure 1.1 – Vertical drilling machine model 2T150

The main nodal parts of the machine are located on a huge bed equipped with vertical guides. These guides move the table on which the drilling head is located [1].

An electric motor, a gearbox, a feed mechanism and a spindle are installed on the cast-iron drilling head. Cartridges of various designs and purposes are attached to the spindle. To turn on and off, speed control switch is provided. The drill is fed in one way: manually through the steering wheel or mechanically.

Radial drilling machine has a more complex structure and significant capabilities [1]. The spindle of this type of machine can be moved to any point of the horizontal workpiece. But in addition, the principle of operation and structure are no different from the entire set of hand drills. Consider the radial drilling machine 2A554, which is shown in Fig. 1.2.



1 - electric motor; 2 - cross-arm; 3 - column; 4 - electric motor; 5 - spindle head;
6 - spindle

a) structure of the machine:

b) appearance

Figure 1.2 - Radial drilling machine 2A554

This machine is designed for drilling, countersinking, trimming the ends in both directions, unfolding, boring holes and cutting threads.

The sequence of operations on this machine is as follows: first, the workpiece is fixed on the foundation base and then, using the rotating movement of the spindle or drilling head with several spindles, its processing is carried out. When making one hole after another, the spindle or drilling head is moved along with the traverse around the column, while the traverse moves vertically along the column guides. The spindle is rotated and supplied by the motor 1. Vertical movement of cross-arm 2 along column 3 is performed from electric motor 4. Regarding the structure of the drilling head, it can be added that it contains hydraulic mechanisms for switching and speed and feed boxes.

Horizontal drilling there is a drilling machine of this type, in which the spindle is installed parallel to the floor [1]. The structure of the machine as a whole is similar in design to a vertical drilling machine with a difference in spatial placement. The appearance of the horizontal drilling machine is shown in Fig. 1.3.



Figure 1.3 - Horizontal drilling machine SvGD

Consider machine control systems. Automatic Machine Control System (ACMS) is a set of technologies and software designed to automate machine control processes. It allows you to programmatically control various parameters of the machine, such as the speed of rotation of tools, material supply, machining accuracy, etc.

This system can use various control methods such as numerical control (CNC), program control (PLC), process visualization systems and sensor systems to ensure machining accuracy and machine efficiency.

1.1.1 Control principles in drilling group machines

If the process of processing the object of labor is repeated many times (for example, the process of processing parts in mass production), that is, only the same parts are processed on the machines, then the movement of the machine's working mechanism (the law of process control) will repeat the cycle many times, remaining constant [3]. In this case, the number of predefined control techniques is limited, and simple automatic devices can be used to perform them. With continuous production, products often change (somewhere from 2 to 40 different processed blanks per month), so you need to be able to reconfigure the work of machines, presses, etc. In such cases, a more complex system of additional equipment of the machine is required.

A set of controlled objects (machines) and automatic control devices (without operator participation) (a set of means for collecting, processing, transmitting information and generating control commands), whose actions are aimed at improving the performance of control objects and are an automatic control system [3].

The automatic control system should form with great accuracy the execution of commands for the movement of the working bodies of the machine tools, the synchronism of their movement in different cycles, ensure the speed of transmission and execution of the commands themselves, the ability to execute a significant number of instructions (changing the supply and speed of rotation of the spindle, changing the position of the turret). The cost-effectiveness of the process

is ensured by the simplicity of the design, reliability, the ability to quickly reconfigure and the low cost of the CAC components. The automatic control system will justify itself only if it provides the necessary machining accuracy, performance and economy. The cost of parts processed in this way will be lower than without the use of the system. ACES differ in such factors as the degree of centralization of control, the type of software carrier, the mode of influence, the presence of feedback, the principle of synchronization of the movement of the operating mechanism, the number of controlled coordinates, etc.

Having considered the types of control systems, we can say that each of them has its advantages and disadvantages, namely [3]:

1) Centralized systems have a central command post (camshaft, control unit), which is responsible for the operation of the machine or automatic line. The system is simple and reliable in operation. To turn off the machine in cases where commands from the central command point cannot be executed, which leads to damage or damage to the machine, the machine must have additional safety devices.

2) With a decentralized system, control is carried out using separate devices of the machine or the flow line. This type of control is performed through various equipment associated with a particular device. Typically, such equipment are track switches and switches that are turned on and off by moving parts of the machine or automated line. All drives are connected to the switching system, and the operating mechanism can perform the following action only after the completion of the previous action. In this system, a significant number of switches are in the working area of the machines and are contaminated with cutting fluid and dust, which causes damage, thereby affecting the reliability of the control system.

3) Mixed control system combines centralized and decentralized control systems. Specific process nodes are managed decentrally, while others are managed by a central command post. In the event of an accident, the central command post stops issuing commands. For example, the camshaft must stop

when the limit switch notifies you that the previous action of the actuator is not yet complete.

1.1.2 Distribution of control systems by methods of influence on machine (machine) operating mechanisms

According to the method of influencing the working mechanism of the machine, the control systems are divided into continuous and discrete (intermittent) [3]. In a continuous control system, a command is a continuous function of time and a controlled signal. In systems of periodic (discrete) control, given commands come in separate pulses at certain time intervals.

In some cases, automatic control systems do not respond to changes in the characteristics of the process itself, so information about the input process is not supported. For example, if when a part is rotated, its diameter increases due to the operation of the tool, the system does not respond to this change and the processing will continue until the intervention of the fixer, who must correct the position of the tool or install a new one.

An open system can be considered a system in which there is no connection between the control process and its passage. The system is considered closed or adapted if the connection between the control process and its passage is available.

If there is a need to control the process in which the parameters must be strictly observed, then a closed control system should be used. In such a system, there is a need to obtain information about the course of the process, that is, the existence of feedback. These are feedback systems. For example, during the grinding of a part, when the operation of the grinding wheel increases the size of the workpiece by a certain amount, automatic adjustment of the position of the grinding wheel is activated (so that the spindle is supplied with it) and the wear of the wheel can be compensated. Such automatic regulators (auto-controllers) make it possible to quickly take into account and correct deviations from the given process characteristics, that is, to carry out the execution of exact replacement parts [3]. The use of automatic control devices deprives workers (adjusters) of the task of changing the position of tools on the machines, which reduces the time for

setting up the machine, so that the adjusters can repair more machines, that is, increase the productivity of workers.

There is a defined sequence for each individual control command. Messages (pulses, signals, commands) required to perform controlled movements are issued when the parameters to be responded to are changed. For example, when the workpiece is fed into the chuck, the air drive handle must be rotated to secure the workpiece in the chuck of the machine. In this example, the direct execution of the control movement consists in turning the handle of the pneumatic drive to clamp the workpiece [3].

Sometimes, after issuing a command requiring a certain control action before execution, an intermediate action is necessary. For example, after the grinding machine stop command appears, when the part reaches a given size, the command does not need to be executed immediately, and the exit process delays it.

Therefore, in any control order, two or three phases can be distinguished - the appearance of a signal to perform work (command), its immediate execution and intermediate actions, if necessary.

1.1.3 Basic structure of the control system

The control system contains two main units (see Figure 1.4): control object and control device, sometimes also called regulator [4]. Based on one or more predetermined actions $Y(t)$ determining the control sequence, the control device generates a target action $G(t)$ and maintains at a predetermined level or changes the state $Y(t)$ according to a certain law, the value of which can be displayed at its output through the corresponding signal $y(t)$. The control device is faced with the task of ensuring the specified quality of the system operation in all practically important modes, especially when external disturbances and instability factors $X(t)$ affect the object. Management devices are created by system developers based on knowledge of the properties of managed objects and mandatory system tasks.

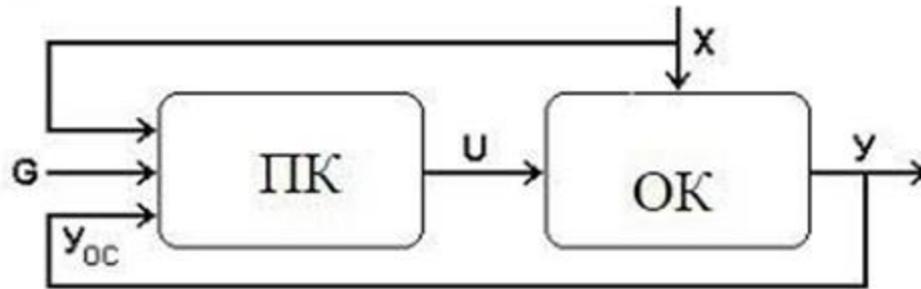


Figure 1.4 - Control system of formal automation object

External communications of the control object are shown in Fig. 1.4, where X is the channel of the medium action on the object and the control device, Y is the channel of the object action on the medium or the information channel of the state of the object, U is the channel of the control action on the object, G is the setting action, Y_{oc} is the feedback signal [4].

Maintaining a certain pattern of change in one or more physical parameters of the process occurring in the control object is one of the main tasks of management. These parameters are called controllable (direction of movement of the tool, liquid level, temperature, pressure).

The control object always contains a control body, under the action of which the parameters of the control object (resistors, valve, shutter, etc.) are influenced. The physical quantity $U(t)$ at the input of the control is called the input quantity or the control action on the object.

The structure of the control object necessarily includes a sensitive element [4], which converts the controlled value into a proportional value suitable for use in a control system. The $Y(t)$ value at the output of the sensor is called the output value of the control object. In most cases, it is an electrical signal (current, voltage) or mechanical movement. Thermocouples, tachometers, levers, pressure sensors, position sensors and more can be used as a sensitive element.

Control action $U(t)$ is performed by control device and acts on object control element to maintain required value of controlled value. The control action can be carried out by motors, electromagnets. The structure of the control system also

contains a setting unit. It generates a program for changing the control action, namely, it gives a setting signal $U(t)$. The setting unit is implemented as a separate device generating a signal $G(t)$ at the input of the control device, and may be placed in the middle of the control device or not exist at all. The clock pendulum may be an example of a master block.

The value of $X(t)$, which has an effect on the control object and, if necessary, on the control device, is called perturbation [4]. It shows the effect of changes in the environment, load, etc. on the initial value of $Y(t)$.

Generally speaking, all communications in the control system can be multi-channel (multi-dimensional), and the action itself is an information signal on a material carrier of any physical nature (electrical, magnetic, mechanical, optical, etc.).

The main types of systems according to the principles and patterns of operation of the control device are divided into: stable systems, software, tracking and self-regulating, among which extreme systems, optimal systems and adaptive systems can be distinguished.

Systems for ensuring stability (stabilization) maintain unchanged the value of the controlled value in all types of disturbances, namely, $y(t) = \text{const}$. The setting unit generates an exemplary signal with which the output value is compared. Typically, the setting block allows you to adjust the sample signal, which makes it possible to change the value of the original value.

The software system provides changes in the controlled parameter corresponding to the program specified at the input of the control device or generated by the setting unit. Systems of this type can represent players, software machines, etc. There are systems with time programs that provide $y = f(t)$, and systems with spatial programs that provide $y = f(x)$ and are used in cases where it is important to obtain the desired trajectory in space at the output of the system.

The tracking system differs from the software system in that the program $y=f(t)$ or $y = f(x)$ is not known in advance. A device that tracks any changes in

external parameters acts as a setting block. These changes will determine changes to the original $y(t)$ value.

The systems of the considered three types can be constructed according to any of the three principles of control (open system, compensation, feedback). Their characteristic is that the output value (system state) must correspond to a given value uniquely determined at any time.

Self-regulating systems are characterized by an active setting unit, which determines the value of the controlled value, which is in a sense optimal.

In extreme systems, the output parameter must always be equal to the extreme value of all possible values, which is indefinite in advance and can change. To find them, the system performs small experimental movements and analyzes the behavior of the output parameter on these events, after which control actions are generated that bring the output value closer to the extreme value. The process is continuous and is performed only through feedback.

An optimal system is a more complex variation of an extreme system. Here, in general, there is a complex processing of information about the nature of changes in initial values and perturbations, about the nature of the influence of control changes on initial values is possible with the involvement of theoretical and heuristic information. The presence of computer technology is the main difference between extreme systems. These systems can apply any of the three basic principles of control.

In an adaptive system, you can automatically adjust parameters or change the structure of the system to adapt to changing external conditions. Therefore, there are adaptive systems that self-regulate and self-organize.

1.1.4 Types of control systems according to the principle of operation

There are many options for automatic control systems for machines with different principles of operation and methods of information processing. Automatic control systems can be divided into three groups [3]:

- 1) According to the type of program carrier, automatic control systems of machine tools are analog, numerical and cyclic. The analog system uses physical

simulation of processing components as software. Templates, copiers are used as physical simulators (software media). To provide information in a numerical system, a combination of numerical codes is used that describes the outline of the part and the main technical functions that it performs. Punches, magnetic tapes and storage devices are used as program carriers. In a loop system, plug-in panels, mounting pads, etc. are used as software media for allocating a series of base loops, and on this basis, motion values in the main loop are programmed to build a complete loop of processing details.

2) Based on the influence of input information, all automatic control systems are divided into two groups:

- Automatic control systems included in the first group operate on the basis of complete, well-developed control programs. Changes or corrections to them are not allowed. This group includes camshaft control systems, copying systems, cycle control systems and some numerical program control systems.

- The automatic control systems included in the second group operate on the basis of incomplete input data or data that can be changed during processing based on the involvement of current technical information about the controlled process in order to improve the technological processing of the workpiece. This group includes control systems in which optimal control: is carried out by changing control actions; is achieved by changing the values of the machine-instrument-tool-blank system; is performed by changing the sequence of control execution.

3) By the presence of feedback, automatic control systems are divided into open and closed.

In an open system (see Figure 1.5) there is only one channel of information receipt from the control program to the part processing operation, thanks to which the information entered in the program carrier is transmitted to the part. We draw attention to the fact that in this system there is no check of the real state of the executive body. The quality of the work performed will depend on the exact movements of the mechanisms.

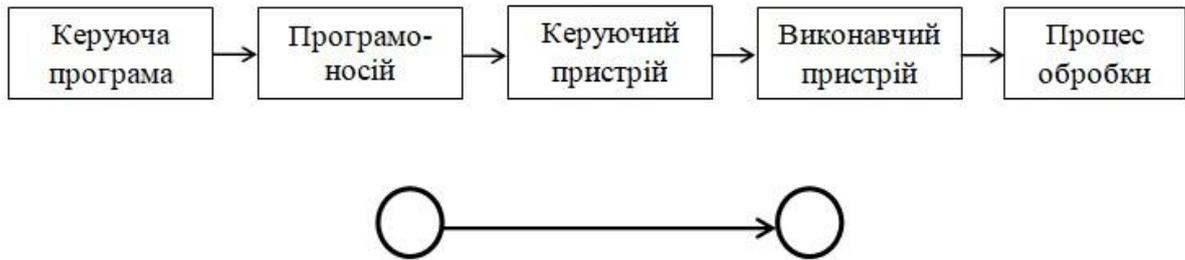


Figure 1.5 - Open automatic control system

Camshaft system, copy mechanical system, CNC systems with flywheel supply wire are open control systems.

Closed systems use several channels of information provision, at which one of them is direct, and others are additional channels of information. Closed systems can be divided into two types:

- 1) Actuator position feedback control system (see Fig.1.6).

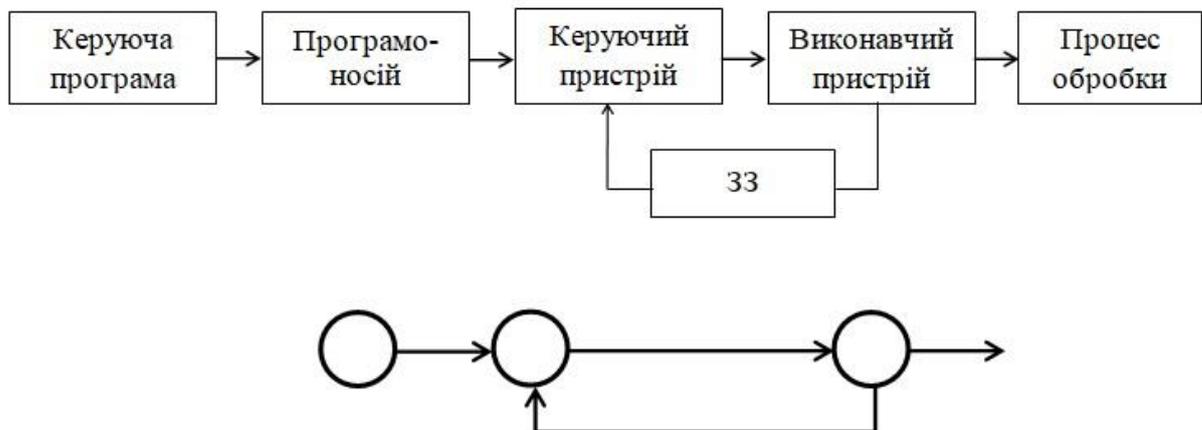


Figure 1.6 - Closed control system by actuator position

This type of system includes a tracking copying system, a closed-type CNC system.

- 2) The control system with position feedback and with the presence of sensors for measuring the parameters of the part processing process for making changes and correcting the forward information channel (see Fig.1.7).

This type of system includes numerical control systems that contain additional blocks that solve the issue of optimizing the part processing process.

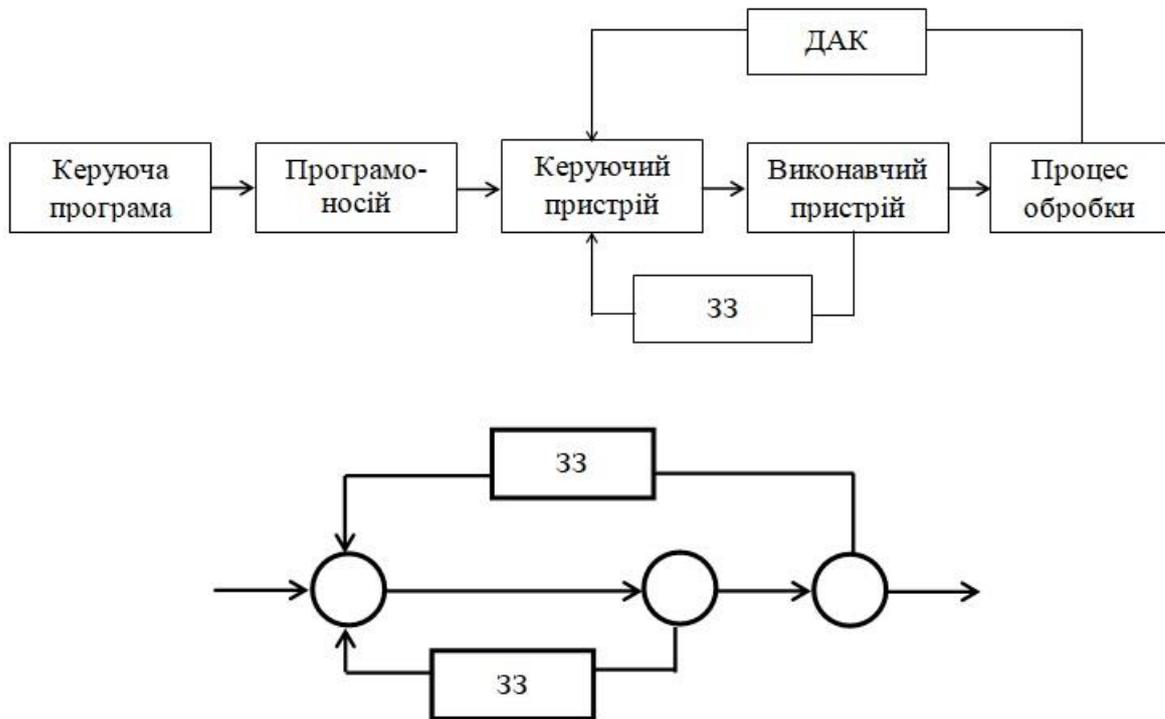
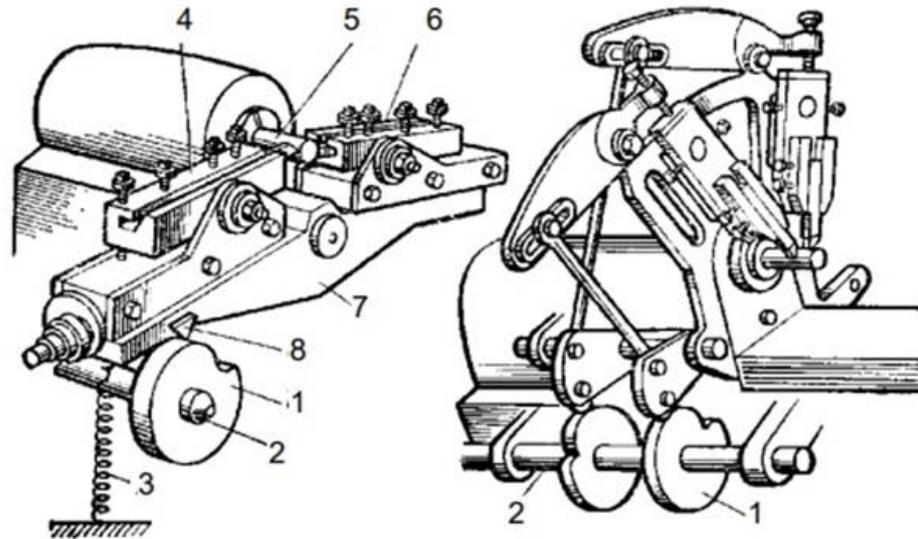


Figure 1.7 - Closed automatic control system by the position of the actuator and control of the cutting process parameters

Each of the automatic control systems contains devices connected to specific working elements of the machine [3].

Quite common in mechanical engineering control system with a camshaft. It has many positive aspects, and the main thing is a significant centralization of the sensors-fists located on the camshaft, because this provides a clear synchronization of the provision of control signals for driving the working bodies of the machine. The working body begins to perform the necessary movements after calculating the profile of the cam (lifting, lowering). Also, cams, the structure of which can be found in Fig. 1.8, in addition to the control function, use levers to move the working elements of the machine.



1 - cam; 2 - camshaft; 3 - spring; 4 - front caliper; 5 - workpiece; 6 - rear caliper;
7 - balance lever; 8 - knife

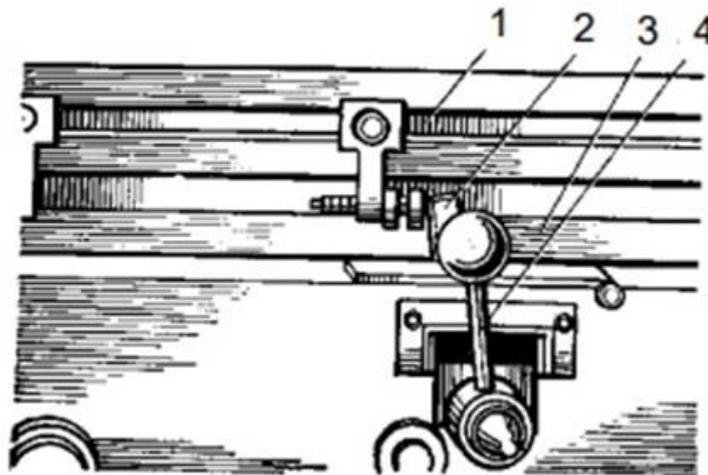
Figure 1.8 - Cam mechanism:

This system is characterized by reliability, provides an opportunity to make calculations in advance and at a particular time to perform a working cycle of varying degrees of complexity. But the system also has a drawback - this is the lack of feedback, that is, the system is open, which leads to the urgent need for a significant number of checks of finished parts for timely maintenance of the machine. The adjustment worker has the opportunity to inspect a small number of such machines (no more than 10) [3]. It should be borne in mind that it takes a lot of time to reconfigure the machine to another part, and therefore the system with the camshaft is carried out in large-scale and mass production. To speed up the reconfiguration, devices are used to change the direction of movement of the working body without changing the cams. Also in mass production, you can replace the entire cam block with a camshaft.

When using a control system with stops, it should be noted that the stop, which is a program carrier, must be fixed in a certain position on the machine [3]. The command to change the direction or speed of movement occurs when the moving part of the machine approaches the stop, while the machine is stopped.

Only then will the actuators perform a change in the movement of the machine parts.

Adjustment of direction of table movement to its reverse by means of stops is performed on grinding machine (see Figure 1.9). Advantages of the control system with stops are remote control, simple structure of the structure, low cost. It should be noted that the lack of the ability to control the placement of the executive body during its movement creates certain difficulties in synchronizing the execution of commands for several working devices and is a significant drawback of this control system. The proposed control system is recommended to use with a small number of working bodies, for example, when automating universal machines. This system is used on automatic lines.



1 - stop; 2 - projection of lever, which presses stop; 3 - lever head; 4 - levers

Figure 1.9 - Control by stops:

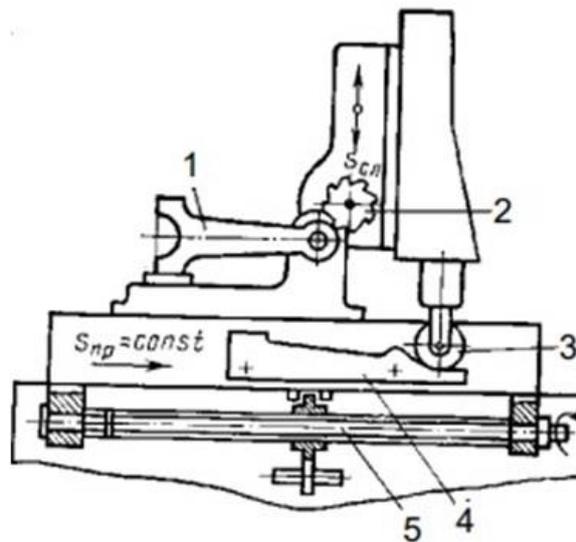
In the control system with copiers, the program carrier is a copier (made of plastic, steel) placed on the machine. The direction of movement of the working organ of the machine is performed according to the profile of the copier [3].

Copying control systems are divided into two groups:

The first group. The cam is firmly fixed on the working body of the machine and moves the assembly with the tool and the feed mechanism in one or two coordinates. In this case, the movement of the second and third coordinates is

carried out by the machine feed mechanism. The diagram of the power control system of the copying control can be found in Fig. 1.10).

The second group. The copier only transmits information and carries a slight load. The influence on the direction of movement is performed by the corresponding converter and the power drive of the machine.



1 - the part to be machined; 2 - milling cutter; 3 shows a probe roller which is connected to a spindle head of a milling machine; 4 - copier; 5 - table feed drive

Figure 1.10 - Copy control power system diagram:

For the control system of the first group, the copier's reaction to the influence of the information supply is slow and this leads to a decrease in the accuracy of processing subsequent blanks. The system has a steel, heat-treated copier, which is characterized by high wear resistance and strength [3]. For the control system of the second group, the copier does not require significant strength and wear resistance, has a simpler structure, lower cost and high accuracy of machining parts. Combined control systems are also used. These include pneumohydraulic, hydraulic, electric, electromechanical, combined electrohydraulic copying systems. In combined control systems (see Fig. 1.11) the probe 5 placed in the command driving mechanism of the copying head 4 moves along the copier 6. In this case, the table of the machine performs movement with a

constant predetermined feed $S_{\text{зад}}$. Probe 5, depending on the angle of the profile of the copier α receives a feed $S_{\text{сл}}$, which is transmitted to the tool 1 by the executive body - power motor 2. Through the feedback 3, the vertical movement of the actuator 2 is instantly transmitted to the copy head 4.

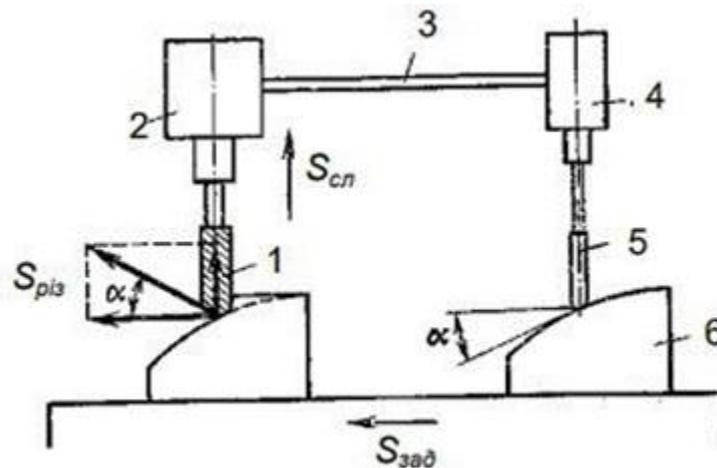


Figure 1.11 - Tracing Copy System Diagram

The universal machine can have a control system with built-in copiers. When using this system, the machine is quickly reconfigured to process the second blanks, but the disadvantage is the significant cost of producing copiers and the ability to automate only working moves.

1.2 Brief technical characteristics and description of the main units of the machine

The 2M57-2 machine is a universal metalworking machine that is widely used in manufacturing plants for various processing operations of metal products. The main technical characteristics of the 2M57-2 machine include [5]:

Machine type: universal machine.

Maximum processing diameter: depending on the specific modification, usually up to 570 mm.

Maximum processing length: also depending on the modification, usually up to 2000 mm.

Central height of the machine: approximately 285 mm.

Power of the main drive: depends on the specific modification, usually in the range of 7.5 - 11 kW.

Main spindle speed: Has several speed modes, usually 20 to 1600 rpm.

Spindle type: DIN 55027 landing spindle.

Spindle cone: Morse 5.

Machine weight: depends on the modification, usually in the range from 2500 to 4000 kg.

The machine 2M57 has the following main units [5]:

- Steel base on which all other units of the machine are located. The cradle provides stable support and rigidity of the entire structure.
- Main spindle: This is the main rotating shaft of the machine, which performs the processing of parts. The spindle rotates the cutter or tool required to process the metal. The spindle speed can be adjusted depending on the processing requirements.
- Frame: This is a rigid metal frame that holds the cradle and other units of the machine. The frame provides stable support and shock absorption of vibrations during operation of the machine.
- Carriage: This is a movable structure that moves along the bed and contains a tool for processing parts. The carriage may have different driving modes such as feed and return.
- A unit that allows you to adjust the angle of the tool to perform various operations, such as threading or milling.
- A mechanism with different gears that allows you to adjust the spindle speed and tool feed. It contains elements such as clutch, gears, shaft and various regulators.

– An electric motor that drives the main spindle and other moving parts of the machine.

In addition to the above technical characteristics, the machine provides the following.

Processing materials: The 2M57-2 machine is designed to work with different types of materials such as metal, wood, plastic, etc. This gives ample opportunities in the processing of various products and parts.

Load and power: The 2M57-2 machine has a certain load capacity and power that affect its working capacity. This information helps users determine how large and complex products can be processed on this machine.

Control: The 2M57-2 machine can have different control systems, including mechanical, electrical or software control. This affects the ease of use and the ability to configure working parameters.

Availability of additional accessories: In some models of the machine, additional accessories may 2M57-2 be available that expand its functionality. It can be levers, locks, nozzles, etc., which facilitate the processing of parts and provide more flexibility in work.

This additional information will help users better assess the capabilities and suitability of the machine 2M57-2 to their specific requirements and tasks.

1.3 Requirements for electric drive and automation

Requirements for the electric drive and automation of the machine may 2M57 depend on the specific model and manufacturer. However, the basic requirements include the following [6].

The 2M57-2 machine is usually powered by an electrical network with a voltage of 380 V three-phase current. It is important to observe the correct voltage and phase balancing for efficient operation of the machine.

The machine is equipped with an electric motor for driving the main spindle and other moving units. Motor requirements include power, speed, and torque.

Typically, asynchronous three-phase motors with appropriate characteristics are used to perform various operations.

The machine can 2M57-2 be equipped with an automatic control system that allows you to program the sequence of operations and control the movements of the machine. This may include a numerical programming system (CNC) or other types of automated control systems.

The machine can have a control panel with buttons, switches and indicators for starting, stopping, speed control, feed control and other functions of the machine.

It is important that the electric drive and automation of the machine provide appropriate safety measures such as overload protection, system emergency shutdown, short circuit protection and other measures to prevent accidents and equipment damage.

Additional automation requirements and recommendations for the 2M57-2 machine may include the following:

The presence of an automatic control system: The 2M57-2 machine can be equipped with an automatic control system that allows you to program the sequence of operations and control the movements of the machine. This greatly facilitates the work and provides greater accuracy and repeatability of operations.

User interface: The control panel of the machine should 2M57-2 be clear and user-friendly. Buttons, switches and indicators should be located conveniently and have clear icons or inscriptions.

Programmability: It is recommended to be able to program the sequence of operations and motion parameters of the machine 2M57-2. This allows you to customize it to perform various tasks and optimize the production process.

Saving settings: It is important to be able to save and restore the 2M57-2 machine settings. This allows you to conveniently switch between different types of work and save settings for specific tasks.

Protection against erroneous operations: It is recommended to have protection mechanisms against erroneous operations, such as blocking certain functions or warning signals when incorrect settings.

Overload prevention: The automation of the machine must 2M57-2 have an overload protection system. This may include monitoring of power, temperature or load and automatic shutdown in case of exceeding the permissible limits.

1.4 Selection of current type and supply voltage value

The choice of the type of current and the voltage of the power supply of the machine 2M57-2 usually depends on the established standards of electricity supply in the country or region where it will be operated.

Usually, machines 2M57-2 operate on three-phase current, or AC [7]. Most 2M57-2 machines are designed to work with a voltage of 380 V. This is the standard voltage for many countries, including the European Union and some other countries. However, other regions, such as North America, may use other voltage standards, such as 440 V or 480 V.

Most countries have a standard frequency of 50 Hz or 60 Hz for power supply. The machine can 2M57-2 be designed to work with both frequencies, and the manufacturer can adapt the machine to the appropriate standard depending on the region in which it will be operated.

Recommendations for choosing the type of current and the magnitude of the power supply voltage of the machine 2M57-2 depending on the use of solar panels and inverters may include the following:

Use of solar panels. If you plan to power the machine 2M57-2 from solar panels, it is important to take into account their characteristics and system requirements. Since solar panels generate direct current (DC), you might consider using an intermediate alternating current (AC) inverter to convert the direct current to the alternating current required by the machine.

Select the inverter. When choosing an inverter for a 2M57-2 machine with solar panels, make sure that its characteristics correspond to the power of the machine and its electrical requirements. It is important to note that the inverter should be able to convert direct current from solar panels to alternating current of the desired voltage and frequency that correspond to the machine.

Mains connection: If the machine is 2M57-2 planned to be used in combination with solar panels and mains power, it is recommended to use a "hybrid" power supply system. Such a system allows you to switch between solar energy and mains power depending on the availability of sunlight and the needs of the machine. Usually, special controllers or inverters are used for such systems, which provide a smooth transition between energy sources.

When choosing the type of current and the voltage of the power supply network for a 2M57-2 machine with solar panels and inverters, the following factors should be considered:

Nominal power of the machine. Before choosing the type of current and voltage, it is necessary to determine the rated power of the 2M57-2 machine. This will help determine the appropriate power of the solar panels and inverter to ensure efficient power supply.

Voltage and frequency standards: Explore voltage and frequency standards in the country or region where the solar panel 2M57-2 machine will be used. Verify that the selected solar panels and inverters support the appropriate standards.

Power supply. If the machine is planned to be connected to the mains power supply, the characteristics of the network, such as voltage and frequency, should be taken into account in order to select the appropriate current type and voltage value for the machine and ensure its compatibility with the network infrastructure.

Location and zoning: Consider the location of the machine 2M57-2 with solar panels and inverters. In some countries or regions, there may be restrictions on the use of solar energy, as well as rules on the zoning and certification of solar

systems. Compliance with these rules is important for the safe and legitimate operation of the system.

1.5 Selection of electric drive system, speed control and braking methods

When choosing an electric drive system for a drilling machine, several factors must be considered to ensure efficient and reliable operation. Here are some key aspects to consider:

- Type of work and requirements: Consider what type of drilling you will perform on the machine and what are the requirements for speed, torque and accuracy you have. For example, if you need high drilling speeds, it may be advisable to choose a variable speed system or inverter drive.
- Machine capabilities: Make sure that the selected electric drive system is compatible with the drilling machine. Check its input parameters such as supply voltage, power, phase characteristics, etc., and ensure that the selected system meets these requirements.
- Drive type: There are different types of electric drives such as direct current (DC), alternating current (AC) or hybrid systems. Each of these types has its advantages and limitations. For example, DC drives can provide high torque at low speeds, while AC drives are usually more affordable and easy to use.
- Control and automation: Consider the possibilities of controlling and automating the electric drive system. For example, whether you need the ability to program operating modes, speed control or integration with other automatic systems.

Section 1 Conclusion

A comparative analysis of control systems of drilling machines was carried out and features of similar machines were determined, which will allow modernizing the investigated machine. The features of the choice of the electric drive system, methods of speed control and braking are clarified.

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

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

10 листопада 2023 року



Полтава 2023

ЗМІСТ

М.Ю. Пророк, Б.Р. Боряк

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ АЛГОРИТМІВ ВІДСТЕЖЕННЯ НА ВІДЕО З ОБ'ЄКТАМИ З ВИСОКОЮ ДИНАМІКОЮ РУХУ, НАЯВНИХ В OPENCV 4.8..... 9

О. Shefer, О. Yevdochenko

ASSESSMENT OF THE EFFECT OF AN EXTRA SHORT ELECTROMAGNETIC PULSE ON A RADIO COMMUNICATION SYSTEM 12

О.С. Руденко

ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЙ ПРОТИДІЇ СИСТЕМАМ ПЕРЕДАЧІ З ПРЯМИМ РОЗШИРЕННЯМ СПЕКТРА..... 14

А.С. Стадніченко, О.А. Штена, Г.О. Шеїна

РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОННОЇ СИСТЕМИ ПОЗИЦЮВАННЯ ДЛЯ СОНЯЧНИХ ПАНЕЛЕЙ..... 16

Н.В. Єрмілова, В.В. Васильєва

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НОЖИЦЬ ГАРЯЧОГО РІЗАННЯ ЗАГОТОВОК В МЕТАЛУРГІЙНОМУ ВИРОБНИЦТВІ..... 18

О. Laktionov, М. Movin, I. Laktionova

RESEARCH ON THE ROLE OF THE SAFETY COMPONENT IN A ROBOTICS SYSTEM..... 20

М.О. Мурат

РОЛЬ ТЕЛЕМЕТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ В БЕЗПЛОТНИХ ЛІТАЛЬНИХ АПАРАТАХ: АНАЛІЗ ВАЖЛИВОСТІ ТА ФУНКЦІОНАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ СИСТЕМИ ТЕЛЕМЕТРИЧНОГО ЗВ'ЯЗКУ У ВІЙСЬКОВИХ БПЛА..... 21

В.В. Стьопкін, О.В. Колесник

ОСОБЛИВОСТІ МОДЕРНІЗАЦІЇ СИСТЕМ ГЕНЕРАТОР – ДВИГУН ПРОКАТНИХ СТАНІВ..... 23

О. Shefer, S. Myhal

RESEARCH OF EMISSIONS WHICH DETERMINATE THE QUALITY OF WORK OF TELECOMMUNICATIONS EQUIPMENT..... 25

Р.В. Захарченко, В.Ю. Курбала

ДОСЛІДЖЕННЯ ПЕРЕХІДНИХ ПРОЦЕСІВ У СИСТЕМІ «ІНВЕРТОР – АСИНХРОННИЙ ДВИГУН» ЕЛЕКТРОПРИВОДУ НАСОСНОЇ УСТАНОВКИ..... 27

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

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

УДК 621.593.2:681.51]-048.35

О.І. Лактіонов, к.т.н.,

І.В. Марченко, магістр

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ РАДІАЛЬНО-СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ 2М57-2 ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК

Енергетична незалежність країни потребує наявності відповідного промислового обладнання [1], зокрема металообробних верстатів, котрі дозволять виготовляти відповідну продукцію. Металообробні верстати, зокрема свердлильної групи [2], котрі використовуються на промислових підприємствах потребують термінової модернізації. Зважаючи на це, авторами запропоновано класичний підхід вирішення проблеми, котрий висвітлюється у магістерській роботі за темою «Модернізація електрообладнання радіально-свердлильного верстата моделі 2М57-2 та дослідження його характеристик».

Відповідно до календарного плану проєкту (11.10.23 – 13.12.23 р.) запропоновано наступні етапи вирішення проблеми. Етап 1. Аналіз існуючих досліджень щодо автоматизації верстатів. Етап 2. Опис технічних характеристик верстата. Етап 3. Розрахунок потужності двигунів. Етап 4. Розробка системи керування головного привода. Етап 5. Модернізація засобів автоматизації верстата. Етап 6. Аналіз отриманих результатів та прийняття рішень.

Таким чином, запропоновані ідеї дозволять частково вирішити проблематику енергетичної незалежності країни шляхом використання сучасного обладнання. Вказане обладнання споживатиме мінімум електроенергії, буде дешевшим за аналогічне обладнання та надійнішим.

ЛІТЕРАТУРА:

1. *Honcharuk I. Energy independence as a socio-economic phenomenon. Ekonomika ta derzhava. 2020. № 8. С. 71. URL: <https://doi.org/10.32702/2306-6806.2020.8.71> (дата звернення: 20.10.2023).*
2. *Machine tool Verification According to Machine Configuration [Електронний ресурс] / D. Acosta [та ін.] // Procedia Engineering. – 2013. – Т. 63. – С. 700–709. – Режим доступу: <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2013.08.262> (дата звернення: 21.10.2023). – Назва з екрана.*

MODERNIZATION OF THE ELECTRICAL EQUIPMENT OF THE RADIAL DRILLING MACHINE MODEL 2M57-2 AND INVESTIGATION OF ITS CHARACTERISTICS

O. Laktionov, PhD (Engineering),

I. Marchenko, master

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

Міністерство освіти і науки України
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

МОДЕРНІЗАЦІЯ ЕЛЕКТРООБЛАДНАННЯ
РАДІАЛЬНО-СВЕРДЛИЛЬНОГО ВЕРСТАТА МОДЕЛІ
2М57-2 ТА ДОСЛІДЖЕННЯ ЙОГО ХАРАКТЕРИСТИК

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав :

Студент 601МЕ групи

Керівник :

к.т.н., доцент

Ігор МАРЧЕНКО

Олександр ЛАКТИОНОВ

Полтава 2024

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Машинобудування належить до найпотужніших галузей народного господарства, забезпечує високу якість і точність виробів взагалі та оброблюваних поверхонь деталей машин зокрема.

Ефективне використання автоматизованих установок, роботизованих систем, оснащених мікропроцесорами або обчислювальними пристроями неможливе без створення сучасного інструментального спорядження підвищеної надійності, яке б забезпечувало економічне використання дорогої прогресивної техніки.



Ця обставина зумовлює підвищені вимоги до металорізальних інструментів, їх якості, ефективності. Тому майбутні фахівці в галузі металообробки повинні вміти проектувати різні види інструментів, а також вдосконалювати їх для верстатів-автоматів, автоматичних ліній, верстатів з ЧПК, швидко переналагоджувальних технологічних систем з урахуванням вимог до оброблюваних деталей, особливостей устаткування.

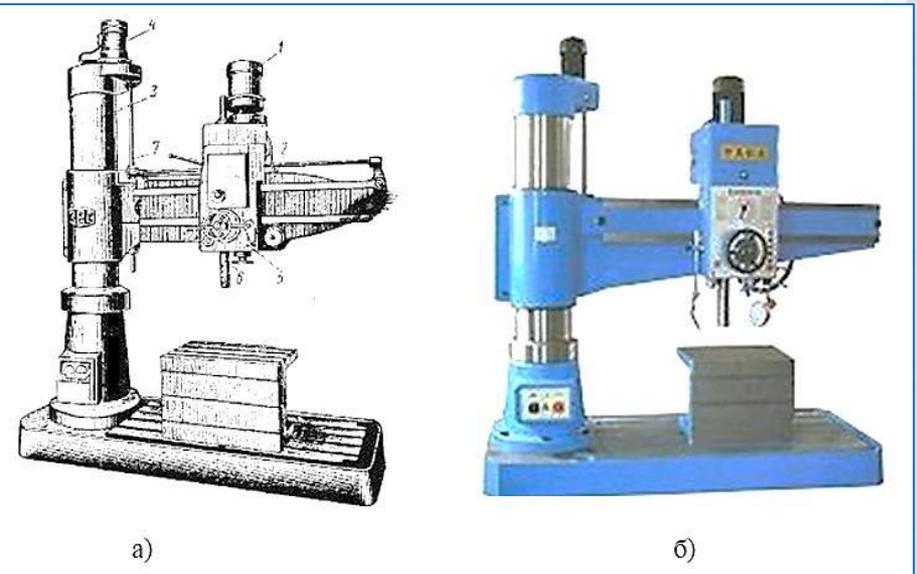
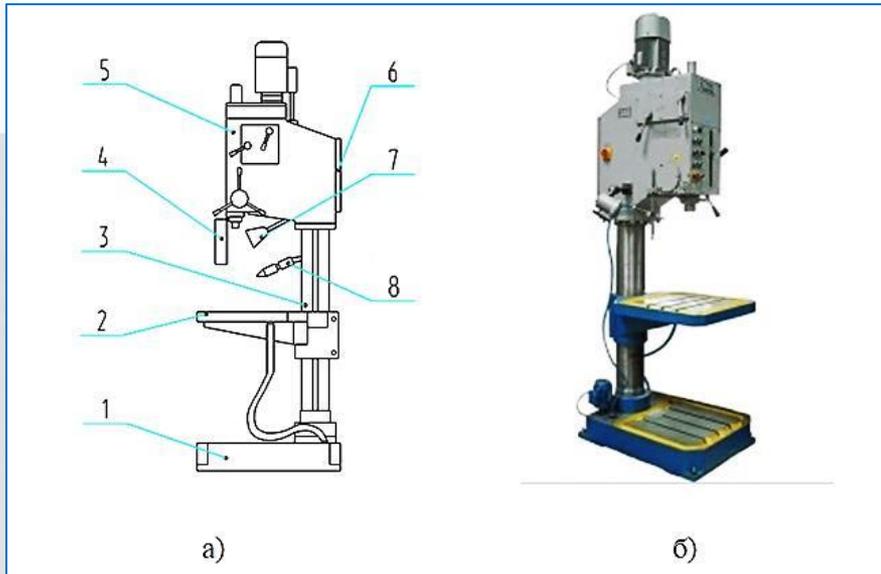
Задачею кваліфікаційної роботи є проведення аналізу роботи існуючих верстатів свердлильної групи та їх систем керування в цілому, розробка модернізації системи керування верстата.

Об'єкт дослідження. Процес удосконалення системи керування верстатом.

Предмет дослідження. Модернізація електрообладнання радіально-свердлильного верстата моделі 2М57-2.

Мета роботи: модернізація електрообладнання радіально-свердлильного верстата моделі 2М57-2 шляхом використання сучасних технологій.

ПОРІВНЯЛЬНИЙ АНАЛІЗ ВЕРСТАТІВ СВЕРДЛИЛЬНОЇ ГРУПИ



1 – основа; 2 – стіл; 3 – колона; 4 – огорожа;
5 – свердлильна головка; 6 – електрообладнання;
7 – світильник; 8 - охолодження

а) будова верстата; б) зовнішній вигляд

Вертикально-свердлильний верстат моделі 2Т150

Одним із підвидів вертикального оброблення металу є радіальне свердління. У порівнянні з вертикально-свердлильними верстатами свердло переміщується відносно деталі, що обробляється, а сама деталь, що обробляється, закріплюється на верстаті, і це дає можливість обробляти великогабаритні заготовки.

1 – електричний двигун; 2 – траверса; 3 – колона;
4 – електричний двигун; 5 – шпindelна бабка;
6 – шпindelь

а) будова верстата; б) зовнішній вигляд

Радіально-свердлильний верстат моделі 2А554

Радіально-свердлильний верстат має більш складну будову та значні можливості. Шпindelь цього типу верстатів можна переміщувати в будь-яку точку горизонтальної заготовки.

Схема загального вигляду верстата

Горизонтально-свердлильний є свердлильний верстат такого типу, в якого шпиндель встановлений паралельно до підлоги. Будова верстата в цілому схожа за конструкцією з вертикально-свердлильним верстатом з відмінністю у просторовому розміщенні.

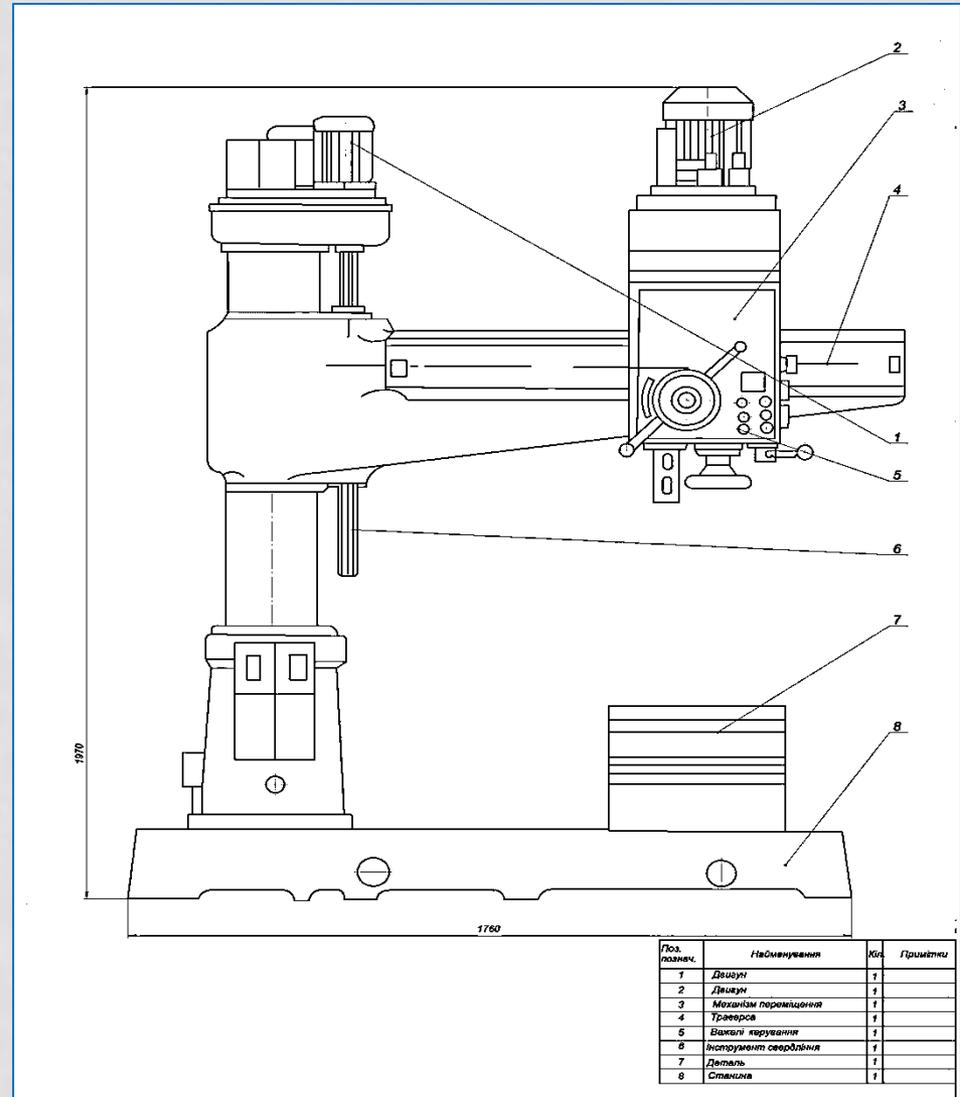
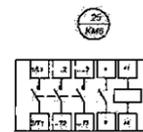
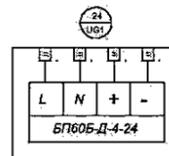
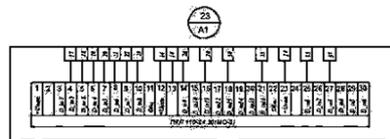
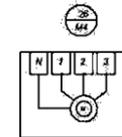
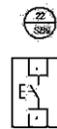
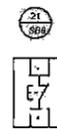
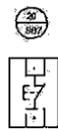
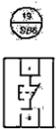
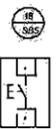
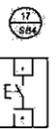
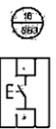
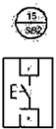
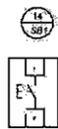
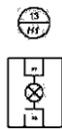
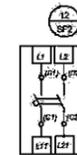
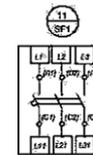
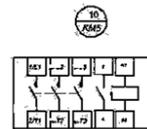
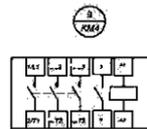
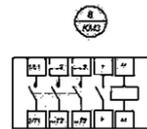
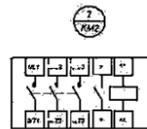
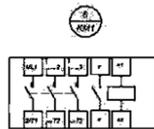
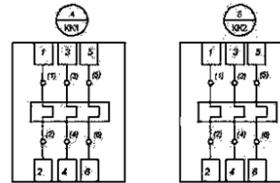
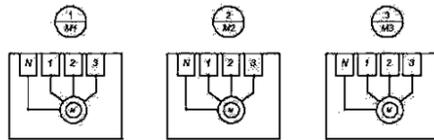
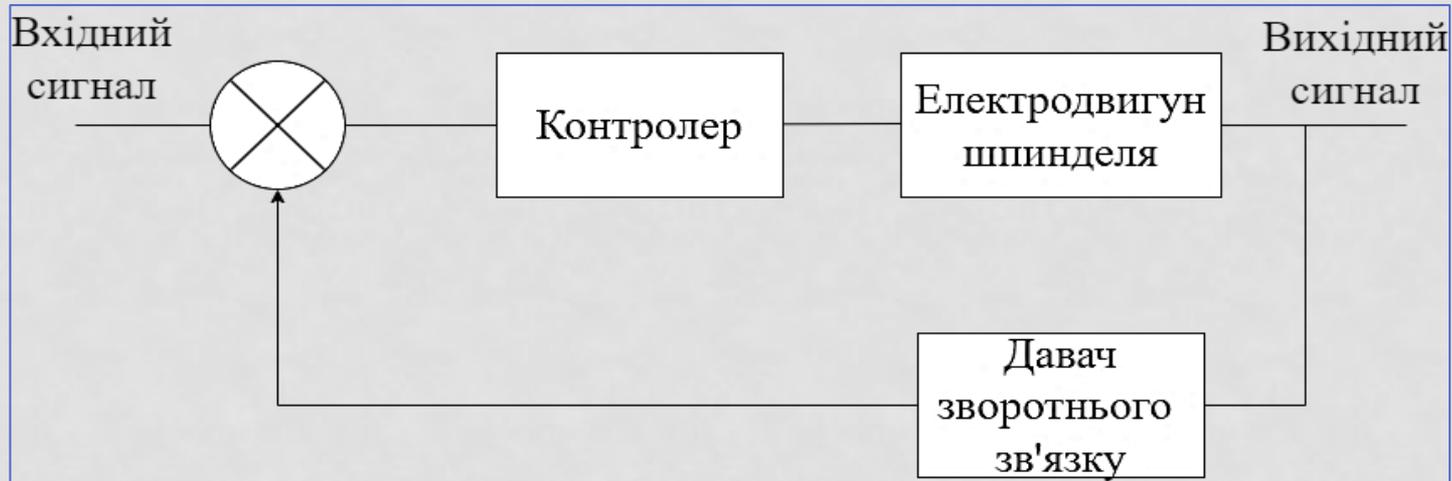


Схема монтажна верстата



Позначення	Найменування	К-т.	Примітка
М, МДМ	Асинхронний двигун з короткозамкнутим ротором	4	
A1	Термореле типу КТМ (КТМ 110-24/00-2)	1	
SB1-SB8	Кнопка керування моделі XB2-BA21	8	
KM1-KM6	Магнітний пускач	6	
KK1, KK2	Електропелюве реле	2	
ВЖ	Блок живлення	1	
SF1-SF2	Автоматичний вимикач	2	
VD1-VD3	Світло-Діод (місцево освітлення)	3	
HL1	Індикаційна лампа	1	

Структурна схема електродвигуна шпинделя свердлильного верстата 2М57-2 (узагальнений вигляд) та передавальна функція двигуна



При використанні крокового двигуна, у якості електродвигуна шпинделя, передавальна функція двигуна матиме вигляд

$$W(s) = \frac{2p^2 \cdot F \cdot n \cdot L_0}{s^2 \cdot J + s \cdot D + 2p^2 \cdot F \cdot n \cdot l_0}$$

де P – кількість пар полюсів;

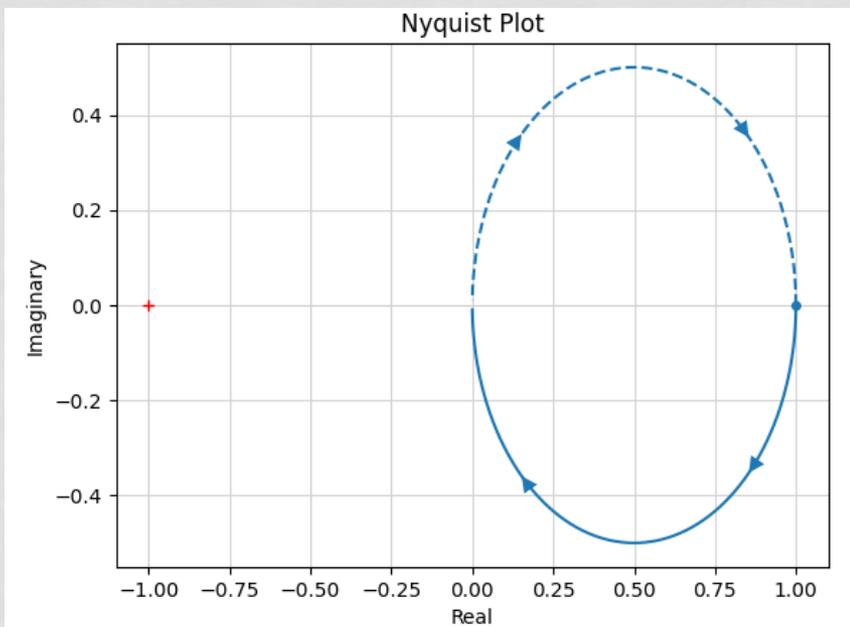
F – магнітний потік ($\text{Tл} \cdot \text{м}^2$);

L_0 – сила струму (А);

J – момент інерції ($\text{кг} \cdot \text{м}^2$);

D – коефіцієнт в'язкого тертя ($\text{Н} \cdot \text{м} \cdot \text{с} \cdot \text{рад}^{-1}$).

Загальна передавальна функція системи та її програмна реалізація



Криві Найквіста для цієї передавальної функції $W_p(s) = 1 / (1 + (W_{\text{контрол}} \cdot W_{\text{давача}}))$ на основі теоретичних даних. Базова програмна реалізація

```
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import control as ctl

# Задання передавальної функції
numerator = [1]
denominator = [1, 1] # 1 + Wконтрол * Wдавача

# Створення системи за передавальною функцією
sys = ctl.TransferFunction(numerator, denominator)

# Побудова кривих Найквіста
ctl.nyquist_plot(sys)

# Відображення графіка
plt.xlabel('Real')
plt.ylabel('Imaginary')
plt.title('Nyquist Plot')
plt.grid(True)
plt.show()
```

Схема системи охолодження верстата засобами ARDUINO

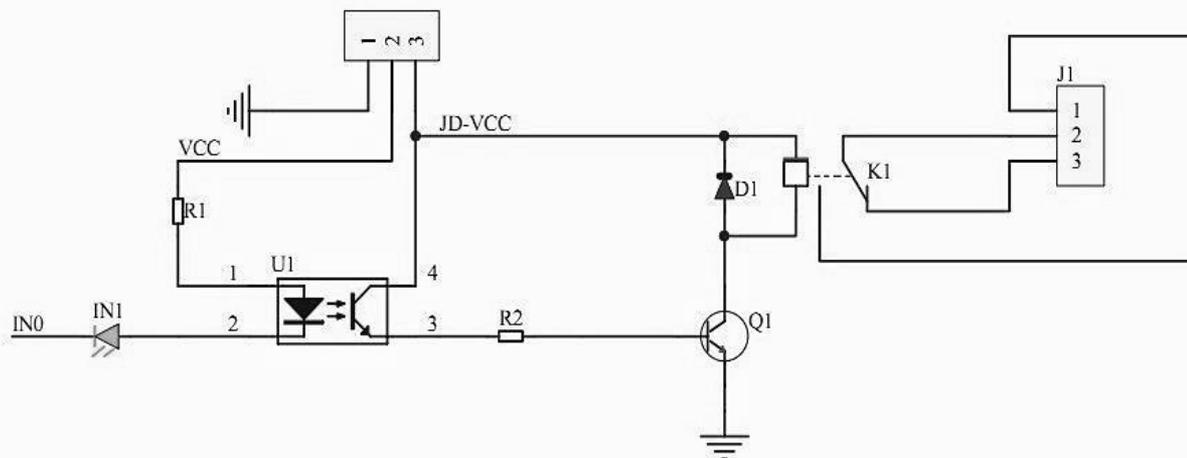
Завдання: автоматизація системи охолодження електродвигуна свердлильного верстата.

Стан електродвигуна (1- увімкнено, 0- вимкнено).

Математично це можна виразити у вигляді системи умов:

Якщо $T > T_{\text{ввімкнення}}$ та $M = 0$, тоді $M = 1$ (Увімкнути електродвигун).

Якщо $T < T_{\text{вимкнення}}$ та $M = 1$, тоді $M = 0$ (Вимкнути електродвигун).



Електрична принципова
схема 2-о каналного
модуля реле 5В 10А з
опторозв'язкою (low level)

```
#include <Wire.h>
#include <LiquidCrystal_I2C.h> // Підключаємо бібліотеку дл
#include <OneWire.h>
#include <DallasTemperature.h>

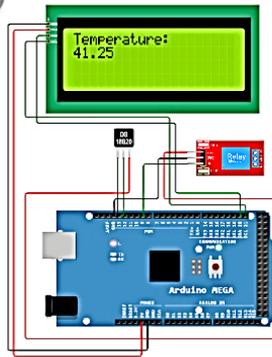
#define ONE_WIRE_BUS 13 // Пін, до якого підключений датчик
OneWire oneWire(ONE_WIRE_BUS);
DallasTemperature sensors(&oneWire);

const int motorPin = 9; // Пін для підключення електродвигу
LiquidCrystal_I2C lcd(0x27, 16, 2); // Ініціалізація об'єкт

void setup() {
  sensors.begin(); // Ініціалізуємо датчик DS18B20
  sensors.setResolution(12); // Встановлюємо роздільну здат
  pinMode(motorPin, OUTPUT); // Встановлюємо пін для е
```



00:56.691 46%



Досліджувана система
керування двигуном
наосу охолодження
свердлильного верстата

ВИСНОВКИ

- Проведено порівняльний аналіз систем керування верстатів свердлильної групи та визначено особливості верстатів-аналогів, котрі дозволять модернізувати досліджуваний верстат. З'ясовано особливості вибору системи електроприводу, методів регулювання швидкістю й гальмування
- Здійснено перевірку потужності електродвигунів на предмет здійснення операцій свердлування верстатом. Обрано апаратуру дистанційного керування, контролер керування шпинделем верстата. Обрано апарати захисту від коротких замикань
- Створено цифровий двійник системи автоматичного керування двигуном шпинделя верстата 2М57-2. Особливостями системи керування є використання зворотного зв'язку, що реалізовано за допомогою відповідного давача.
- Побудовано загальну передавальну функцію системи керування шпинделя й визначено її ефективність за допомогою критерію стійкості Найквіста та якості. Крива Найквіста не перетинає вісь у від'ємному напрямку або не має обертань навколо центра координат, що вказує про стійкість системи за критерієм Найквіста.
- Запропоновано існуючу технологію удосконалення надійності та точності системи керування інструментарієм ПІД регулювання. Автоматизовано систему охолодження верстата засобами Arduino Mega 2560 та відповідного давача температури.
- З'ясовано особливості монтажу електрообладнання верстата. Досліджено алгоритм дій щодо технічного обслуговування верстата. Визначено особливості дій при пошкодження й ремонті електрообладнання верстата.