

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 Дослідження продуктивності верстатів за рахунок модернізації
електронних модулів

Виконав: студент б курсу, групи 601МЕ
спеціальності 141 «Електроенергетика,
електротехніка та електромеханіка»

(шифр і назва напрямку підготовки, спеціальності)

Пушкарь В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник Лактіонов О.І.

(прізвище та ініціали)


Рецензент Галай В.М.

(прізвище та ініціали)

Полтава - 2025 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 автоматки,
електроніки та телекомунікацій

 д.т.н., проф. О.В. Шефер
“ 02 ” 09 2024 р.

З А В Д А Н Н Я НА МАГІСТЕРСЬКУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Пушкарю Валентину Вікторовичу

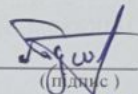
1. Тема проекту (роботи) «Дослідження продуктивності верстатів за рахунок модернізації електронних модулів»
керівник проекту (роботи) Лактіонов Олександр Ігорович, к.т.н., доцент
затверджена наказом вищого навчального закладу від “09” 08 2024 року № 818
ф.а
2. Строк подання студентом проекту (роботи) 19.12.2024 р.
3. Вихідні дані до проекту (роботи) Програмований логічний контроллер (ПЛК) Allen-Bradley CompactLogix 5380, верстат з числовим програмним керуванням (ЧПК) HAAS VF-2.
4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Аналітична частина. Методи підвищення продуктивності верстатів ЧПК за допомогою ПЛК. Практичні аспекти впровадження ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 на верстатах HAAS VF-2. Висновки по роботі.
5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових плакатів):
 - 1) Порівняльний аналіз технічних характеристик аналогів
 - 2) Схема загального вигляду верстата
 - 3) Загальний вигляд програмованого логічного контролера
 - 4) Електрична схема верстата
 - 5) Структурна схема системи керування
 - 6) Система автоматичного керування
 - 7) Математичні моделі
 - 8) Зведені розрахункові результати
 - 9) Висновки

6. Дата видачі завдання 02.09.2024 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

Пор. №	Назва етапів магістерської роботи	Термін виконання етапів роботи			Примітка (плакати)
1	Вступ	07.10.24		15%	Пл. 1
2	Розділ 1 Аналітична частина	16.10.24	I	30%	Пл. 2
3	Розділ 2 Методи підвищення продуктивності верстатів ЧПК за допомогою ПЛК	05.11.24		40%	Пл. 4
4	Розділ 3 Практичні аспекти впровадження ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 на верстаті ЧПК HAAS VF-2	12.11.24		50 %	Пл. 5
5	Висновки	19.11.24	II	60%	Пл. 6
6	Список використаних джерел	26.11.24		70%	Пл. 7
7	Графічний матеріал	11.12.24		90%	Пл. 9
8	Оформлення пояснювальної записки	19.12.24	III	100%	

Магістрант


(підпис)

Пушкарь В.В.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи


(підпис)

Лактіонов О.І.

(прізвище та ініціали)

Зміст

Вступ.....	6
Розділ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	9
1.1. Історія розвитку ЧПУ технологій.....	9
1.2. Огляд функціонування сучасних станків ЧПУ	14
1.3. ПЛК у промисловій автоматизації: загальні поняття та принципи роботи	17
1.4. Основні виробники ПЛК та їх продукція для ЧПУ	21
1.5. Інноваційні напрямки у сфері ЧПУ HAAS VF-2 та ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380.....	24
1.6. Вплив штучного інтелекту та машинного навчання на автоматизацію станків ЧПУ HAAS VF-2.....	32
1.7. Прогноз розвитку галузі на найближчі 5-10 років.....	41
Розділ 2. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВЕРСТАТІВ ЧПК ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛК.....	46
2.1 Створення математичної моделі головного привода HAAS VF-2.....	46
2.2. Визначення ключових показників продуктивності станків ЧПУ	52
2.3. Оптимізація виробничих процесів за допомогою ПЛК	60
2.4. Розробка стратегії інтеграції ПЛК з ЧПУ для підвищення ефективності роботи	69
2.5. Вплив ПЛК на зниження простоїв та підвищення надійності роботи станків.....	73
Розділ 3. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 НА ВЕРСТАТІ ЧПК HAAS VF-2	79
3.1. Огляд та вибір апаратної та програмної бази для впровадження ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380.....	79
3.2. Реалізація системи ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 на реальних виробничих прикладах	83

3.3. Тестування ефективності роботи станків ЧПУ після впровадження ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380	87
3.4. Аналіз отриманих результатів: порівняння до та після інтеграції ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380	91
ВИСНОВКИ.....	93
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	96
ДОДАТКИ	99
Додаток А (англійська частина).....	100
Додаток Б Текст тез наукової конференції	134
Додаток В Графічний матеріал	144

Вступ

Автоматизація виробничих процесів є ключовим чинником підвищення ефективності та продуктивності сучасних підприємств. У промисловості одним із найважливіших інструментів автоматизації є станки з числовим програмним управлінням (ЧПУ), які дозволяють здійснювати високоточну обробку матеріалів без втручання людини. Проте, навіть при використанні ЧПУ виникають проблеми, пов'язані з оптимізацією продуктивності, мінімізацією простоїв та підвищенням надійності обладнання.

З метою вирішення цих проблем на допомогу приходять програмовані логічні контролери (ПЛК), які забезпечують можливість більш гнучкого управління виробничими процесами, моніторингу стану обладнання та підвищення його загальної ефективності. ПЛК дозволяють інтегрувати різні підсистеми ЧПК в єдину систему управління, що підвищує швидкість обробки команд, знижує кількість простоїв через збої та оптимізує загальний виробничий цикл [1].

Актуальність дослідження полягає в тому, що, незважаючи на широке використання ЧПК в промислових галузях, потенціал підвищення їх продуктивності за допомогою ПЛК не завжди використовується в повній мірі. У зв'язку з цим виникає необхідність у вивченні можливостей інтеграції ПЛК у роботу станків ЧПК, з метою підвищення їх продуктивності та оптимізації виробничих процесів.

Мета даної магістерської роботи полягає в дослідженні методів підвищення продуктивності станків ЧПУ за допомогою програмованих логічних контролерів та впровадженні конкретних рішень на прикладі верстату HAAS VF-2 з використанням ПЛК Allan Bradley CompactLogix 5380.

Об'єкт дослідження — станки з числовим програмним управлінням (ЧПУ), що використовуються у промислових виробничих процесах.

Предмет дослідження — методи підвищення продуктивності роботи верстатів ЧПК за рахунок модернізації електронних модулів на прикладі інтеграції ПЛК Allan Bradley CompactLogix 5380 з верстатом HAAS VF-2.

Методи дослідження

Для досягнення поставлених у роботі завдань використовуються такі методи дослідження:

1. Аналіз літературних джерел та інформаційних ресурсів — для вивчення існуючих підходів до автоматизації виробничих процесів із застосуванням ПЛК і верстатів ЧПК.
2. Моделювання та симуляція — для проектування системи інтеграції ПЛК з ЧПК, оцінки її ефективності та моделювання поведінки системи в різних виробничих умовах.
3. Експериментальні дослідження — для практичного тестування запропонованих рішень на реальному обладнанні, а саме верстату HAAS VF-2 з інтегрованим ПЛК Allan Bradley CompactLogix 5380, і збору даних щодо продуктивності.
4. Порівняльний аналіз — для оцінки змін у продуктивності верстату ЧПК до та після впровадження системи з ПЛК, а також порівняння отриманих результатів з іншими відомими підходами.
5. Статистична обробка даних — для аналізу результатів експерименту та визначення ефективності використання ПЛК у підвищенні продуктивності верстатів ЧПК.

Завдання дослідження:

1. Провести аналіз існуючих методів автоматизації верстатів ЧПК за допомогою ПЛК.
2. Обрати модель станка ЧПК та ПЛК для дослідження.
3. Розробити стратегію інтеграції ПЛК з ЧПК.
4. Провести експериментальне дослідження на базі обраного станка ЧПК з інтегрованим ПЛК.

5. Проаналізувати результати та дати рекомендації щодо підвищення продуктивності ЧПК.

Таким чином, дана робота спрямована на дослідження способів вдосконалення виробничих процесів на базі сучасних технологій автоматизації, що є актуальним завданням для багатьох галузей промисловості.

Розділ 1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Історія розвитку ЧПУ технологій

Числове програмне управління, або ЧПУ (CNC – Computer Numerical Control), являє собою одну з найбільш значущих інновацій в області виробництва, що радикально змінила підхід до машинобудування та обробки матеріалів. Сьогодні, коли станки ЧПУ використовуються майже у всіх сферах промисловості, важливо звернутися до витоків цієї технології та прослідкувати її еволюцію, щоб зрозуміти, як вона набула сучасної форми та значення.

Історія розвитку ЧПУ технологій почалася у середині 20 століття, коли виникла потреба у більш точному та автоматизованому управлінні виробничим обладнанням. До цього машини керувалися вручну або з використанням механічних програм, таких як перфокарти та кулачкові системи.

Одним із основних проблем, з якими стикалася індустрія, була низька точність та складність керування виробничими процесами, що не дозволяло швидко та ефективно адаптувати машини до нових виробничих вимог. Саме ці виклики стали поштовхом до створення технології числового програмного управління [1].

Перші кроки до розвитку ЧПУ були зроблені у 1940-х роках, коли в Сполучених Штатах на замовлення військових почали розроблятися нові методи автоматизації. Один із піонерів цієї технології – Джон Парсонс, інженер із міста Траверс-Сіті, штат Мічиган, розробив метод керування інструментами за допомогою координатних точок для виготовлення лопаток для турбін. Він запропонував ідею використання перфокарт для керування механічними рухами, що стало основою для подальшого розвитку технологій ЧПУ. Його ідеї отримали підтримку від військових, зокрема ВПС США, які шукали способи підвищення точності у виробництві компонентів для літаків.

Після цього основні розробки перейшли до Массачусетського технологічного інституту (МІТ). У 1949 році за ініціативою ВПС США та під керівництвом Річарда К. Гранта було започатковано проект з розробки першого верстата з числовим програмним управлінням [2].

Метою було створити систему, яка б могла автоматично керувати рухами інструментів з високою точністю, що було необхідно для виробництва авіаційних деталей. Цей проект став основою для створення першого ЧПУ-верстата, який використовувався для обробки металів.

У 1952 році в лабораторіях МІТ було представлено перший станок із ЧПУ (Рисунок 1.1). Він працював на основі перфокарт, які задавали інструкції для управління рухами різців у тривимірному просторі.

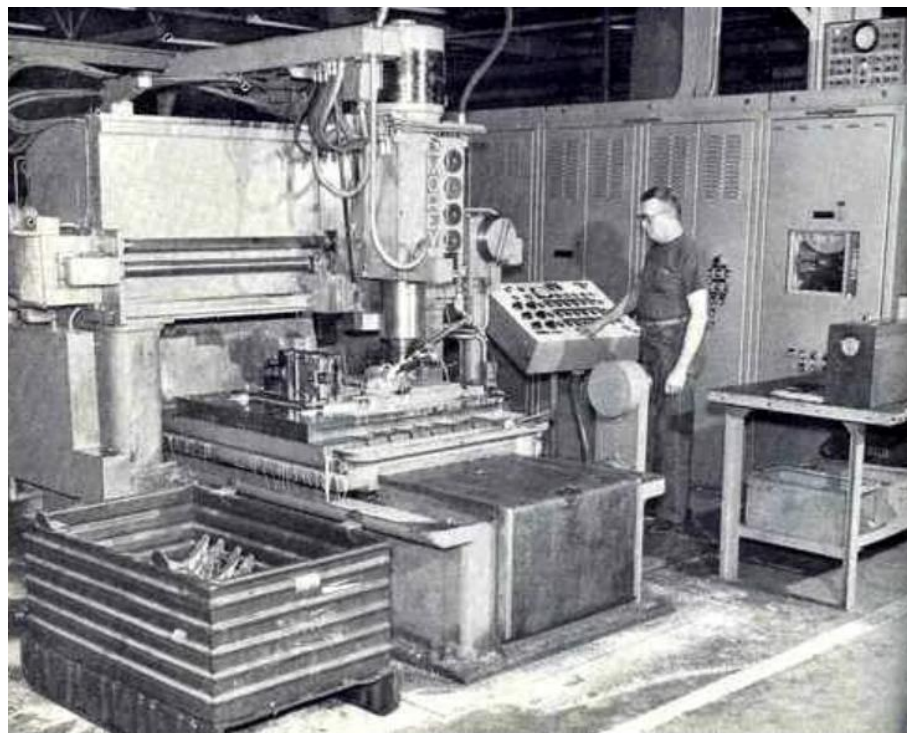


Рисунок 1.1 - Перший станок із ЧПУ

Цей прорив відкрив нові горизонти в промисловому виробництві. Хоча перші верстати були доволі складними та дорогими у виробництві і

використанні, їхня точність та можливість автоматизації швидко привернули увагу великих підприємств [3].

Спочатку ЧПУ використовувалося переважно у військовій сфері, але згодом почало поширюватися і в цивільну промисловість, особливо у виробництві автомобілів та авіаційних компонентів.

У 1960-х роках з'явилися значні покращення в технологіях ЧПУ. Основним чинником, що сприяв розвитку цієї технології, було вдосконалення комп'ютерних систем і можливість інтеграції комп'ютерів у виробничий процес.

Перфокарти були поступово замінені на магнітні стрічки, а потім – на комп'ютери, які дозволяли зберігати набагато більше даних та обробляти їх з більшою швидкістю [4].

Це дозволило значно розширити можливості програмного управління і зробити процеси більш гнучкими. Також у цей період почали розроблятися системи числового управління для різних типів верстатів: фрезерних, токарних, свердлильних та інших.

У 1970-х роках відбувся ще один великий прорив у розвитку ЧПУ технологій (Рисунок 1.2). В цей період комп'ютери стали доступнішими, що зробило впровадження ЧПУ на підприємствах більш економічно вигідним.



Рисунок 1.2 – ЧПУ у 1970-х роках

Крім того, в цей час розробляються перші стандарти для ЧПУ-програмування, серед яких найвідомішим є G-код, який використовується донині для опису рухів інструментів та інших виробничих параметрів.

Стандартизація дозволила зробити технологію універсальною і спростити навчання операторам. Важливо також відзначити, що в цей період було розроблено програмне забезпечення, яке дозволяло операторам і програмістам створювати складні програми для управління станками без необхідності глибоких знань у галузі програмування [5].

1980-ті роки стали періодом масового поширення ЧПУ-технологій. В цей час більшість великих промислових компаній почали впроваджувати ЧПУ у свої виробничі процеси, що дозволило суттєво підвищити продуктивність і точність виготовлення деталей.



Рисунок 1.3 – ЧПУ у 1990-х роках

Цифровізація ЧПУ відкрила нові горизонти у виробничих можливостях. Завдяки інтеграції сенсорних систем, верстати тепер можуть відстежувати

стан інструменту в реальному часі, контролювати знос ріжучих елементів, виявляти вібрації та інші аномалії під час обробки.

Це дозволяє запобігати можливим аваріям, знижувати кількість бракованих деталей і збільшувати загальну продуктивність [7].

Крім того, розвиток сенсорних технологій дозволив створити адаптивні системи управління, які можуть автоматично підлаштовуватися під зміни в характеристиках матеріалів або стану обладнання.

Інтеграція ЧПУ з хмарними технологіями стала ще одним важливим етапом у розвитку цієї галузі.

Хмарні платформи надають можливість зберігати величезні обсяги даних, що генеруються під час роботи верстатів, і аналізувати ці дані для оптимізації процесів.

Це не тільки підвищує ефективність виробництва, але й полегшує управління великими підприємствами, оскільки дозволяє операторам отримувати доступ до верстатів і керувати ними віддалено з будь-якої точки світу.

Розвиток штучного інтелекту також зробив свій внесок у вдосконалення ЧПУ-технологій. ШІ використовують для прогнозування зносу інструменту, автоматичної оптимізації виробничих процесів і виявлення потенційних несправностей ще до того, як вони вплинуть на продуктивність [9].

Іншим важливим напрямком розвитку є впровадження адитивних технологій, таких як 3D-друк, у процеси, що керуються ЧПУ.

Хоча традиційно ЧПУ-станки використовуються для віднімальних методів обробки (фрезерування, токарної обробки), інтеграція адитивних технологій дозволяє поєднувати обидва підходи для створення складних деталей. Це відкриває можливості для виробництва прототипів та малосерійного виробництва з високою гнучкістю і мінімальними втратами матеріалів [8].

Крім того, важливим аспектом розвитку ЧПУ стало вдосконалення інтерфейсів користувача. Сучасні системи управління надають можливість легко і швидко програмувати верстати без глибоких знань програмування, використовуючи інтуїтивно зрозумілі інтерфейси та програмне забезпечення.

Оператори можуть взаємодіяти з верстатами через сенсорні екрани, графічні інтерфейси та навіть за допомогою голосових команд. Це значно полегшує процес налаштування верстатів і робить їх доступнішими для широкого кола користувачів.

Сьогодні ЧПУ-верстати продовжують розвиватися, і їхнє майбутнє виглядає ще більш перспективним завдяки постійному вдосконаленню технологій.

1.2. Огляд функціонування сучасних станків ЧПУ

Сучасні станки з числовим програмним управлінням (ЧПУ) стали важливим елементом промислового виробництва, забезпечуючи високу точність, автоматизацію процесів та продуктивність. ЧПУ використовується в багатьох галузях – від машинобудування до авіації та медицини, оскільки дозволяє виготовляти складні компоненти з мінімальними відхиленнями і високою швидкістю.

Завдяки інтеграції з комп'ютерами та можливості програмування, ці машини здійснюють надзвичайно точне керування різальними інструментами, що дозволяє виробляти деталі складної геометрії.

Однією з основних переваг ЧПУ є автоматизація процесів. У традиційних системах керування, коли оператор контролював кожен етап, завжди була велика ймовірність помилок, що призводило до втрат часу та матеріалів [11].

Завдяки ЧПУ система керується комп'ютером і виконує інструкції, задані заздалегідь у вигляді цифрових кодів. Це дозволяє уникнути людських

помилки і досягти максимальної точності. Сьогоднішні системи ЧПУ часто інтегровані з програмами комп'ютерного проектування (CAD) і комп'ютерного виробництва (CAM), що дозволяє автоматизувати весь цикл від проектування до виробництва. Це особливо важливо у таких сферах, як автомобілебудування чи аерокосмічна галузь, де мінімальні відхилення можуть призвести до серйозних наслідків.

Основою роботи станків ЧПУ є контролер – спеціальний комп'ютер, що керує всіма процесами машини. Контролер отримує програму, яка визначає, як інструмент буде переміщатися по осям, яку траєкторію він має слідувати, і яким чином повинна відбуватися обробка матеріалу. У сучасних станках контролери дуже потужні, і їх можливості дозволяють управляти рухами по багатьом осям одночасно. Для складних деталей використовуються станки з п'ятьма або більше осями, які можуть обробляти деталі у всіх просторових напрямках без потреби у переналаштуванні заготовки.

Крім контролерів, важливу роль відіграють приводи та двигуни, які забезпечують точність переміщення інструментів. Сучасні станки використовують серводвигуни та крокові двигуни, що дозволяють досягти високої точності [12].

Одним із важливих аспектів функціонування сучасних ЧПУ є програмне забезпечення. Воно дозволяє операторам та інженерам проектувати складні деталі і потім автоматично переводити ці креслення у програми для станка.

Програмне забезпечення CAM автоматично створює траєкторію руху інструменту на основі 3D-моделі, що значно спрощує процес підготовки до виробництва. Крім того, програми можуть автоматично оптимізувати траєкторії для зменшення часу обробки і мінімізації витрат матеріалу. З розвитком ШІ та машинного навчання, деякі програми вже можуть передбачати можливі проблеми у процесі виробництва та вносити корективи у реальному часі, підвищуючи ефективність та безпеку роботи [1].

Однією з інновацій останніх років є впровадження сенсорних технологій у станки ЧПУ. Це дозволяє постійно моніторити стан інструменту, температуру, вібрації та інші параметри, які можуть впливати на якість обробки. Сенсори можуть виявляти початкові ознаки зносу інструменту і сигналізувати про необхідність його заміни, що дозволяє уникнути поломок і простоїв. Крім того, сенсори допомагають оптимізувати процеси охолодження та змащення інструменту, що продовжує його термін служби.

Важливою перевагою сучасних ЧПУ є їх здатність працювати з широким спектром матеріалів. Від традиційних металів, таких як сталь або алюміній, до новітніх композитних матеріалів або навіть біологічних тканин у медичному виробництві – станки ЧПУ здатні обробляти різні типи матеріалів з високою точністю.

Це робить їх незамінними в таких високотехнологічних галузях, як авіабудування, де деталі повинні бути легкими і водночас дуже міцними, або в медицині, де виготовлення протезів і імплантів потребує індивідуального підходу та ідеальної точності [13].

Ще однією важливою інновацією є впровадження 3D-друку як додаткової функції до ЧПУ-станків. Це дозволяє поєднувати віднімальні та адитивні методи обробки матеріалу в одному пристрої. З одного боку, станок може фрезерувати деталь з металу або іншого матеріалу, а з іншого – додавати шари матеріалу через 3D-друк. Це відкриває нові можливості для створення складних компонентів, які раніше було неможливо виготовити за допомогою традиційних методів.

Сучасні ЧПУ-станки представляють собою високоавтоматизовані системи, які істотно змінили підхід до виробничих процесів. Одним із ключових аспектів розвитку цих технологій є підвищення точності та швидкості обробки, що стало можливим завдяки поєднанню комп'ютерних технологій і механіки. Як результат, навіть найбільш складні геометричні форми, які раніше було неможливо створити за допомогою традиційних

методів обробки, тепер можуть бути виготовлені швидко та з мінімальними затратами матеріалу [10].

У процесі еволюції ЧПУ-станків з'явилися нові типи машин, які спеціалізуються на певних виробничих процесах.

Наприклад, верстати для електроерозійної обробки (EDM) використовують електричні розряди для обробки твердих матеріалів, таких як титан і кераміка. Цей метод забезпечує високу точність, особливо під час обробки деталей із матеріалів, які важко піддаються традиційній механічній обробці.

Інші станки, такі як лазерні та плазмові різачки, використовують енергію світлових або плазмових променів для швидкого та точного розрізання металів. Такі технології дозволяють досягти високої точності обробки без прямого контакту з матеріалом, що знижує ймовірність зношування інструменту і забезпечує більш тривалу експлуатацію обладнання [14].

Загалом, розвиток технологій ЧПУ продовжує змінювати промислові процеси. Завдяки постійним інноваціям у галузі програмного забезпечення, матеріалів та технологій обробки, сучасні станки ЧПУ здатні забезпечувати не лише високу точність і ефективність, але й гнучкість виробничих процесів, що стає ключовою перевагою в умовах глобалізації та конкуренції.

1.3. ПЛК у промисловій автоматизації: загальні поняття та принципи роботи

Програмовані логічні контролери (ПЛК) стали основою сучасної промислової автоматизації, перетворюючи спосіб, у який управлінські та контрольні функції здійснюються на виробництві. ПЛК – це спеціалізовані цифрові комп'ютери, які призначені для виконання контрольних функцій у промислових процесах. Їхній розвиток і впровадження змінили обличчя промислового управління, забезпечуючи високу надійність, гнучкість і точність.

Важливою частиною ПЛК є їхні входи і виходи. Входи ПЛК отримують сигнали від сенсорів, таких як перемикачі, датчики температури і тиску, фотоприйемники та інші пристрої. Ці сигнали можуть бути цифровими або аналоговими. Цифрові сигнали мають два стани – увімкнений або вимкнений, в той час як аналогові сигнали представляють собою неперервні значення, такі як рівень температури або тиску. Виходи ПЛК управляють різними виконавчими механізмами, такими як реле, електромагніти, серводвигуни і конвеєри.

Системи ПЛК також часто інтегруються з різними комунікаційними протоколами, що дозволяє їм взаємодіяти з іншими ПЛК, комп'ютерами і обладнанням [18].

Це забезпечує можливість централізованого управління і моніторингу процесів на великій промисловій території або в комплексних виробничих системах. Наприклад, ПЛК може бути частиною великої мережі автоматизації, де кілька контролерів обмінюються даними та координаційно управляють процесами в різних частинах заводу.

Однією з основних переваг ПЛК є їхня надійність. Вони розроблені для роботи в суворих промислових умовах, де можуть виникати електромагнітні перешкоди, високі температури або вологість. ПЛК мають спеціальні захисні корпуси та системи, які забезпечують їхню стійкість до таких впливів. Це робить їх ідеальними для використання в складних виробничих середовищах, де важлива безперервність процесів і мінімізація простоїв.

Програмовані логічні контролери – це цифрові комп'ютери, спеціально розроблені для промислових умов. Вони призначені для виконання різноманітних завдань, таких як управління машинами, процесами та виробничими лініями. ПЛК використовують програмування для автоматизації контрольних функцій, замінюючи традиційні системи, що базуються на реле і контакторах.

Основний принцип роботи ПЛК базується на циклічному виконанні програми. ПЛК постійно виконує програму в циклі, що складається з трьох основних етапів:

1. Сканування входів: ПЛК читає сигнали від всіх підключених сенсорів і датчиків. Це можуть бути цифрові сигнали, такі як сигнали вкл/викл від перемикачів, або аналогові сигнали, такі як температура чи тиск.

2. Обробка програми: На основі прочитаних вхідних сигналів ПЛК виконує програму, яка може бути написана в різних мовах програмування. Програма визначає, які виходи повинні бути активовані або деактивовані, що відповідає заданим умовам.

3. Оновлення виходів: Після обробки програми ПЛК відправляє команди на виходи, які управляють виконавчими механізмами, такими як реле, серводвигуни, конвеєри і т.д. Це може включати включення або вимикання пристроїв, регулювання швидкості, або будь-яке інше управлінське дію [13].

Програмування ПЛК є ключовим аспектом його функціонування. Існують кілька мов програмування, які використовуються для створення програм для ПЛК:

1. Ladder Logic (сходова логіка): Це одна з найпопулярніших мов програмування для ПЛК. Вона нагадує електричну схему з реле і контакторами. Ladder Logic представляє умови і дії у вигляді графічних символів, що робить її зрозумілою для людей з електротехнічним фоном.

2. Function Block Diagram (FBD): Це графічний метод програмування, де програма складається з блоків, які представляють функції.

3. Structured Text (ST): Це текстова мова програмування, яка нагадує Pascal або C. Вона дозволяє використовувати структуровані команди для опису логіки програми і є потужним інструментом для створення складних алгоритмів.

4. **Instruction List (IL):** Це низькорівнева текстова мова програмування, яка нагадує асемблер. Вона використовує прості команди для виконання операцій, що дозволяє дуже точно контролювати процеси.

5. **Sequential Function Charts (SFC):** Ця мова програмування використовується для управління процесами, які мають чітку послідовність етапів. Вона дозволяє визначати етапи процесу і переходи між ними.

ПЛК складається з кількох основних компонентів:

1. **Процесор (ЦП):** Основний компонент, який виконує програму і управляє всіма іншими елементами системи. Процесор обробляє вхідні дані, виконує логічні операції і генерує вихідні сигнали.

2. **Модулі входів і виходів (I/O-модулі):** Входи отримують сигнали з різних сенсорів і датчиків, а виходи контролюють виконавчі механізми. Існують цифрові модулі для роботи з бінарними сигналами і аналогові модулі для роботи з неперервними сигналами.

3. **Пам'ять:** Зберігає програму, дані і параметри, необхідні для роботи ПЛК. Пам'ять може бути різних типів, включаючи флеш-пам'ять і оперативну пам'ять [15].

4. **Живлення:** ПЛК потребує електроживлення для роботи. Це може бути постійний або змінний струм, залежно від конкретної моделі ПЛК.

5. **Комунікаційні порти:** ПЛК часто мають різні порти для зв'язку з іншими пристроями, такими як комп'ютери, інші ПЛК або периферійні пристрої. Це може бути Ethernet, RS-232, RS-485 або інші протоколи.

ПЛК використовують різні комунікаційні протоколи для взаємодії з іншими системами. Це дозволяє інтегрувати ПЛК в більші системи автоматизації та управління.

Програмовані логічні контролери залишаються критично важливими для сучасної промислової автоматизації, і їх роль у забезпеченні ефективності, гнучкості та надійності виробничих процесів буде тільки зростати.

1.4. Основні виробники ПЛК та їх продукція для ЧПУ

Основні виробники ПЛК (програмованих логічних контролерів) мають величезний вплив на сучасну промислову автоматизацію, включаючи численні галузі, такі як обробка матеріалів, виробництво автомобілів, нафтогазова промисловість та багато інших. ПЛК використовуються для управління технологічними процесами, зокрема й у станках з числовим програмним керуванням (ЧПУ). Їхній розвиток і модернізація здійснюються провідними виробниками, кожен із яких пропонує свою продукцію з унікальними характеристиками, орієнтованими на потреби різних секторів промисловості.

Siemens

Siemens є одним із лідерів на ринку автоматизації, і їхня лінійка ПЛК має широку репутацію завдяки надійності, функціональності та сумісності з числовим програмним керуванням (ЧПУ). Компанія Siemens пропонує продукцію, яка відповідає найвищим стандартам якості в галузі автоматизації. Лінійка Siemens Simatic S7 є однією з найвідоміших серій ПЛК, що широко застосовується в численних галузях, включаючи машини з ЧПУ.

Великим перевагою продукції Siemens є те, що ПЛК Simatic мають високу стійкість до промислових умов, де можуть виникати електромагнітні перешкоди, підвищена вологість або температура. Це дозволяє використовувати їх на об'єктах з жорсткими умовами експлуатації, таких як металургійні заводи або підприємства з обробки деревини, де використовуються станки ЧПУ [16].

Allen-Bradley (Rockwell Automation)

Allen-Bradley, дочірня компанія Rockwell Automation, є ще одним провідним виробником ПЛК. Їхні контролери ControlLogix і CompactLogix визнані як одні з найкращих для складних промислових завдань, включаючи управління станками ЧПУ. Продукція Allen-Bradley виділяється своєю

високою масштабованістю та можливістю роботи у складних мережевих середовищах. Це дозволяє легко інтегрувати ПЛК з іншими пристроями та системами на виробничому майданчику.

Allen-Bradley приділяє особливу увагу питанням безпеки та сумісності з іншими промисловими стандартами. Продукція компанії підтримує промислові протоколи Ethernet/IP і ControlNet, що дозволяє інтегрувати їх у складні мережі автоматизації. Завдяки цьому системи ЧПУ можуть бути частиною більших комплексів автоматизованого управління виробництвом, що значно підвищує ефективність і продуктивність.

Mitsubishi Electric

Mitsubishi Electric також є одним із провідних виробників ПЛК для систем ЧПУ. Їхня серія MELSEC була розроблена спеціально для задач, пов'язаних з управлінням високоточними процесами, такими як робота станків з ЧПУ. MELSEC підтримує високошвидкісну обробку даних і точне управління рухом, що робить їх ідеальним рішенням для багатьох галузей, включаючи виробництво електроніки, де важлива мікронна точність.

Mitsubishi також пропонує високий рівень безпеки і захисту своїх контролерів від зовнішніх загроз. Продукція підтримує різні протоколи захисту даних, що робить її привабливою для компаній, які працюють із критично важливими промисловими процесами.

Schneider Electric

Schneider Electric є міжнародною корпорацією, яка спеціалізується на рішеннях для автоматизації та енергоменеджменту. Їхня серія ПЛК Modicon відома своєю надійністю та гнучкістю у промислових процесах. ПЛК Modicon широко використовуються в системах автоматизації з ЧПУ, де важлива висока точність і стабільність [17].

Одним з основних переваг продукції Schneider Electric є інтеграція з екосистемами EcoStruxure, що дозволяє забезпечити централізоване управління всіма аспектами виробничих процесів, включаючи станки ЧПУ.

Modicon дозволяє легко інтегрувати ЧПУ в загальну автоматизаційну мережу підприємства, забезпечуючи гнучкість і ефективність управління.

OMRON

OMRON – ще один вагомий гравець на ринку ПЛК для ЧПУ. Їхні контролери серії Sysmac користуються популярністю серед підприємств, що спеціалізуються на високоточних виробничих процесах. Sysmac забезпечує швидку обробку даних і має функції, що дозволяють інтегрувати системи управління рухом із загальними мережами автоматизації.

OMRON також пропонує ПЛК, що підтримують широкі можливості для програмування і інтеграції з датчиками та виконавчими механізмами. Це дозволяє створювати комплексні автоматизовані рішення для управління ЧПУ та іншими механічними системами. OMRON постійно інвестує в розвиток новітніх технологій для поліпшення точності та швидкості роботи своїх контролерів.

Серед інноваційних рішень OMRON можна відзначити впровадження ШІ та алгоритмів машинного навчання в їхні контролери, що дозволяє прогнозувати можливі збої і здійснювати превентивне обслуговування обладнання.

Beckhoff Automation

Beckhoff Automation спеціалізується на створенні відкритих систем автоматизації, і їхні ПЛК широко використовуються для управління ЧПУ. Їхня технологія TwinCAT дозволяє програмувати ПЛК на різних мовах, включаючи популярні в промисловій автоматизації стандарти, такі як IEC 61131-3. TwinCAT дозволяє інтегрувати ПЛК з ПЗ для ЧПУ, що значно спрощує управління процесами на виробничих майданчиках.

Beckhoff відома своїм підходом до промислової автоматизації на основі ПК (PC-based control), що дозволяє інтегрувати функції ПЛК в стандартне апаратне забезпечення, наприклад промислові комп'ютери.

1.5. Інноваційні напрямки у сфері ЧПУ HAAS VF-2 та ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380

Інноваційні напрямки у сфері числового програмного управління (ЧПУ) та програмованих логічних контролерів (ПЛК) з кожним роком все більше впливають на розвиток сучасних виробничих процесів. У контексті верстатів HAAS VF-2 та ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 новітні інновації відкривають нові можливості для оптимізації робочих процесів, підвищення продуктивності та забезпечення високої точності при обробці складних деталей. Інновації в цій сфері включають впровадження передових технологій, таких як штучний інтелект (ШІ), машинне навчання, Інтернет речей (IoT), хмарні технології та інтеграція з автоматизованими системами управління виробничими процесами. Це дозволяє досягати високого рівня автоматизації та ефективності у виробництві, зменшуючи ризики помилок та зупинок.

Еволюція ЧПУ-систем HAAS VF-2

HAAS VF-2 — це один із найпопулярніших фрезерних верстатів з ЧПУ, який широко використовується у виробництві завдяки своїй надійності, точності та високій продуктивності. Постійний розвиток цієї платформи включає впровадження нових функцій і технологій, які забезпечують більш швидке та точне виконання обробки деталей [3].

Однією з головних інноваційних тенденцій у верстатах HAAS VF-2 є інтеграція передових систем автоматизації та керування. Це дозволяє досягти високого рівня точності при виготовленні складних деталей, а також підвищує швидкість обробки, що є критичним для зниження часу виконання виробничих циклів.

Завдяки впровадженню нових датчиків і систем моніторингу стану інструменту, верстати HAAS VF-2 можуть автоматично відслідковувати знос інструментів, що дозволяє своєчасно змінювати інструменти та забезпечувати

стабільну якість обробки. Це значно знижує ризик браку та мінімізує простой обладнання, що позитивно впливає на загальну продуктивність.

Також важливою інновацією є можливість інтеграції HAAS VF-2 з сучасними програмованими логічними контролерами, такими як Allen-Bradley CompactLogix 5380. Це дозволяє розширити функціональні можливості верстата, забезпечити більш гнучке керування виробничими процесами та інтегрувати його в автоматизовані виробничі лінії.

Інновації в ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380

Програмовані логічні контролери Allen-Bradley CompactLogix 5380 є одними з провідних рішень на ринку автоматизації завдяки своїм високим показникам продуктивності, надійності та можливості масштабування. Ці контролери підтримують сучасні комунікаційні протоколи, такі як Ethernet/IP, що дозволяє інтегрувати їх у розподілені системи керування та забезпечувати високу швидкість обміну даними між різними елементами виробничої системи [18].

Однією з основних інновацій у CompactLogix 5380 є підтримка функцій високої точності керування рухом (motion control). Це дозволяє використовувати ПЛК для керування складними рухами механізмів, що є особливо важливим для фрезерних верстатів, таких як HAAS VF-2. Завдяки цьому, можна точно налаштовувати параметри обробки та автоматизувати процеси зміни інструментів або управління багатовісними системами.

Також варто зазначити, що CompactLogix 5380 підтримує розширені функції діагностики та моніторингу, що дозволяє виявляти несправності та прогнозувати необхідність технічного обслуговування. Це важливий крок у напрямку впровадження концепції "прогнозного обслуговування", яке мінімізує простой обладнання і забезпечує безперебійну роботу верстатів.

Впровадження штучного інтелекту та машинного навчання

Одним із ключових напрямків інновацій у сфері ЧПУ та ПЛК є впровадження технологій штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання.

Ці технології відкривають нові можливості для автоматизації процесів аналізу даних, оптимізації виробничих параметрів та самонавчання систем керування.

На основі даних, зібраних під час роботи верстатів і контролерів, системи ШІ можуть автоматично коригувати параметри роботи, підлаштовуючи їх під змінні умови виробництва, наприклад, тип матеріалу або стан інструменту. Це дозволяє не тільки підвищити ефективність обробки, але й забезпечити економію ресурсів, таких як енергія або витратні матеріали [16].

Машинне навчання також може бути використане для прогнозування можливих збоїв у роботі обладнання. Наприклад, аналізуючи дані про вібрацію, температуру або інші параметри, система може заздалегідь попереджати про необхідність заміни деталей або проведення технічного обслуговування, що знижує ризик аварійних простоїв.

Інтернет речей (ІоТ) та підключене виробництво

Інтернет речей (ІоТ) є ще однією важливою інноваційною тенденцією у сфері ЧПУ та ПЛК. Завдяки підключенню верстатів та ПЛК до мережі Інтернет, стає можливим забезпечити віддалений моніторинг і управління виробничими процесами, а також збирання і аналіз великих обсягів даних у режимі реального часу.

Виробничі лінії, що використовують технології ІоТ, можуть працювати як єдиний інтегрований комплекс, де всі компоненти системи (верстати, ПЛК, датчики, роботизовані системи) взаємодіють один з одним, забезпечуючи оптимальний режим роботи. Це дозволяє підприємствам ефективно реагувати на зміни в умовах виробництва та зменшувати час на переналаштування обладнання.

Наприклад, у випадку інтеграції ПЛК CompactLogix 5380 з верстатами HAAS VF-2 через ІоТ-системи, можна здійснювати віддалене управління та діагностику обладнання. Це особливо корисно для великих виробничих підприємств, де постійний моніторинг роботи обладнання дозволяє оперативно реагувати на відхилення і запобігати зупинкам виробництва.

Використання хмарних технологій

Хмарні технології також відіграють важливу роль в інноваціях у сфері ЧПУ та ПЛК. Завдяки можливості зберігання даних у хмарі та використанню хмарних обчислювальних ресурсів, підприємства можуть значно покращити управління виробничими процесами та підвищити їхню гнучкість.

Наприклад, дані про роботу верстатів HAAS VF-2 і ПЛК CompactLogix 5380 можуть бути збережені в хмарі та використані для аналізу продуктивності, виявлення потенційних проблем або оптимізації процесів. Використання хмарних обчислювальних потужностей дозволяє аналізувати великі обсяги даних, використовуючи складні алгоритми, що було б складно реалізувати на локальних серверах.

Крім того, хмарні платформи дозволяють забезпечити доступ до даних з будь-якої точки світу, що є особливо важливим для компаній з глобальними виробничими мережами. Це дозволяє оперативно реагувати на зміни у виробничих процесах та забезпечувати єдиний рівень якості продукції на всіх підприємствах [17].

Інтеграція з роботизованими системами

Ще одним інноваційним напрямком є інтеграція ЧПУ-систем, таких як HAAS VF-2, і ПЛК CompactLogix 5380 з роботизованими системами. Сучасні виробничі лінії все частіше використовують роботизовані маніпулятори для виконання завдань, які потребують високої точності та швидкості. Інтеграція ПЛК з роботизованими системами дозволяє створювати повністю автоматизовані виробничі лінії, де роботи взаємодіють з ЧПУ-верстатами без участі людини.

ПЛК CompactLogix 5380 забезпечує можливість точного керування роботизованими системами, що дозволяє автоматизувати процеси, пов'язані з обробкою матеріалів, транспортуванням деталей, складанням або упаковкою продукції. Це дозволяє значно підвищити продуктивність і забезпечити стабільну якість продукції.

Інноваційні напрямки у сфері ЧПУ та ПЛК, зокрема у контексті верстатів HAAS VF-2 та ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380, відкривають нові можливості для підвищення ефективності виробничих процесів. Впровадження передових технологій, таких як штучний інтелект, Інтернет речей, хмарні обчислення та інтеграція з роботизованими системами, дозволяє досягти нових рівнів автоматизації та продуктивності.

Ці інновації забезпечують не лише зниження витрат і підвищення точності обробки, але й створюють нові можливості для адаптації виробничих процесів до змінних умов ринку. Підприємства, які активно впроваджують ці технології, отримують значні переваги, оскільки можуть ефективніше використовувати ресурси, підвищувати якість продукції та знижувати ризики аварійних зупинок обладнання.

Таким чином, розширення можливостей інтеграції ЧПУ з ПЛК та впровадження інноваційних рішень у виробничі процеси є ключовим фактором успішного розвитку сучасних підприємств у промисловості.

Інноваційні напрямки у сфері числового програмного управління (ЧПУ) та програмованих логічних контролерів (ПЛК) можуть бути продемонстровані через конкретні приклади реальних впроваджень, що відображають успішні стратегії підвищення ефективності та автоматизації виробничих процесів. Нижче наведені приклади того, як впровадження ЧПУ HAAS VF-2 у поєднанні з ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 вже реалізуються на різних виробничих підприємствах, що дозволяє досягти суттєвих результатів в оптимізації [8].

Приклад 1: Авіабудівне підприємство — підвищення точності обробки складних деталей

Одним з головних викликів у виробництві компонентів для авіаційної промисловості є висока точність і стабільність обробки деталей, оскільки навіть найменші відхилення можуть вплинути на безпеку та якість готових літаків. Авіабудівне підприємство, яке займається виготовленням складних

алюмінієвих і титанових деталей, вирішило інтегрувати верстат HAAS VF-2 із системою ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 для підвищення точності та автоматизації процесів.

Впровадження системи:

Завдяки інтеграції ЧПУ з ПЛК, було досягнуто можливості автоматичного налаштування параметрів обробки відповідно до характеристик матеріалу. Штучний інтелект, інтегрований із системою ПЛК, здійснював моніторинг температури та вібрації інструменту, автоматично коригуючи швидкість шпинделя та подачу для забезпечення максимальної точності.

Результати:

Після впровадження системи точність обробки деталей покращилася на 15%, а кількість браку знизилася на 20%. Крім того, завдяки автоматизованому прогнозуванню необхідності технічного обслуговування, час простоїв через несправності зменшився на 30%. Це дозволило підприємству збільшити виробничу потужність без зниження якості продукції.

Приклад 2: Завод з виробництва автомобільних компонентів — зниження витрат на енергоспоживання

Автомобільна промисловість постійно шукає шляхи зниження виробничих витрат, зокрема через оптимізацію енергоефективності. Одне з автомобільних підприємств вирішило впровадити автоматизовані системи керування енергоспоживанням на основі ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 та верстатів ЧПУ HAAS VF-2 [1].

Впровадження системи:

Для оптимізації витрат енергії була розроблена система, яка дозволяє контролювати споживання електроенергії в реальному часі. ПЛК Allen-Bradley отримував дані з датчиків споживання енергії, встановлених на всіх

вузлах виробничої лінії, і автоматично перемикав верстати в енергоощадний режим під час періодів простою або зниженої продуктивності.

Результати:

Після впровадження системи енергоспоживання було знижено на 25%, що дозволило підприємству суттєво знизити операційні витрати. Крім того, завдяки використанню ПЛК для моніторингу та корекції роботи обладнання вдалося запобігти перегріву електродвигунів і інших компонентів, що значно продовжило їхній термін експлуатації.

Приклад 3: Фармацевтичний завод — інтеграція роботизованих систем з ЧПУ і ПЛК

Фармацевтичні компанії потребують надзвичайної точності та безпеки у виробничих процесах, особливо під час виготовлення медичних препаратів. Один із провідних фармацевтичних заводів впровадив автоматизовану лінію виробництва, яка поєднувала верстати HAAS VF-2 з ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 та роботизованими системами для автоматичного завантаження і розвантаження матеріалів.

Впровадження системи:
Інтеграція ПЛК та ЧПУ з роботизованими системами забезпечила автоматичне транспортування сировини до виробничої лінії та точну координацію між роботами та верстатами під час обробки матеріалів. Роботи керувалися ПЛК Allen-Bradley, що дозволило досягти безперебійної роботи і мінімізувати втручання людини в процеси [7].

Результати:

Автоматизація допомогла підвищити продуктивність виробництва на 35%, а також забезпечила стабільну якість продукції. Завдяки інтеграції роботизованих систем та ПЛК було усунуто людський фактор, що знизило ризик помилок на виробництві. Це також дозволило забезпечити безпечну роботу у стерильних умовах, які є критичними для фармацевтичної промисловості.

Приклад 4: Малі виробничі підприємства — швидка адаптація до нових замовлень

Малий бізнес часто стикається з проблемою швидкої зміни виробничих завдань через невеликі партії замовлень і різноманіття продукції. Одне з малих підприємств з виготовлення компонентів для електроніки впровадило верстати HAAS VF-2 у поєднанні з ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 для забезпечення гнучкості виробництва.

Впровадження системи:

Завдяки можливості швидкого перепрограмування ПЛК, виробнича лінія змогла автоматично переналаштуватися під нові завдання без необхідності зупинки обладнання на тривалий час. Це дозволило підприємству швидко переходити від виробництва одного продукту до іншого, забезпечуючи максимальну продуктивність за мінімальний час.

Результати:

Після інтеграції ЧПУ з ПЛК CompactLogix 5380 час переналаштування виробничих ліній скоротився на 40%. Це дозволило компанії швидко реагувати на запити клієнтів і виконувати замовлення з меншою кількістю простоїв. Гнучкість і швидка адаптація до нових виробничих умов стали важливою конкурентною перевагою на ринку.

Приклад 5: Металургійне підприємство — прогнозне обслуговування та моніторинг

Металургійна промисловість, яка залежить від важкого обладнання та безперервного виробництва, завжди має значні витрати через простої через поломки. Одне з підприємств впровадило ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 у комплексі з верстатами HAAS VF-2 для прогнозного обслуговування та моніторингу стану обладнання [1].

Впровадження системи:

Було впроваджено систему збору даних про стан обладнання у режимі реального часу. ПЛК Allen-Bradley обробляв інформацію про температурні

показники, вібрації та навантаження на ключові компоненти верстатів HAAS VF-2. На основі аналізу цих даних система автоматично повідомляла про необхідність технічного обслуговування або заміни частин до їхнього виходу з ладу.

Результати:

Завдяки прогнозованому обслуговуванню час простоїв на виробництві скоротився на 50%. Підприємство також відзначило зменшення витрат на ремонт обладнання та продовження терміну служби верстатів на 20%. Це дало змогу підприємству працювати більш стабільно, забезпечуючи безперервний виробничий процес навіть у пікові періоди.

Інноваційні напрямки у сфері ЧПУ HAAS VF-2 та ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 надають сучасним підприємствам нові можливості для підвищення ефективності виробничих процесів. Реальні приклади впровадження цих технологій показують, як автоматизація, інтеграція з роботизованими системами, впровадження прогнозного обслуговування та використання хмарних рішень дозволяють досягати значних результатів.

Завдяки можливості точного керування та моніторингу обладнання, підприємства знижують кількість простоїв, підвищують продуктивність та забезпечують стабільну якість продукції. Інновації в цій сфері продовжують розвиватися, відкриваючи нові шляхи для досягнення конкурентних переваг у промисловості [19].

1.6. Вплив штучного інтелекту та машинного навчання на автоматизацію станків ЧПУ HAAS VF-2

Вплив штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН) на автоматизацію станків з числовим програмним управлінням (ЧПУ), таких як HAAS VF-2, стає одним із ключових чинників у сучасному виробництві. ШІ і МН відкривають нові можливості для оптимізації виробничих процесів,

підвищення продуктивності, зниження витрат та покращення якості продукції. В умовах глобальної цифрової трансформації і четвертої промислової революції (Індустрія 4.0), інтеграція інтелектуальних технологій з обладнанням ЧПУ є важливим кроком у створенні повністю автоматизованих та гнучких виробничих ліній.

Визначення ролі штучного інтелекту та машинного навчання

Штучний інтелект — це галузь комп'ютерних наук, що фокусується на розробці систем, здатних виконувати завдання, які зазвичай вимагають людської інтелектуальної участі. Це включає аналіз великих даних, ухвалення рішень у режимі реального часу та автоматичне навчання. Машинне навчання, в свою чергу, є підгалуззю ШІ, що спеціалізується на розробці алгоритмів, які дозволяють комп'ютерам навчатися з досвіду, аналізувати дані і робити прогнози або ухвалювати рішення без потреби у програмуванні кожної операції.

Основні напрями впровадження ШІ та МН у ЧПУ HAAS VF-2

Інтеграція технологій ШІ та МН у станки ЧПУ, такі як HAAS VF-2, може бути реалізована через кілька ключових напрямів. Ці технології допомагають поліпшити керування станками, автоматизувати контроль якості, оптимізувати обробку матеріалів та забезпечити більш гнучку і надійну роботу [20].

1. Оптимізація режимів роботи станків

Один з основних напрямів використання ШІ і МН на ЧПУ-станках — це автоматична оптимізація параметрів обробки в реальному часі. Системи ШІ аналізують дані, що надходять із сенсорів і контролерів станка, і використовують ці дані для адаптації робочих режимів, таких як швидкість різання, подача інструменту та обертання шпинделя. Наприклад, система може виявити, що при обробці певного типу матеріалу на високих швидкостях збільшується зношування інструменту, і автоматично знизить швидкість для

забезпечення довшого терміну служби інструменту та покращення якості обробки.

2. Прогнозування зносу інструменту та технічного обслуговування ШІ та МН дозволяють прогнозувати знос інструментів та необхідність технічного обслуговування станка. Це досягається через аналіз даних, таких як вібрація, температура, тиск і шум, що генеруються під час роботи станка. Алгоритми машинного навчання можуть порівнювати поточні параметри роботи з історичними даними і виявляти тенденції, що вказують на знос або можливі поломки. Це дозволяє заздалегідь планувати заміну інструментів або проведення технічного обслуговування, знижуючи ризик аварійних зупинок та мінімізуючи простої.

3. Інтелектуальне керування виробничими процесами Інтелектуальні системи керування на основі ШІ можуть автоматично коригувати роботу всіх компонентів виробничого процесу, що включає станки ЧПУ, роботи, конвеєрні системи та інші виробничі лінії. Наприклад, в інтегрованому виробничому середовищі, де ЧПУ HAAS VF-2 працює разом з іншими автоматизованими системами, ШІ може оптимізувати потік матеріалів між різними вузлами, забезпечуючи безперебійну роботу всієї лінії та підвищуючи загальну продуктивність.

4. Контроль якості у режимі реального часу Системи машинного навчання можуть бути використані для автоматичного контролю якості продукції. На станках HAAS VF-2 це може включати аналіз оброблених деталей за допомогою датчиків або оптичних систем. Алгоритми ШІ можуть порівнювати зображення або дані від сканерів з еталонними зразками та виявляти дефекти, такі як відхилення від заданих розмірів або нерівності поверхні. Такий підхід дозволяє виявляти браковані деталі ще на етапі виробництва та оперативно вживати заходів для коригування процесу.

5. Адаптивні системи навчання та самонавчання Машинне навчання дозволяє створювати системи, які можуть навчатися на

основі накопиченого досвіду. Це означає, що системи керування ЧПУ можуть поступово вдосконалювати свої алгоритми керування на основі зібраних даних. Наприклад, станок HAAS VF-2, оснащений системою машинного навчання, може автоматично покращувати свої параметри обробки на основі історичних даних про різні типи матеріалів та інструментів. Така адаптивна система дозволяє постійно підвищувати ефективність виробництва, знижуючи кількість помилок і простоїв [21].

Реальні приклади впровадження ШІ та МН на станках ЧПУ

Приклад 1: Використання машинного навчання для прогнозування зносу інструменту на автомобільному заводі

На великому автомобільному заводі, що спеціалізується на виготовленні двигунів, було впроваджено систему штучного інтелекту та машинного навчання для прогнозування зносу інструментів на станках ЧПУ HAAS VF-2. Завод стикався з проблемами частих аварійних зупинок через передчасний знос різальних інструментів, що призводило до значних втрат у продуктивності.

Рішення:

Інженери впровадили систему машинного навчання, яка аналізувала дані з датчиків, встановлених на станках HAAS VF-2. Дані включали показники температури, тиску, швидкості обертання шпинделя та вібрації під час обробки. Використовуючи алгоритми машинного навчання, система прогнозувала, коли інструмент досягне критичного рівня зносу, і автоматично сигналізувала про необхідність його заміни.

Результати:

Кількість аварійних зупинок через знос інструментів зменшилась на 40%.

Час простоїв був знижений на 25%.

Завдяки прогнозованій заміні інструментів, продуктивність виробництва зросла на 15%, а витрати на обслуговування обладнання значно знизилися.

Цей приклад показує, як машинне навчання дозволило підприємству оптимізувати роботу ЧПУ HAAS VF-2, зменшивши втрати та підвищивши загальну ефективність виробництва [22].

Приклад 2: Використання штучного інтелекту для контролю якості на фармацевтичному підприємстві

Фармацевтична компанія, яка виробляє медичне обладнання, використовувала ЧПУ HAAS VF-2 для виготовлення високоточних компонентів. Якість продукції є критично важливою для фармацевтичної галузі, оскільки навіть незначні дефекти можуть вплинути на функціональність та безпеку кінцевих продуктів.

Рішення:

Компанія впровадила систему штучного інтелекту для автоматичного контролю якості в процесі виготовлення деталей. ШІ аналізував дані від оптичних систем та лазерних сканерів, які перевіряли точність розмірів і поверхні кожної деталі, що виготовлялась на станках HAAS VF-2. Система навчалася на великій кількості даних і автоматично виявляла дефекти, що могли бути пропущені під час ручної перевірки.

Результати:

Якість продукції покращилася на 20%.

Кількість бракованих деталей знизилася на 30%.

Процес перевірки якості був автоматизований, що дозволило скоротити час на контроль та підвищити загальну швидкість виробництва.

Цей приклад демонструє, як ШІ може покращити контроль якості під час роботи з ЧПУ-станками, забезпечуючи безпеку та надійність виробничого процесу.

Приклад 3: Інтеграція штучного інтелекту для адаптації виробничих процесів у реальному часі на заводі електроніки

Завод з виробництва компонентів для електроніки зіткнувся з викликом частої зміни виробничих завдань через змінні вимоги замовників. Щоб зменшити час на переналаштування станків ЧПУ HAAS VF-2 і забезпечити гнучкість виробництва, завод вирішив впровадити технології штучного інтелекту [23].

Рішення:

ШІ був інтегрований у систему керування ЧПУ, що дозволило автоматично налаштовувати параметри обробки під час зміни завдань. Алгоритми машинного навчання аналізували дані про типи матеріалів, інструменти та режими роботи, які використовувалися на різних етапах виробництва, і автоматично коригували параметри для забезпечення оптимальної продуктивності.

Результати:

Час переналаштування станків скоротився на 50%.

Завод зміг швидко адаптуватися до нових замовлень, збільшивши загальну гнучкість виробництва.

Продуктивність виробничої лінії зросла на 25%, а кількість помилок, пов'язаних із людським втручанням, знизилася.

Цей приклад показує, як використання ШІ та МН допомогло підприємству покращити продуктивність, гнучкість та конкурентоспроможність на ринку.

Приклад 4: Прогнозне технічне обслуговування на металургійному підприємстві

Металургійний завод, який використовує ЧПУ HAAS VF-2 для обробки металів, впровадив прогнозне технічне обслуговування, щоб уникнути частих аварійних зупинок, які призводили до значних фінансових втрат. Постійні

зупинки через поломки або зношені деталі негативно впливали на виробничі цикли і продуктивність [24].

Рішення:

Завод встановив систему ШІ та МН, яка здійснювала моніторинг стану обладнання в реальному часі. Алгоритми машинного навчання аналізували дані про температуру, вібрацію та інші параметри станків і прогнозували, коли виникне необхідність у проведенні технічного обслуговування або заміні деталей.

Результати:

Кількість аварійних зупинок знизилася на 40%.

Завод зміг планувати технічне обслуговування в зручний час, що зменшило вплив на виробничі цикли.

Витрати на ремонт та обслуговування знизилися на 30%, оскільки поломки вдавалось попереджувати на ранніх етапах.

Прогнозне технічне обслуговування на основі ШІ допомогло підприємству забезпечити безперервність виробничих процесів та знизити операційні витрати.

Приклад 5: Використання штучного інтелекту для оптимізації енергоспоживання

На великому підприємстві з виготовлення побутової техніки було впроваджено систему ШІ для оптимізації енергоспоживання станків ЧПУ HAAS VF-2. Завод стикався з високими витратами на електроенергію, що складало значну частину загальних операційних витрат.

Рішення:

Інженери впровадили систему штучного інтелекту, яка в реальному часі аналізувала дані про енергоспоживання кожного станка. Алгоритми машинного навчання автоматично коригували режими роботи станків залежно від навантаження, типу оброблюваних матеріалів і часу роботи, щоб мінімізувати витрати електроенергії [26].

Результати:

Енергоспоживання на виробництві знизилося на 20%.

Завод зміг скоротити витрати на електроенергію, не знижуючи продуктивності.

Автоматизація управління енергією також допомогла підвищити стабільність роботи обладнання і зменшити навантаження на електромережу.

Цей приклад ілюструє, як штучний інтелект може не тільки покращити продуктивність і якість, але й допомогти оптимізувати використання ресурсів, що є важливим аспектом у сучасній промисловості.

Висновок

Приклади реального впровадження штучного інтелекту та машинного навчання на станках ЧПУ, таких як HAAS VF-2, демонструють значний потенціал цих технологій для підвищення ефективності виробничих процесів. Вони дозволяють не тільки автоматизувати контроль якості та оптимізувати робочі параметри, але й забезпечують можливість прогнозного технічного обслуговування та зниження витрат на енергоспоживання. Інтеграція цих технологій є важливим кроком у розвитку сучасних автоматизованих виробництв, що дозволяє підприємствам знижувати витрати, підвищувати гнучкість та забезпечувати стабільну якість продукції. Використання великих даних для оптимізації процесів

Штучний інтелект і машинне навчання не можуть працювати без даних, тому важливим аспектом їхнього впровадження є збір і аналіз великих обсягів інформації. На сучасних виробництвах ЧПУ-станки, такі як HAAS VF-2, постійно генерують величезні масиви даних про кожен процес обробки. Ці дані можуть включати інформацію про швидкість обробки, стан інструменту, температуру, знос, потужність двигунів, вібрації, і навіть показники якості готових деталей.

Великі дані дозволяють системам ШІ та МН отримувати детальне розуміння того, як різні фактори впливають на виробничий процес.

Наприклад, аналіз історичних даних може показати, що певні інструменти зношуються швидше за певних умов обробки, що дозволяє адаптувати режими роботи для збільшення терміну їхньої служби. Крім того, системи можуть виявляти приховані закономірності, що допомагають оптимізувати роботу обладнання та знизити споживання енергії [28].

Переваги та виклики впровадження ШІ та МН у ЧПУ

Переваги:

1. Підвищення продуктивності: Автоматичне коригування параметрів роботи в реальному часі забезпечує більш ефективну обробку деталей без втрат часу на ручне налаштування.
2. Зниження кількості простоїв: Прогнозне обслуговування знижує кількість аварійних зупинок і дозволяє планувати заміну інструментів та технічне обслуговування.
3. Покращення якості продукції: Інтелектуальні системи контролю якості в режимі реального часу забезпечують виявлення дефектів на ранніх етапах і знижують кількість браку.
4. Енергоефективність: Оптимізація режимів роботи на основі даних допомагає знизити споживання енергії, що є важливим фактором у великих виробничих лініях.

Виклики:

1. Необхідність збору великих обсягів даних: Для ефективного використання ШІ та МН потрібно впроваджувати системи збору й аналізу даних, що може вимагати додаткових інвестицій.
2. Інтеграція з існуючими системами: Підприємства можуть зіткнутися з труднощами інтеграції нових інтелектуальних систем з уже існуючими виробничими лініями.
3. Навчання персоналу: Для успішного впровадження ШІ потрібна підготовка персоналу, який буде працювати з новими технологіями та підтримувати їхню роботу [29].

Вплив штучного інтелекту та машинного навчання на автоматизацію станків ЧПУ, таких як HAAS VF-2, є величезним і перспективним. Інтеграція цих технологій дозволяє значно покращити управління виробничими процесами, оптимізувати обробку матеріалів, прогнозувати технічне обслуговування і забезпечувати високу якість продукції. ШІ і МН відкривають нові можливості для підприємств у різних галузях, дозволяючи знижувати витрати і підвищувати продуктивність, що стає особливо важливим у сучасному конкурентному середовищі.

1.7. Прогноз розвитку галузі на найближчі 5-10 років

Прогноз розвитку галузі ЧПУ-станків, таких як HAAS VF-2, і програмованих логічних контролерів (ПЛК), таких як Allen-Bradley, на найближчі 5-10 років передбачає кардинальні зміни завдяки стрімкому розвитку технологій. Галузь перебуває на межі четвертої промислової революції (Індустрія 4.0), яка характеризується впровадженням кіберфізичних систем, штучного інтелекту, машинного навчання, Інтернету речей (IoT) та інших інновацій. Ці зміни вплинуть не лише на технічні характеристики обладнання, але й на підходи до управління виробничими процесами, моделі обслуговування та рівень автоматизації підприємств.

1. Підвищення рівня автоматизації виробництв

У найближчі 5-10 років передбачається значне підвищення рівня автоматизації у виробничих процесах. ЧПУ-станки, такі як HAAS VF-2, будуть дедалі більше інтегруватися у комплексні автоматизовані виробничі лінії, які працюватимуть майже без втручання людини. Програмовані логічні контролери (ПЛК), такі як Allen-Bradley, відіграватимуть ключову роль у координації роботи різного обладнання, включаючи станки ЧПУ, роботизовані системи, конвеєри та інші компоненти виробничих процесів.

Інтеграція ПЛК з ЧПУ дозволить автоматизувати більшість процесів налаштування, обробки матеріалів та контролю якості, що суттєво скоротить час виробничих циклів і підвищить точність обробки. Такі технології як штучний інтелект і машинне навчання, що вже активно впроваджуються, розвиватимуться й надалі, дозволяючи системам самостійно оптимізувати виробничі процеси, підлаштовувати параметри роботи під умови в реальному часі та автоматично реагувати на зміни [13].

2. Інтеграція штучного інтелекту (ШІ) та машинного навчання (МН)

Одним із головних напрямків розвитку галузі стане поглиблена інтеграція ШІ та МН у процеси управління обладнанням. На основі аналізу великих даних (Big Data), системи керування зможуть приймати рішення швидше і точніше, ніж це можливо на сьогоднішній день. ШІ буде використовуватися для прогнозування зносу інструментів, оптимізації процесів у режимі реального часу, управління технічним обслуговуванням і навіть для планування виробничих завдань.

Прогнозне технічне обслуговування, яке базується на штучному інтелекті, стане стандартом у багатьох галузях. Це дозволить значно скоротити витрати на ремонт і обслуговування обладнання, а також знизити кількість аварійних простоїв. Завдяки машинному навчанню ЧПУ-станки та ПЛК зможуть адаптуватися до умов роботи та покращувати свої алгоритми управління на основі накопиченого досвіду.

3. Розвиток Інтернету речей (IoT) та промислового Інтернету речей (IIoT)

Інтернет речей (IoT) відіграє все більшу роль у промисловості, і цей тренд продовжуватиметься. Промисловий Інтернет речей (IIoT) дозволить підключати станки ЧПУ, ПЛК, датчики та інші елементи виробничих ліній до єдиної мережі, що надасть можливість контролювати та керувати виробничими процесами в режимі реального часу.

Підключені виробничі системи нададуть доступ до великої кількості даних, що допоможе покращити моніторинг обладнання, аналіз ефективності роботи та виявляти можливості для оптимізації. Завдяки інтеграції IoT підприємства зможуть ефективніше використовувати ресурси, зменшити енерговитрати та швидше реагувати на зміни у виробничому середовищі. Очікується, що до 2030 року більшість великих виробництв будуть повністю інтегровані в IoT-мережі [30].

4. Перехід до хмарних технологій

Управління виробничими процесами на основі хмарних технологій (cloud computing) також набирає популярності і стане одним з ключових напрямів розвитку галузі в найближчі роки. Системи управління ЧПУ і ПЛК будуть дедалі частіше використовувати хмарні платформи для зберігання і обробки даних.

Використання хмарних технологій дозволить зменшити витрати на інфраструктуру, забезпечити доступ до даних з будь-якої точки світу, а також розширити можливості для аналітики та прогнозування. Крім того, хмарні рішення дозволять компаніям легко інтегрувати нове обладнання у вже існуючі системи та швидко масштабувати виробництво за потреби. Такий підхід зробить управління виробництвом більш гнучким і дозволить швидше впроваджувати нові технології.

5. Інтеграція роботизованих систем

З кожним роком роботизовані системи стають все більш поширеними у виробничих процесах, і цей тренд буде продовжуватись. Інтеграція роботів з ЧПУ і ПЛК дозволить створювати повністю автоматизовані виробничі лінії, де роботи виконуватимуть завдання завантаження, розвантаження, транспортування матеріалів і навіть складання продукції.

Програмовані логічні контролери відіграватимуть ключову роль в управлінні такими роботизованими системами, забезпечуючи точну координацію між різними елементами виробничих ліній. Це дозволить досягти

більш високого рівня продуктивності, знизити витрати на робочу силу та підвищити якість продукції.

6. Персоналізація виробництва і масова кастомізація

Інновації у сфері автоматизації та ЧПУ також змінюватимуть підходи до виробництва продукції, відкриваючи можливості для масової кастомізації. Завдяки високому рівню автоматизації, компанії зможуть швидко адаптувати свої виробничі лінії під різні індивідуальні замовлення, не втрачаючи при цьому продуктивності [1].

ШІ та ЧПУ дозволять автоматично налаштовувати параметри виробництва для кожного замовлення, забезпечуючи можливість виготовлення персоналізованих товарів на масовому рівні. Це особливо важливо для галузей, таких як автомобільна, авіаційна, побутова електроніка та навіть медицина, де індивідуальні характеристики продукції можуть бути важливими.

7. Підвищення безпеки виробництва

У наступні роки важливою тенденцією буде подальший розвиток технологій, які підвищують безпеку на виробництві. Завдяки автоматизованим системам моніторингу та контролю, що базуються на штучному інтелекті та ПЛК, підприємства зможуть забезпечити безпечніші умови праці.

Системи безпеки, інтегровані з ЧПУ та ПЛК, дозволять автоматично зупиняти обладнання в разі виявлення аварійних ситуацій або інших загроз. Завдяки технологіям машинного навчання такі системи зможуть прогнозувати потенційні ризики та вживати заходів для їх уникнення, знижуючи рівень травматизму на виробництві.

8. Енергоефективність та стійкість виробництв

Сучасні тенденції також включають зростаючу увагу до енергоефективності та екологічної стійкості виробництв. ПЛК і ЧПУ, оснащені інтелектуальними системами керування енергією, дозволять

оптимізувати споживання ресурсів, що сприятиме зниженню витрат на електроенергію та зменшенню викидів вуглекислого газу [32].

Прогнозується, що в найближчі 5-10 років інтелектуальні енергозберігаючі технології будуть впроваджуватися у більшість виробничих процесів. Це дозволить підприємствам не лише знизити витрати, але й відповідати новим вимогам екологічних стандартів, які стають дедалі суворішими в усьому світі.

9. Розвиток адитивних технологій (3D-друк)

Адитивні технології, такі як 3D-друк, продовжуватимуть впроваджуватись у виробництво поряд з традиційними методами обробки матеріалів. ЧПУ-станки та ПЛК відіграватимуть важливу роль в інтеграції цих технологій у виробничі лінії. 3D-друк дозволить значно скоротити час на виготовлення прототипів, а також виробництво складних деталей із нестандартними формами.

Завдяки ЧПУ і ПЛК, що працюють у зв'язці з 3D-друком, підприємства зможуть виробляти унікальні деталі в межах одного виробничого циклу, що сприятиме подальшій кастомізації продукції та зниженню витрат на її виготовлення.

Прогноз розвитку галузі ЧПУ і ПЛК на найближчі 5-10 років передбачає радикальні зміни, спричинені впровадженням новітніх технологій, таких як штучний інтелект, машинне навчання, Інтернет речей та хмарні рішення. Ці технології допоможуть підвищити рівень автоматизації, гнучкості та продуктивності виробничих процесів, знижуючи при цьому витрати на енергію та технічне обслуговування.

Підприємства, які активно впроваджують ці інновації, отримують значні переваги на ринку, оскільки зможуть швидше адаптуватися до змін, забезпечувати високу якість продукції та знижувати витрати. Індустрія 4.0 поступово стає реальністю, і саме інтеграція ЧПУ та ПЛК з новітніми технологіями є важливим кроком до досягнення цієї мети [33].

Розділ 2. МЕТОДИ ПІДВИЩЕННЯ ПРОДУКТИВНОСТІ ВЕРСТАТІВ ЧПК ЗА ДОПОМОГОЮ ПЛК

2.1 Створення математичної моделі головного привода HAAS VF-2

Створення математичної моделі головного привода верстата HAAS VF-2 є комплексною задачею, яка включає в себе аналіз кінематики та динаміки системи, її електромеханічні характеристики, а також моделювання системи керування на основі сучасних методів аналізу та числових обчислень. Головний привод верстата HAAS VF-2 відповідає за переміщення різального інструменту відносно заготовки, що є ключовим для забезпечення точності обробки та продуктивності обладнання [13].

Основні етапи створення математичної моделі головного привода

Математична модель головного привода необхідна для розуміння динамічних процесів, що відбуваються під час роботи обладнання. Вона дозволяє визначити, як впливають різні параметри системи на роботу привода та на якість обробки матеріалів. Основними етапами побудови моделі є:

1. Визначення фізичних характеристик головного привода.
2. Побудова математичних рівнянь для опису процесів, які відбуваються в системі привода.
3. Виведення динамічних характеристик та моделей керування.
4. Валідація математичної моделі на основі експериментальних даних [1].

Опис фізичних характеристик головного привода

Головний привод верстата HAAS VF-2 включає в себе кілька основних компонентів: електродвигун, систему передач, кінематичні ланцюги та шпindelний вузол. Кожен із цих компонентів вносить свій внесок у загальні характеристики привода, такі як швидкість, прискорення, точність позиціонування та стабільність роботи.

- Електродвигун: Основним елементом головного привода є електродвигун, який перетворює електричну енергію на механічну. Для побудови моделі важливо врахувати параметри двигуна, такі як потужність, момент інерції ротора, кількість полюсів та номінальна швидкість обертання. Для верстатів типу HAAS VF-2 зазвичай використовуються двигуни постійного струму або трифазні асинхронні двигуни.

- Передача: Передача руху від двигуна до робочого інструменту здійснюється через систему передач, яка може бути реалізована у вигляді ремінної передачі або зубчастої передачі. Важливо визначити передавальні відношення та коефіцієнти втрат у цій системі для правильного відображення реальних умов роботи.

- Кінематична система: Від двигуна через систему передач шпindelь обертає інструмент. У випадку верстата HAAS VF-2 використовуються високоточні системи передач, що дозволяє досягати необхідної точності при обробці деталей [15].

Математична модель електродвигуна

Для опису роботи електродвигуна головного привода використовуються класичні рівняння електромеханічних систем. Якщо основою є асинхронний двигун, модель можна побудувати на базі рівнянь, що описують поведінку індуктивних контурів:

$$U = R \cdot I + L \cdot dt/dI + E,$$

де:

- U — напруга на обмотках двигуна;
- R — активний опір обмотки;
- I — струм у контурі;
- L — індуктивність обмотки;
- E — електрорушійна сила, що виникає при русі ротора.

З іншого боку, механічна частина моделі описується рівнянням моменту:

$$J \cdot d\omega/dt = M_{ел} - M_{нагр},$$

де:

- J — момент інерції ротора та системи передач;
- ω — кутова швидкість обертання ротора;
- $M_{ел}$ — електромагнітний момент двигуна;
- $M_{нагр}$ — момент навантаження на валу двигуна.

Також для точного моделювання слід враховувати нелінійності у відносинах між струмом і моментом двигуна, а також враховувати втрати на тертя і вихрові струми.

Запропонована система автоматичного керування, структурна схема якої приведена на рисунку 2.1. [16]

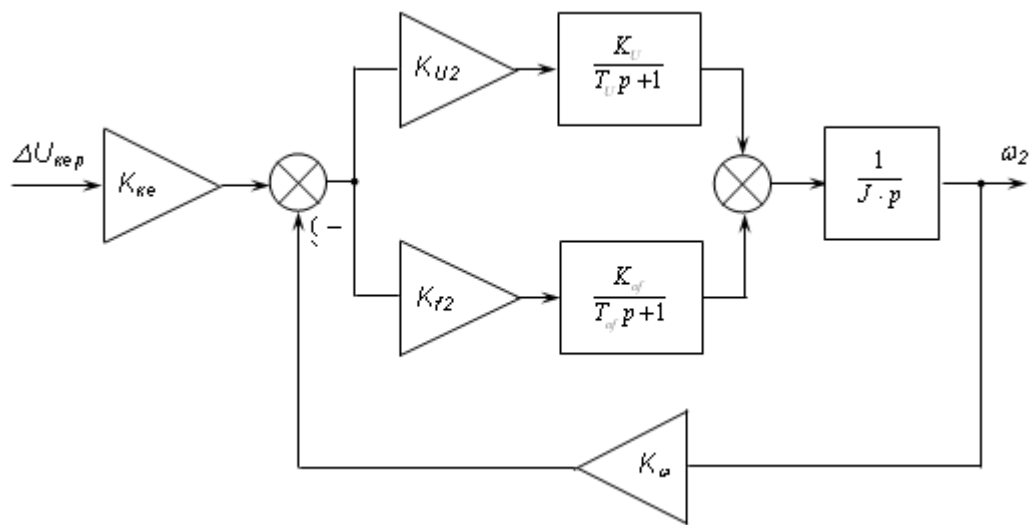


Рисунок 2.1. Спрощена структурна схема системи автоматичного керування.

Позначенням на схемі відповідають:

$\Delta U_{кер}$ – задаючий сигнал;

$K_{кер}$ – коефіцієнт, що корегує значення задаючого сигналу;

K_U – коефіцієнт передачі регулятора швидкості за напругою;

T_U – стала часу регулятора швидкості за напругою;

$K_{\omega f}$ – коефіцієнт передачі регулятора швидкості за частотою;

$T_{\omega f}$ – стала часу регулятора швидкості за частотою;

J – момент інерції вала двигуна;

K_{ω} – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю;

K_{U2} – коефіцієнт, що забезпечує постійне відношення керуючої напруги до керуючої частоти;

K_{f2} – коефіцієнт, що складається із двох передаточних функцій:

Передаточна функція електромагнітної системи, що встановлює зв'язок відхилень швидкості обертання магнітного поля $\Delta\omega_0$ асинхронного двигуна й частоти задаючого генератора:

$$W_{EM}(p) = \frac{\Delta\omega_0}{\Delta f_G} = \frac{2\pi}{3p_\tau} \quad (2.1.1)$$

де p_τ - число пар полюсів двигуна. Оскільки частота задаючого генератора у три рази перевищує частоту напруги на статорній обмотці приводного двигуна, то у знаменнику мається трійка.

Передаточна функція задаючого генератора в автономному інверторі – безінерційної й лінійної ланки виражається коефіцієнтом передачі:

$$W_{\Gamma 1}(p) = \frac{\Delta f_{\Gamma}}{\Delta U_c(p)} = K_{\Gamma} \quad (2.1.2)$$

Таким чином, коефіцієнт K_{f2} буде дорівнювати:

$$K_{f2} = W_{EM}(p) \cdot W_{\Gamma}(p) = \frac{2\pi}{3p_{\tau}} \cdot K_{\Gamma} \quad (2.1.3)$$

Значення коефіцієнтів передачі та сталих часу K_u , T_u , K_{of} , T_{of} при номінальному режимі були розраховані у розділі 4.4. Їхні значення при режимах, відмінних від номінального подані у таблицях Д1 – Д4 додатків.

Значення електромеханічної сталої часу двигуна ТЕМ можна розрахувати за формулою: [17]

$$T_{EM} = \frac{J \cdot \omega_{ном}}{M_{ном}} \quad (2.1.4)$$

де J – момент інерції двигуна, кг·м²;

$\omega_{ном}$ – номінальна кутова швидкість двигуна, с⁻¹;

$M_{ном}$ – номінальний навантажуючий момент двигуна, Н·м;

Підставляючи всі вищеперераховані дані для нашого двигуна у формулу (2.1.4) отримаємо:

$$T_{EM} = \frac{0,64 \cdot 157,08}{355,88} = 0,28 \text{ с.}$$

Для забезпечення якості перехідного процесу коефіцієнт зворотного зв'язку K_{ω} можна підібрати шляхом математичного моделювання за допомогою ПЕОМ. За завданням до дипломного проекту значення перерегулювання σ не повинно перевищувати 10%, а час регулювання τ не повинен перевищувати 0,5 с.

Ця модель дозволяє аналізувати динаміку головного привода в різних режимах роботи та налаштовувати параметри системи керування для досягнення оптимальної продуктивності [3].

Валідація моделі та порівняння з експериментальними даними

Останнім етапом є валідація математичної моделі за допомогою експериментальних даних. Для цього проводяться експерименти з реальним верстатом, під час яких вимірюються основні параметри, такі як швидкість, прискорення та точність позиціонування. Порівняння результатів моделювання з експериментальними даними дозволяє скорегувати модель і забезпечити її точність.

Для верстатів типу HAAS VF-2 часто використовуються комп'ютерні симуляції на основі отриманих математичних моделей, що дозволяє без ризику пошкодження обладнання перевіряти різні режими роботи та аналізувати їхній вплив на продуктивність.

Створення математичної моделі головного привода верстата HAAS VF-2 є важливим етапом для аналізу його продуктивності та оптимізації роботи. Така модель дозволяє проводити числові експерименти та аналізувати вплив різних параметрів на ефективність роботи обладнання. Завдяки математичному моделюванню можна вдосконалити системи керування, зменшити енергоспоживання та підвищити точність обробки матеріалів [18].

2.2. Визначення ключових показників продуктивності станків ЧПУ

Визначення ключових показників продуктивності станків з числовим програмним управлінням (ЧПУ) є критично важливим етапом у аналізі та оптимізації роботи обладнання. Це дозволяє не тільки оцінити ефективність роботи станків, але й забезпечити можливості для їхньої модернізації та покращення виробничих процесів. Ключові показники продуктивності (КРІ, Key Performance Indicators) відображають рівень використання обладнання, якість виготовленої продукції, швидкість виконання операцій, а також ефективність витрат. Аналіз цих показників допомагає визначити "вузькі місця" у виробничих процесах і підвищити загальну ефективність виробництва.

Важливим аспектом є також інтеграція сучасних методів моніторингу і керування виробничими процесами. Наприклад, використання цифрових систем контролю та діагностики дозволяє постійно відстежувати ключові показники станків ЧПУ в реальному часі, виявляти будь-які відхилення від нормальних режимів роботи та оперативно реагувати на них. Це, в свою чергу, допомагає зменшити кількість простоїв та забезпечити безперебійну роботу обладнання.

Для досягнення максимальної ефективності часто використовуються методи профілактичного обслуговування, які базуються на аналізі ключових показників продуктивності. Наприклад, якщо показники надійності свідчать про поступове зниження стабільності роботи обладнання, можна заздалегідь планувати технічне обслуговування, щоб уникнути непередбачених простоїв. Це допомагає знизити витрати на ремонт і підвищити загальну продуктивність виробництва [4].

Додатково варто звернути увагу на роль автоматизації в підвищенні ефективності роботи станків ЧПУ. Сучасні системи автоматизації, зокрема програмовані логічні контролери (ПЛК), дозволяють автоматично коригувати

робочі параметри станків на основі аналізу реальних даних про їхню продуктивність. Це забезпечує високу точність і стабільність виробничих процесів, знижуючи вплив людського фактора.

Визначення та аналіз ключових показників продуктивності дозволяє ефективніше використовувати наявне обладнання, знижувати витрати на енергію та матеріали, а також покращувати загальну якість продукції. Завдяки сучасним інструментам моніторингу та автоматизації підприємства можуть досягти більш високого рівня продуктивності, зберігаючи стабільну роботу обладнання та забезпечуючи ефективне використання ресурсів.

Для підвищення ефективності також важливим є врахування специфічних характеристик кожного виробництва та обладнання. Наприклад, в залежності від типу матеріалу, що обробляється, режимів роботи, а також вимог до кінцевого продукту, можуть змінюватися вимоги до точності, швидкості обробки та енергоспоживання. Таким чином, КРІ мають бути адаптовані до конкретних виробничих умов для отримання найбільш релевантних результатів [4].

Нарешті, аналіз ключових показників продуктивності є безперервним процесом. Оскільки технології розвиваються, вимоги до якості та ефективності постійно зростають, тому підприємства повинні регулярно переглядати свої методики оцінки продуктивності, щоб відповідати новим викликам і можливостям. Інтеграція нових рішень, таких як штучний інтелект і великі дані, може забезпечити додаткові переваги для аналізу та оптимізації роботи станків ЧПУ.

Основні ключові показники продуктивності станків ЧПУ

Показники продуктивності можуть відрізнятися залежно від типу виробництва, характеристик станків і вимог до якості продукції. Основними показниками є:

1. Продуктивність станка (виробнича швидкість).
2. Точність обробки.

3. Надійність і коефіцієнт безвідмовної роботи.
4. Час виконання циклу обробки.
5. Енергоефективність.
6. Коефіцієнт завантаження обладнання.
7. Частка браку та якість виготовленої продукції.

Продуктивність станка

Продуктивність станка ЧПУ вимірюється кількістю оброблених деталей або виконаних операцій за певний період часу. Вона є одним із найважливіших показників, оскільки напряду впливає на виробничу ефективність і економічні результати. Продуктивність визначається швидкістю обробки, яка залежить від таких факторів, як швидкість переміщення інструменту, потужність головного привода, тип матеріалу, що обробляється, і вимоги до точності [5].

Математична формула для розрахунку продуктивності виглядає наступним чином:

$$P=N/T,$$

де:

- P — продуктивність (кількість деталей за одиницю часу),
- N — кількість вироблених деталей,
- T — час, витрачений на виробництво.

Цей показник дозволяє оцінити ефективність використання станка у виробничому циклі. Важливою є можливість порівняння продуктивності різних станків або різних режимів роботи одного станка.

Точність обробки

Точність обробки — це здатність станка ЧПУ виконувати операції з мінімальними відхиленнями від заданих розмірів і форм. Цей показник є критично важливим у галузях, де висока точність обробки деталей має вирішальне значення, наприклад, в авіабудуванні, машинобудуванні, медичній індустрії тощо.

Точність обробки можна виразити через середньоквадратичне відхилення (СКВ), яке розраховується за формулою:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum (x_i - \bar{x})^2},$$

де:

- σ — середньоквадратичне відхилення,
- N — кількість вимірювань,
- x — виміряне значення параметра,
- \bar{x} — середнє значення параметра.

Мінімальне значення σ свідчить про високу точність обробки та малу кількість дефектів у виготовлених деталях.

Надійність і коефіцієнт безвідмовної роботи

Надійність роботи станка визначається тривалістю безперервної роботи без відмов, а також частотою та тривалістю простоїв. Важливим показником у цьому контексті є коефіцієнт безвідмовної роботи (MTBF — Mean Time Between Failures), який розраховується як середній час між відмовами системи.

Формула для розрахунку MTBF:

$$MTBF = T_{роб} / N_{відмов}$$

де:

- $T_{роб}$ — загальний час роботи системи,
- $N_{відмов}$ — кількість відмов за цей час.

Високий коефіцієнт безвідмовної роботи свідчить про надійність обладнання і зменшує витрати на ремонт та обслуговування.

Час виконання циклу обробки

Час циклу обробки визначає загальний час, необхідний для виконання певного завдання на станку ЧПУ, включаючи всі операції, такі як налаштування, обробка матеріалу, зміна інструментів та транспортування деталей. Скорочення часу виконання циклу без зниження якості продукції є важливим для підвищення продуктивності [24].

Формула для розрахунку часу циклу:

$$T_{\text{цикл}} = T_{\text{налаш}} + T_{\text{оброб}} + T_{\text{транс}} + T_{\text{зміна інструменту}},$$

де:

- $T_{\text{налаш}}$ — час налаштування,
- $T_{\text{оброб}}$ — час фактичної обробки,
- $T_{\text{транс}}$ — час транспортування,
- $T_{\text{зміна інструменту}}$ — час на зміну інструментів.

Зниження часу циклу дозволяє підвищити загальну продуктивність станка та зменшити витрати на виробництво.

Енергоефективність

Енергоефективність станка ЧПУ визначається як співвідношення між обсягом виробленої продукції та кількістю витраченої електроенергії. Оптимізація енергоспоживання є важливою задачею, оскільки вона дозволяє зменшити витрати на виробництво та підвищити загальну економічну ефективність виробництва.

Формула для розрахунку енергоефективності:

$$EE = P/E,$$

де:

- EE — енергоефективність,
- P — продуктивність,
- E — витрати енергії.

Оптимізація режимів роботи станка та використання енергоефективних компонентів (електродвигуни, інструменти) дозволяє підвищити цей показник.

Коефіцієнт завантаження обладнання

Коефіцієнт завантаження обладнання показує, наскільки ефективно використовуються ресурси станка. Він визначається як відношення фактичного часу роботи до загального доступного часу.

Формула для розрахунку коефіцієнта завантаження:

$$K_{\text{завантаж}} = T_{\text{фактичний}}/T_{\text{загальний}}$$

де:

- $T_{\text{фактичний}}$ — фактичний час роботи,
- $T_{\text{загальний}}$ — загальний доступний час.

Цей показник дозволяє визначити, наскільки ефективно використовується обладнання, і знайти можливості для підвищення продуктивності [6].

Частка браку та якість виготовленої продукції

Якість виготовленої продукції є ще одним важливим показником продуктивності станків ЧПУ. Частка браку визначається як відсоток дефектних деталей у загальному обсязі виготовленої продукції.

Формула для розрахунку частки браку:

$$Q_{\text{брак}} = N_{\text{брак}}/N_{\text{загальний}} \cdot 100\%, Q$$

де:

- $N_{\text{брак}}$ — кількість дефектних деталей,
- $N_{\text{загальний}}$ — загальна кількість виготовлених деталей.

Зниження частки браку є критично важливим для підвищення рентабельності виробництва.

Визначення ключових показників продуктивності станків ЧПУ є основним кроком у процесі підвищення ефективності виробництва. Аналіз таких показників, як продуктивність, точність обробки, надійність, час циклу, енергоефективність та частка браку, дозволяє отримати повну картину ефективності роботи станка. Це дає змогу виявити слабкі місця та впровадити заходи для їхньої оптимізації, що в свою чергу підвищує загальну ефективність роботи обладнання та знижує витрати [35].

Для двохмасової системи амплітуди форми коливань визначаються за формулою:

$$\begin{cases} u_1 = p^2 m_{np1} u_1 \delta_{11} + p^2 m_{np2} u_2 \delta_{12} \\ u_2 = p^2 m_{np1} u_1 \delta_{21} + p^2 m_{np2} u_2 \delta_{22} \end{cases},$$

де p – власна частота коливань;

u_1 – амплітуда форми коливань на кінці шпинделя, що відповідає певній власній частоті коливань;

u_2 – амплітуда форми коливань посередині міжопорної частини шпинделя, що відповідає певній власній частоті коливань;

$\delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{21}, \delta_{22}$ – коефіцієнти впливу податливостей;

m_{np1}, m_{np2} – приведені маси відповідно на кінці та посередині міжопорної частини шпинделя.

Розрахункова схема для визначення коефіцієнту впливу податливості δ_{11} приведена на рис.1.

За правилом Верещагіна коефіцієнт впливу податливості δ_{11} визначиться за залежністю:

$$\delta_{11} = \frac{1}{EI_2} M_1 \omega_1 + \frac{1}{EI_2} M_2 \omega_2,$$

M_1, M_2 – площі частин епюри згинних моментів від навантаження одиничною силою;

ω_1, ω_2 – величини одиничних моментів, що знаходяться під центрами ваги частин епюри M_1, M_2 відповідно.

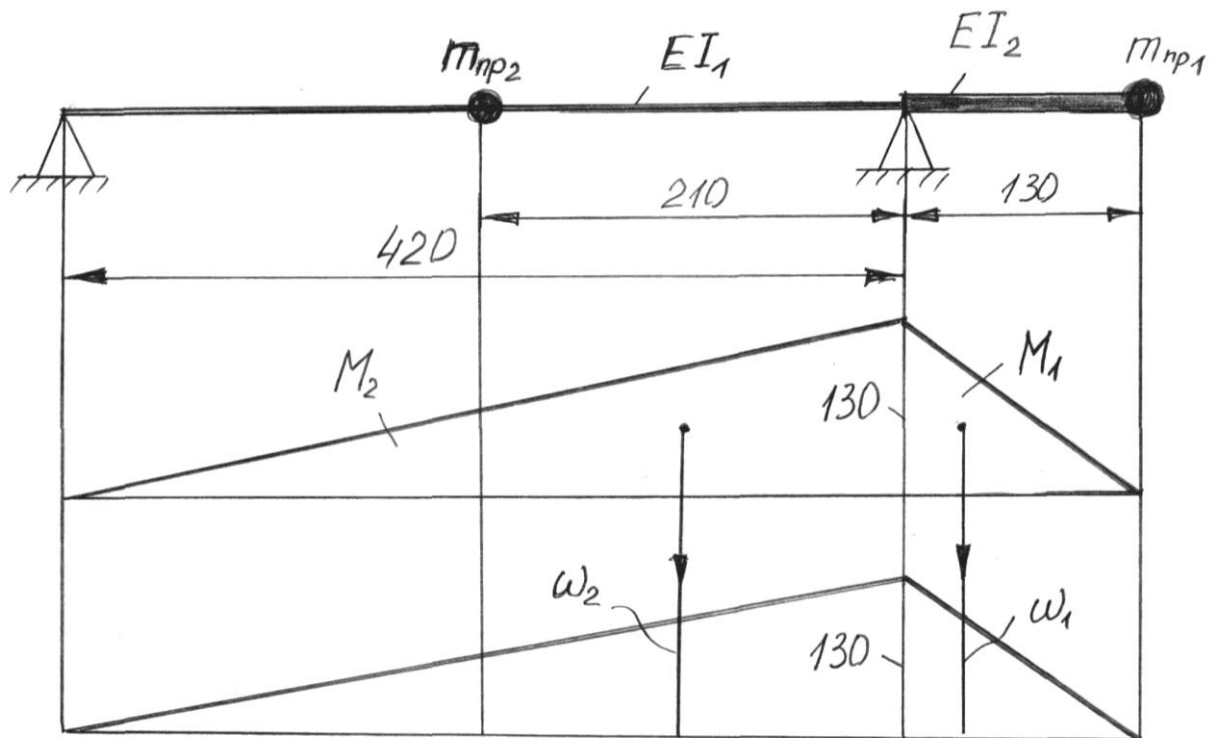


Рис. 2.1 – Розрахункова схема для визначення коефіцієнта впливу податливості δ_{11}

Підставивши відповідні значення у формулу отримаємо:

$$\delta_{11} = \frac{1}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 8164000} \cdot \frac{1}{2} \cdot 130 \cdot 130 \cdot \frac{2}{3} \cdot 130 + \frac{1}{2,1 \cdot 10^5 \cdot 5087781} \cdot \frac{1}{2} \cdot 420 \cdot 130 \cdot \frac{2}{3} \cdot 130 = 2,64 \cdot 10^{-6}$$

$$\frac{\text{мм}}{\text{Н}}$$

Розрахункова схема для визначення коефіцієнту впливу податливості δ_{22} приведена на рис.2.

За правилом Верещагіна коефіцієнт впливу податливості δ_{22} визначиться за залежністю:

$$\delta_{22} = \frac{1}{EI_1} (M_3 \omega_3 + M_4 \omega_4),$$

M_3, M_4 – площі частин епюри згинних моментів від навантаження одиничною силою;

ω_3, ω_4 – величини одиничних моментів, що знаходяться під центрами ваги частин епюри M_3, M_4 відповідно.

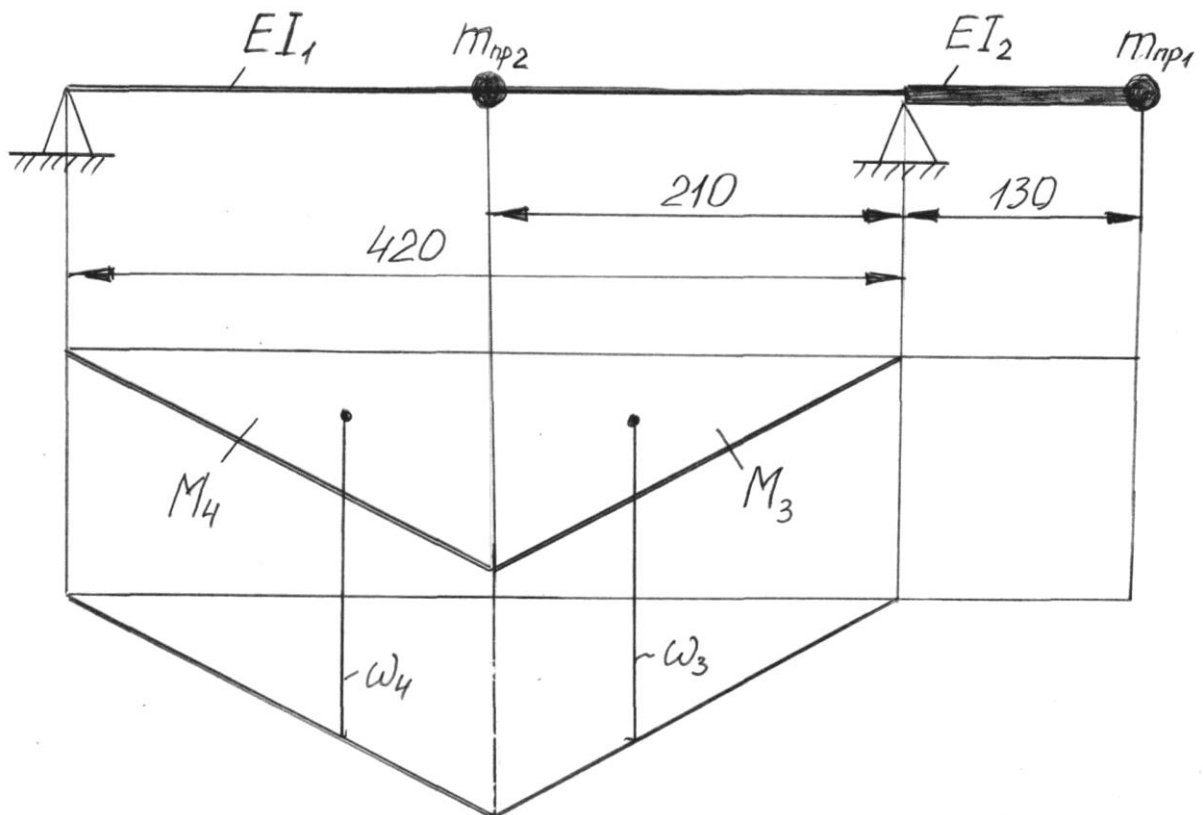


Рис. 2.2 – Розрахункова схема для визначення коефіцієнта впливу податливості δ_{22}

2.3. Оптимізація виробничих процесів за допомогою ПЛК

Програмовані логічні контролери (ПЛК) займають центральне місце в оптимізації виробничих процесів, завдяки своїй здатності гнучко керувати обладнанням, підлаштовуючись під потреби виробництва. У сучасному світі технологій, коли підприємства прагнуть досягти максимальної ефективності та автоматизації, роль ПЛК стала ключовою. Їхнє використання дає можливість створювати високоефективні автоматизовані системи, які здатні не тільки виконувати завдання, але й адаптуватися до змін у виробничих умовах.

Зниження простоїв та підвищення надійності

Один із найбільш вагомих аспектів впровадження ПЛК – це здатність знижувати простої обладнання та підвищувати його надійність. Завдяки постійному моніторингу стану виробничих ліній, ПЛК здатні прогнозувати потенційні несправності й завчасно вживати коригувальних заходів. Це дозволяє уникати аварійних зупинок та значно скоротити витрати, пов'язані з простоем.

Механізми прогнозного обслуговування, які підтримують сучасні ПЛК, допомагають заздалегідь виявляти проблеми в роботі обладнання. Наприклад, ПЛК можуть фіксувати зміну робочих характеристик таких елементів, як двигуни або насоси, та сигналізувати про необхідність їхньої заміни або обслуговування. Цей підхід дозволяє знизити частоту несправностей та підвищити безперервність виробничих процесів [21].

Ефективне використання ресурсів та енергоефективність

Ще однією важливою перевагою ПЛК є їхня здатність оптимізувати використання ресурсів, таких як енергія та матеріали. У багатьох випадках, автоматизація за допомогою ПЛК дозволяє значно знизити витрати на енергоспоживання. Це досягається завдяки можливості точно керувати режимами роботи обладнання, зокрема шляхом автоматичного вимкнення неактивних вузлів або перемикання обладнання в енергоощадний режим під час простоїв.

Наприклад, у виробничих процесах з великим споживанням енергії, таких як металургійна або хімічна промисловість, впровадження ПЛК дозволяє значно знизити витрати на електроенергію завдяки точному контролю температури, тиску та інших ключових параметрів. Це не тільки покращує ефективність роботи обладнання, але й знижує витрати на енергію, що є важливим чинником у сучасних умовах високих тарифів на електроенергію.

Підвищення якості продукції

ПЛК також мають значний вплив на підвищення якості продукції. Завдяки можливості точного контролю за всіма етапами виробництва, ПЛК дозволяють звести до мінімуму відхилення від заданих параметрів. Висока точність управління процесами, яку забезпечують ПЛК, дозволяє досягти стабільної якості продукції, що особливо важливо у виробництві високотехнологічних або складних компонентів, таких як деталі для автомобільної чи авіаційної промисловості [7].

Наприклад, у процесах обробки матеріалів ПЛК можуть точно контролювати швидкість різання, силу подачі та інші параметри, що впливають на якість кінцевого продукту. Крім того, вони дозволяють автоматизувати процес контролю якості, фіксуючи будь-які відхилення та негайно вносячи коригування в робочі параметри.

Інтеграція з іншими системами управління

Сучасні ПЛК можуть бути інтегровані з іншими інформаційними системами підприємства, такими як ERP (Enterprise Resource Planning) та MES (Manufacturing Execution Systems), що дозволяє забезпечити комплексний підхід до управління виробництвом. Це дозволяє не тільки автоматизувати роботу окремих виробничих ліній, але й забезпечити ефективне управління всією виробничою діяльністю, включаючи планування, моніторинг і аналіз витрат.

Інтеграція ПЛК з ERP-системами дозволяє підприємствам точно відстежувати використання матеріалів, контролювати запаси та планувати замовлення з урахуванням реальних потреб виробництва. Крім того, це дозволяє забезпечити своєчасне виконання замовлень і мінімізувати ризики простоїв через нестачу матеріалів або інших ресурсів.

Швидке налаштування та гнучкість у виробництві

Ще однією перевагою використання ПЛК є їхня здатність забезпечувати гнучкість у виробничих процесах. Завдяки можливості швидкого

перепрограмування, ПЛК дозволяють легко адаптувати виробничі лінії до нових завдань або змін у виробничих умовах. Це особливо важливо у випадках, коли виробництво потребує швидкої зміни конфігурації або параметрів роботи обладнання [1].

Наприклад, якщо виробнича лінія повинна переключитися на виготовлення нової продукції або змінити режим роботи через нові вимоги ринку, ПЛК дозволяють швидко внести відповідні зміни в робочі параметри обладнання. Це не тільки знижує час простоїв, пов'язаних з налаштуванням обладнання, але й дозволяє підприємствам залишатися гнучкими та швидко реагувати на змінні вимоги ринку.

Використання ПЛК для роботизованих систем

У багатьох сучасних виробництвах роботизовані системи є невід'ємною частиною виробничого процесу, і ПЛК відіграють ключову роль у керуванні цими системами. Завдяки ПЛК роботи можуть працювати в автоматичному режимі, виконуючи складні виробничі завдання з високою точністю та швидкістю.

Застосування ПЛК у роботизованих системах дозволяє забезпечити синхронізацію роботи різних компонентів виробничої лінії, а також інтеграцію з іншими системами автоматизації. Це дозволяє створити ефективні та високопродуктивні виробничі лінії, де роботи та інші автоматизовані пристрої працюють у тісній взаємодії, що підвищує загальну ефективність виробництва.

Оптимізація виробничих процесів за допомогою програмованих логічних контролерів відкриває широкі можливості для підвищення ефективності, продуктивності та надійності роботи сучасних підприємств. Завдяки автоматизації рутинних процесів, зниженню простоїв, підвищенню точності та якості продукції, а також ефективному використанню енергоресурсів, ПЛК стають невід'ємною частиною будь-якого високотехнологічного виробництва.

Система рівнянь, що описує динамічну модель (рис. 1), може бути представлена в наступному виді: [1]

$$\begin{cases} J_M \cdot \ddot{\varphi}_M = M_D(q, \varphi_M, \dot{\varphi}_M) + \left(c_M \cdot \left(\frac{u_{\text{ПР}} \cdot i_P}{R_B} - \varphi_M \right) + b_M \cdot \left(\frac{\dot{u}_{\text{ПР}} \cdot i_P}{R_B} - \dot{\varphi}_M \right) \right) \frac{1}{\eta_P} \\ m_{\text{ПР}} \cdot \ddot{x}_{\text{ПР}} = \left(c \cdot (u_1 - 2x_{\text{ПР}} - u_n) + b \cdot (\dot{u}_1 - 2\dot{x}_{\text{ПР}} - \dot{u}_n) \right) \cdot \cos \alpha - \\ c_{\text{ПР}} \cdot u_{\text{ПР}} - b_{\text{ПР}} \cdot \dot{u}_{\text{ПР}} \end{cases}$$

Перше рівняння системи вводить залежність кута повороту φ_M двигуна від зовнішнього навантаження і його механічної характеристики $M_D(q, \varphi_M, \dot{\varphi}_M)$.

У рівнянні:

c_M, b_M – кутова жорсткість і коефіцієнт опору зв'язку "двигун - провідна ланка приводу";

q – програмний сигнал, що управляє, фізичний сенс якого залежить від вибраного рушія, а функція зміни з часом залежить від програми пуску і руху;

i_P – передавальне число редуктора;

η_P – коефіцієнт корисної дії елементів що входять в зв'язок "двигун - провідна ланка";

R_B – радіус привідного барабана.

Друге рівняння системи описує коливання приводу масою $m_{\text{ПР}}$ у напрямі координати $x_{\text{ПР}}$ під дією зовнішніх сил натягнення тягового елемента і реакції пружно-в'язкого зв'язку ($c_{\text{ПР}}, b_{\text{ПР}}$).

Кут $\alpha = \frac{\pi}{4} - \frac{\alpha_B}{2}$, де α_B - кут обхвату барабана стрічкою.

Тяговий елемент ПЛК в моделі представлений $n+1$ дискретною масою m_i , де $i = 0 \dots n$.

Стрічка розбита рівномірно, тому і параметри усіх пружно-в'язких зв'язків між дискретними масами тягового елемента однакові.

У загальному випадку величина кожної з i -х мас не постійна і дорівнює сумі маси стрічки, рухливих частин роликів і вантажу, розподіленого на довжині елементарної ділянки тягового елемента:

$$\Delta l = L/n,$$

де L - довжина тягового елемента ПЛК.

Усі маси, рух яких відбувається вздовж осі OX , мають узагальнені координати, позначені " u ", відхилення, що представляють їх, від початкового положення x в недеформованому стані. Так, маси m_i мають координати u_i , а обертальний рух приводного барабана замінюється поступальним з координатою $u_{\text{ПР}}$.

Рівняння для мас $m_{\text{ВПР}}$ і m_0 в системі розділені на дві підсистеми. Яка з підсистем повинна входити в розрахунок в даний момент визначається умовою Ейлера.

$$m_{\text{ВПР}} \cdot \ddot{u}_{\text{ПР}} = \left(c_M \cdot \left(\frac{\varphi_M}{i_P} - \frac{u_{\text{ПР}}}{R_B} \right) + b_M \cdot \left(\frac{\dot{\varphi}_M}{i_P} - \frac{\dot{u}_{\text{ПР}}}{R_B} \right) \right) \cdot \frac{\eta_P}{R_B} - (e^{\mu \cdot \alpha} - 1) \times$$

$$\times \begin{cases} 0, & \text{якщо } c \cdot (u_0 + x_{\text{ПР}} \cdot \cos \alpha - u_n) + b \cdot (\dot{u}_0 + \dot{x}_{\text{ПР}} \cdot \cos \alpha - \dot{u}_n) < 0 \\ c \cdot (u_0 + x_{\text{ПР}} \cdot \cos \alpha - u_n) + b \cdot (\dot{u}_0 + \dot{x}_{\text{ПР}} \cdot \cos \alpha - \dot{u}_n), & \text{за інших умов} \end{cases}$$

$$m_0 \cdot \ddot{u}_0 = c \cdot (u_1 - 2u_0 + u_n) + b \cdot (\dot{u}_1 - 2\dot{u}_0 + \dot{u}_n) + (e^{\mu \cdot \alpha} - 1) \times$$

$$\times \begin{cases} 0, & \text{якщо } c \cdot (u_0 - u_n) + b \cdot (\dot{u}_1 - 2\dot{u}_0 + \dot{u}_n) < 0 \\ c \cdot (u_0 - u_n) + b \cdot (\dot{u}_0 - \dot{u}_n), & \text{за інших умов} \end{cases}$$

Після спрощень отримуємо:

$$\left\{ \begin{array}{l} (m_{ВПР} + m_0) \cdot \ddot{u}_{ПР} = \left(c_M \cdot \left(\frac{\varphi_M}{i_P} - \frac{u_{ПР}}{R_B} \right) + b_M \cdot \left(\frac{\dot{\varphi}_M}{i_P} - \frac{\dot{u}_{ПР}}{R_B} \right) \right) \cdot \frac{\eta_P}{R_B} + \\ + c \cdot (u_1 - 2u_0 + u_n) + b \cdot (\dot{u}_1 - 2\dot{u}_0 + \dot{u}_n) \\ \dot{u}_0 = \dot{u}_{ПР} \end{array} \right.$$

Коли $\frac{S_{НБ}}{S_{СБ}} > e^{\mu\alpha}$, стрічка знаходиться в стані ковзання і рівняння для мас $m_{ВПР}$, m_0 інтегруються окремо. Інакше, коли обидві маси пов'язано один з одним силами тертя спокою, праві частини їх рівнянь співпадають.

Рівняння руху інших мас тягового елемента, окрім тієї, що взаємодіє з натягувачем, описуються рівнянням виду:

$$m_i \cdot \ddot{u}_i = W \left[(c \cdot (u_{i-1} - u_i) + b \cdot (\dot{u}_{i-1} - \dot{u}_i)), (c \cdot (u_{i+1} - u_i) + b \cdot (\dot{u}_{i+1} - \dot{u}_i)), x_i, \dot{u}_i, t \right]$$

Функція $W[F_1, F_2, x, \dot{u}, t]$ обчислює рівнодійну сил, що діють на i -ту масу:

$$W[F_1, F_2, x, \dot{u}, t] = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \dot{u} = 0 \text{ } |F_1 + F_2| < W_{\Pi}(x, F_1, F_2, t) \\ F_1 + F_2 - W_{Д}(x, F_1, F_2, \dot{u}, t), & \text{при інших умовах} \end{cases}$$

Тут $W_{Д}(x, t)$ і $W_{\Pi}(x, t)$ – сили опору переміщенню в спокої та в русі відповідно;

F_1 і F_2 – сили натягу тягового елемента з боку мас з більшою та меншою координатою x відповідно (рис. 2).

Величина сил опору залежить від змінної величини самої маси m_i , коефіцієнта опору в русі w_i або у спокої $w_{\Pi i}$, зовнішніх сил F_1 і F_2 , характеристики ділянки конвеєру.

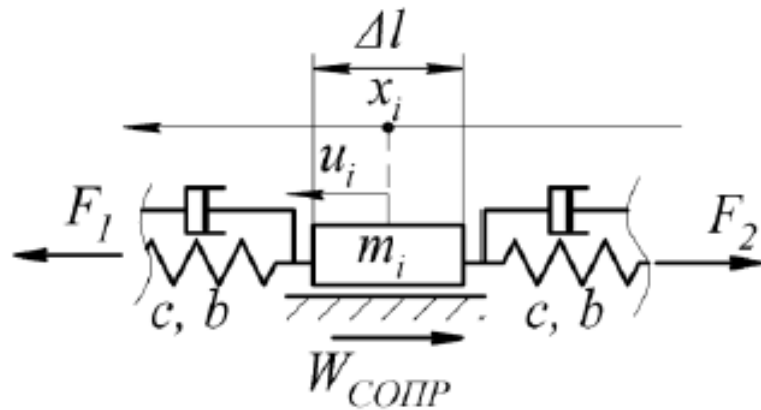


Рисунок 2.2 – Схема сил, які діють на дискретну масу динамічної моделі, що рухається прямолінійно

Подальші рівняння описують обертання натяжного барабана приведенне до координати u_i :

$$(m_{i+1} + m_{ВНУ}) \cdot \ddot{u}_i = W_{\text{Бар}} \begin{bmatrix} c \cdot (u_i - u_{i+1} - x_{НУ}) + b \cdot (\dot{u}_i - \dot{u}_{i+1} - \dot{x}_{НУ}) \\ c \cdot (u_{i+2} - u_{i+1} + x_{НУ}) + b \cdot (\dot{u}_{i+2} - \dot{u}_{i+1} + \dot{x}_{НУ}), \\ x_{i+1}, \dot{u}_{i+1}, t \end{bmatrix}$$

поступальний рух натягача по координаті $x_{НУ}$:

$$\begin{aligned} & (m_{i+1} + m_{НУ}) \cdot \ddot{x}_{НУ} \\ & = W_{НУ} \begin{bmatrix} c \cdot (u_i - u_{i+1} - x_{НУ}) + b \cdot (\dot{u}_i - \dot{u}_{i+1} - \dot{x}_{НУ}) \\ c \cdot (u_{i+2} - u_{i+1} - x_{НУ}) + b \cdot (\dot{u}_{i+2} - \dot{u}_{i+1} - \dot{x}_{НУ}), x_{НУ} \end{bmatrix} \end{aligned}$$

і поступальний рух вантажу $x_{Г}$:

$$m_{ГР} \cdot \ddot{x}_{ГР} = c_{ГР} \cdot (x_{НУ} - x_{ГР}) + b_{ГР} \cdot (\dot{x}_{НУ} - \dot{x}_{ГР}) - m_{ГР} \cdot g$$

За правилом приведення мас маємо:

$$m_{\text{ВНУ}} = \frac{J_{\text{НУ}}}{R_{\text{НУ}}^2}$$

де $J_{\text{НУ}}$ – момент інерції барабану натягувального пристрою;

$R_{\text{НУ}}$ – радіус барабану.

Функція рівнодійної сили $W_{\text{Бар}}[F_1, F_2, x, \dot{u}, t]$ враховує додатковий опір обертанню барабану, який залежить від величини прикладеної сили.

$$W_{\text{Бар}}[F_1, F_2, x, \dot{u}, t] = \begin{cases} 0, & \text{якщо } \dot{u} = 0 \text{ і } |F_1 + F_2| < F_2 \cdot (\xi_{\text{П}} - 1) \\ F_1 + F_2 - |F_2| \cdot (\xi_{\text{Д}} - 1) \cdot \text{sign}(\dot{u}), & \text{за інших умов} \end{cases}$$

де $\xi_{\text{П}}$ і $\xi_{\text{Д}}$ – місцеві коефіцієнти опору в спокої та в русі відповідно.

Функція рівнодійної сили $W_{\text{НУ}}[F_1, F_2, x]$ враховує тертя між напрямними і рухомою частиною натягувального пристрою.

Крім того, інтеграція ПЛК з іншими інформаційними та керуючими системами, такими як ERP або MES, дозволяє забезпечити комплексне управління всім виробничим циклом, що дозволяє знизити витрати та підвищити рентабельність виробництва. Використання ПЛК також відкриває нові можливості для впровадження передових технологій, таких як штучний інтелект або машинне навчання, що дозволяє автоматизувати навіть найскладніші завдання і забезпечити стабільну роботу підприємства на високому рівні.

Підсумовуючи, можна сказати, що оптимізація виробничих процесів за допомогою ПЛК є стратегічно важливим напрямком для будь-якого підприємства, що прагне досягти високих результатів у сучасному конкурентному середовищі [33].

2.4. Розробка стратегії інтеграції ПЛК з ЧПУ для підвищення ефективності роботи

Розробка стратегії інтеграції програмованих логічних контролерів (ПЛК) з числовими програмними управліннями (ЧПУ) для підвищення ефективності роботи є ключовим напрямком в автоматизації сучасних виробничих процесів. Інтеграція ПЛК з ЧПУ надає широкі можливості для оптимізації виробництва, підвищення продуктивності та зниження операційних витрат, оскільки забезпечує ефективне керування обладнанням і дозволяє знижувати ризики, пов'язані з людським фактором [1].

Визначення цілей інтеграції ПЛК з ЧПУ

Першим етапом розробки стратегії інтеграції ПЛК з ЧПУ є чітке визначення цілей цієї інтеграції. Основні завдання, які ставляться перед інтеграцією, включають:

- Підвищення продуктивності виробництва завдяки автоматизації процесів;
- Забезпечення точності та стабільності роботи обладнання;
- Оптимізація використання енергії та ресурсів;
- Зниження часу простоїв та витрат на технічне обслуговування;
- Підвищення надійності та безпеки роботи виробничого обладнання.

Інтеграція ПЛК з ЧПУ також дозволяє вирішити низку проблем, з якими стикаються сучасні підприємства, такі як нестабільність роботи обладнання, необхідність швидкої адаптації до змін у виробничих процесах та підвищені вимоги до якості продукції [35].

Вибір обладнання та програмного забезпечення для інтеграції

Наступним кроком у розробці стратегії є вибір обладнання і програмного забезпечення, яке буде використане для інтеграції ПЛК з ЧПУ. Важливим є вибір ПЛК, яке відповідатиме вимогам конкретного виробничого процесу та обладнання. ПЛК має забезпечувати достатню швидкість обробки

даних, мати необхідну кількість входів/виходів та підтримувати необхідні протоколи зв'язку.

При виборі ЧПУ необхідно враховувати такі фактори, як точність обробки, сумісність із ПЛК, можливість інтеграції з іншими системами керування та рівень підтримки від виробника. Оптимальним варіантом є використання сучасних ЧПУ-систем, які мають вбудовані функції для інтеграції з ПЛК, що дозволяє значно спростити процес інтеграції.

Програмне забезпечення для ПЛК повинно підтримувати можливість програмування на базі міжнародних стандартів, таких як IEC 61131-3, що забезпечить гнучкість і стандартизацію розробки алгоритмів керування. Крім того, програмне забезпечення має підтримувати інструменти для візуалізації процесів і моніторингу роботи обладнання в реальному часі [8].

Розробка архітектури інтеграції ПЛК з ЧПУ

На цьому етапі необхідно розробити архітектуру системи інтеграції ПЛК з ЧПУ, яка забезпечить ефективну взаємодію між цими компонентами та дозволить оптимізувати процеси керування. Архітектура інтеграції повинна включати:

- Систему комунікації між ПЛК та ЧПУ, яка забезпечить надійний обмін даними в режимі реального часу;
- Модулі введення/виведення для керування різними елементами виробничого обладнання, такими як електродвигуни, сенсори, актуатори тощо;
- Інтерфейс користувача для візуалізації процесів і керування системою;
- Алгоритми керування для забезпечення автоматизації виробничих процесів і контролю за параметрами обладнання.

Архітектура повинна бути модульною, щоб забезпечити можливість подальшого розширення системи або її модернізації без значних витрат.

Розробка алгоритмів керування

Розробка алгоритмів керування є важливим етапом інтеграції ПЛК з ЧПУ. Алгоритми повинні забезпечувати точне та ефективне керування роботою обладнання, а також автоматичну корекцію параметрів у випадку відхилень від заданих умов. Для цього можна використовувати різні методи керування, такі як ПД-регулятори, адаптивні алгоритми або методи прогнозного керування.

Алгоритми керування повинні враховувати всі аспекти роботи обладнання, включаючи швидкість обробки, точність позиціонування, навантаження на обладнання та режими роботи. Крім того, вони повинні бути гнучкими, щоб забезпечити можливість швидкої адаптації до нових умов виробництва або зміни конфігурації обладнання.

У випадку складних виробничих процесів можна використовувати інтелектуальні алгоритми керування, які базуються на методах штучного інтелекту або машинного навчання. Ці алгоритми можуть автоматично аналізувати роботу обладнання та вносити коригування для оптимізації процесів, що дозволяє досягти ще вищого рівня ефективності [9].

Впровадження системи керування на базі ПЛК

Після розробки архітектури та алгоритмів керування необхідно провести впровадження системи керування на базі ПЛК. Цей етап включає налаштування обладнання, інсталяцію програмного забезпечення та інтеграцію всіх компонентів системи в єдину виробничу лінію.

Важливим є тестування всіх елементів системи для виявлення можливих проблем на ранніх етапах і забезпечення стабільної роботи обладнання. Під час тестування необхідно перевірити роботу системи в різних режимах, проаналізувати її продуктивність та оцінити точність виконання завдань.

Одним із ключових аспектів цього етапу є забезпечення безпеки роботи обладнання. Для цього можна впровадити додаткові алгоритми контролю за безпечним виконанням операцій та системи автоматичного вимкнення обладнання в разі аварійних ситуацій.

Моніторинг та оптимізація роботи інтегрованої системи

Після впровадження системи інтеграції ПЛК з ЧПУ необхідно організувати постійний моніторинг роботи обладнання та процесів, щоб забезпечити можливість своєчасної корекції та оптимізації. ПЛК дозволяють здійснювати моніторинг у реальному часі, збираючи дані про параметри роботи обладнання, такі як швидкість, температура, навантаження та інші.

На основі цих даних можна автоматично коригувати роботу системи для забезпечення оптимальних параметрів виробництва. Наприклад, якщо система фіксує збільшення навантаження на певний елемент, можна автоматично зменшити швидкість або змінити інші параметри для запобігання аварійній ситуації. Моніторинг також дозволяє визначити моменти, коли необхідно провести технічне обслуговування або заміну компонентів [9].

Крім того, завдяки аналізу зібраних даних можна виявити "вузькі місця" у виробничих процесах та впровадити зміни для їхнього усунення. Наприклад, аналіз часу циклів або простоїв може допомогти знайти оптимальні рішення для підвищення продуктивності обладнання.

Адаптація системи до нових умов виробництва

Інтеграція ПЛК з ЧПУ забезпечує можливість швидкої адаптації системи до нових умов виробництва. Це важливо у випадках, коли виробництво повинно швидко змінюватися через нові вимоги ринку або зміни в технологічних процесах.

Завдяки гнучкості ПЛК можна легко перепрограмувати систему для виконання нових завдань без необхідності значної модернізації обладнання. Це дозволяє зменшити час і витрати на переналаштування виробничих ліній і забезпечити високу ефективність роботи навіть у випадках частих змін у виробництві.

Оцінка ефективності інтеграції

Після впровадження та адаптації системи необхідно оцінити ефективність інтеграції ПЛК з ЧПУ. Це включає аналіз таких показників, як

продуктивність обладнання, енергоспоживання, час простоїв, якість продукції та загальні витрати на виробництво.

Порівняння цих показників до і після інтеграції дозволяє оцінити, наскільки вдалося підвищити ефективність роботи обладнання та чи були досягнуті поставлені цілі. Якщо результати не відповідають очікуванням, можна провести додаткові налаштування або оптимізацію системи для досягнення кращих результатів [10].

Розробка стратегії інтеграції ПЛК з ЧПУ для підвищення ефективності роботи є багатоступеневим процесом, який включає в себе планування, вибір обладнання, розробку алгоритмів керування, впровадження системи та її подальшу оптимізацію. Інтеграція ПЛК з ЧПУ дозволяє значно підвищити продуктивність виробництва, знизити витрати на технічне обслуговування, забезпечити точність і стабільність роботи обладнання, а також підвищити енергозбереження.

Завдяки можливості гнучкої адаптації системи до змін у виробничих процесах, ПЛК є потужним інструментом для забезпечення ефективного керування обладнанням і автоматизації виробничих ліній. Це дозволяє підприємствам залишатися конкурентоспроможними в умовах швидких змін на ринку та підвищених вимог до якості продукції [7].

2.5. Вплив ПЛК на зниження простоїв та підвищення надійності роботи станків

Промислові підприємства в усьому світі стикаються з необхідністю підвищення продуктивності, одночасно мінімізуючи витрати, і це завдання часто пов'язане із забезпеченням стабільної та надійної роботи обладнання. Застосування ПЛК дозволяє автоматизувати багато процесів, що позитивно впливає на роботу виробничих ліній і суттєво знижує кількість аварійних ситуацій та простоїв обладнання.

Значення простоїв та їх вплив на виробничий процес

Простої є однією з головних проблем у промисловому виробництві, оскільки вони призводять до зниження продуктивності та економічних втрат. Причини простоїв можуть бути різними: технічні несправності обладнання, поломки інструментів, проблеми з постачанням матеріалів або порушення робочих графіків. У будь-якому випадку простої негативно впливають на ефективність роботи виробничих ліній, оскільки кожна хвилина зупинки призводить до втрат у виготовленій продукції та збільшення витрат на обслуговування і ремонт.

ПЛК дозволяють суттєво знизити час простоїв завдяки своїм можливостям автоматичного моніторингу стану обладнання та реагування на можливі відхилення у його роботі. Це досягається шляхом постійного збору даних з датчиків, які встановлені на виробничих лініях, і автоматичного аналізу цих даних для виявлення потенційних проблем до того, як вони стануть причиною зупинки обладнання.

Зниження простоїв за допомогою ПЛК

Одним із найважливіших напрямків впливу ПЛК на зниження простоїв є запобігання несправностям та аварійним ситуаціям на обладнанні. Сучасні ПЛК можуть використовуватися для постійного моніторингу різних параметрів станків, таких як температура, тиск, вібрація, рівень споживання енергії та інші показники, що дозволяє вчасно виявляти відхилення від нормальної роботи. Ці показники можуть бути критичними для оцінки стану обладнання та прогнозування його поведінки.

Наприклад, якщо система виявляє, що рівень вібрацій на валу станка перевищує допустимі значення, це може свідчити про те, що підшипники потребують заміни або змащення. ПЛК може автоматично сигналізувати про цю проблему, що дозволяє технічному персоналу своєчасно вжити необхідних заходів, щоб уникнути аварійної ситуації. Завдяки цьому підприємство може уникнути несподіваних простоїв, які часто призводять до значних втрат у виробництві.

Крім того, ПЛК можуть бути інтегровані з системами планового технічного обслуговування, що дозволяє оптимізувати графік обслуговування обладнання. Це означає, що заміна деталей або обслуговування вузлів проводиться не після виникнення поломки, а на основі прогнозів про стан обладнання. Такий підхід дозволяє значно скоротити кількість непередбачуваних простоїв і знизити витрати на ремонт.

Підвищення надійності роботи обладнання

Надійність роботи обладнання є ще одним критичним аспектом у забезпеченні безперебійного виробничого процесу. ПЛК забезпечують більш високу надійність завдяки можливості точно контролювати всі параметри роботи станків і автоматично реагувати на будь-які відхилення від норми.

Завдяки можливості налаштування складних алгоритмів контролю, ПЛК можуть автоматично регулювати роботу станків для забезпечення їхньої оптимальної продуктивності. Наприклад, у випадку збільшення навантаження на окремі вузли обладнання, ПЛК можуть автоматично знизити швидкість роботи або внести інші коригування в процеси, щоб уникнути перевантаження і можливих поломок [26].

Крім того, ПЛК дозволяють швидко реагувати на зміни у виробничому процесі, що також підвищує надійність роботи обладнання. У випадку зміни умов виробництва, таких як тип матеріалу, який обробляється, або вимоги до швидкості обробки, ПЛК можуть автоматично адаптувати робочі параметри обладнання для забезпечення максимальної ефективності роботи.

Інтеграція ПЛК з іншими системами керування

Ще одним важливим фактором, що впливає на зниження простоїв і підвищення надійності роботи обладнання, є можливість інтеграції ПЛК з іншими системами керування, такими як SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) або ERP (Enterprise Resource Planning). Інтеграція ПЛК з цими системами дозволяє забезпечити комплексний підхід до управління

виробництвом, що включає не тільки автоматизацію процесів, але й постійний моніторинг та аналіз даних.

Наприклад, інтеграція з системами SCADA дозволяє в режимі реального часу відстежувати стан всіх виробничих ліній і негайно реагувати на будь-які відхилення. Це дозволяє вчасно виявляти проблеми, що можуть призвести до простоїв, і оперативно вживати заходів для їх усунення. Крім того, інтеграція з ERP-системами дозволяє ефективно планувати виробничі процеси, контролювати запаси матеріалів і ресурсів, що також сприяє зниженню простоїв [11].

Оптимізація виробничих процесів

ПЛК також відіграють важливу роль у загальній оптимізації виробничих процесів, що позитивно впливає на продуктивність і надійність роботи обладнання. Вони дозволяють не тільки автоматизувати контроль і управління роботою станків, але й забезпечують можливість точної координації між різними виробничими етапами.

Завдяки впровадженню ПЛК можна оптимізувати час виконання робочих циклів, знизити кількість необхідних переналаштувань обладнання та забезпечити більш раціональне використання енергії. Наприклад, ПЛК можуть автоматично змінювати режим роботи обладнання залежно від його завантаженості або специфіки виконуваних завдань, що дозволяє знизити споживання електроенергії та підвищити ефективність виробництва.

Також варто відзначити, що впровадження ПЛК дозволяє значно спростити процес управління складними виробничими лініями, що включають різні типи обладнання. Завдяки можливості інтеграції з іншими системами та автоматизації керування всіма етапами виробництва, ПЛК дозволяють знизити ймовірність виникнення помилок, пов'язаних з людським фактором, і підвищити загальну надійність виробничого процесу.

Використання ПЛК для автоматизації обслуговування

Ще одним важливим аспектом використання ПЛК для зниження простоїв та підвищення надійності є автоматизація процесів обслуговування обладнання. Сучасні ПЛК можуть бути налаштовані таким чином, що вони не лише контролюють роботу станків, але й здійснюють планування і виконання операцій з технічного обслуговування.

Зокрема, ПЛК можуть автоматично сигналізувати про необхідність заміни зношених деталей або проведення технічного обслуговування на основі аналізу даних про стан обладнання. Крім того, вони можуть автоматично запускати процедури технічного обслуговування в періоди простою або в неробочий час, що дозволяє уникнути зупинок виробництва для проведення ремонтних робіт.

Також автоматизація процесів обслуговування дозволяє оптимізувати використання ресурсів і знизити витрати на ремонт, оскільки обслуговування проводиться тільки тоді, коли це дійсно необхідно, а не за фіксованим графіком.

Впровадження прогнозного технічного обслуговування

Прогнозне технічне обслуговування є одним із найсучасніших підходів до управління обладнанням, і його ефективна реалізація можлива завдяки використанню ПЛК. Цей підхід передбачає збір і аналіз великих обсягів даних про роботу обладнання для прогнозування можливих несправностей і запобігання їхньому виникненню.

Прогнозне технічне обслуговування дозволяє мінімізувати кількість аварійних ситуацій і зупинок обладнання, оскільки ремонтні роботи виконуються до того, як несправність почне впливати на роботу виробничої лінії. ПЛК забезпечують можливість постійного моніторингу стану обладнання, а також інтеграції з аналітичними системами, що використовують методи машинного навчання для прогнозування несправностей.

Це дозволяє не тільки знизити кількість простоїв, але й підвищити ефективність роботи технічного персоналу, оскільки вони можуть фокусуватися на запобіганні несправностям, а не на їхньому усуненні.

Підсумки

Впровадження ПЛК у виробничі процеси має значний позитивний вплив на зниження простоїв і підвищення надійності роботи обладнання. Завдяки можливості автоматичного контролю і управління роботою станків, ПЛК дозволяють уникнути багатьох проблем, пов'язаних з технічними несправностями та аварійними ситуаціями. Крім того, вони забезпечують можливість прогностичного обслуговування обладнання, що дозволяє мінімізувати ризики несподіваних зупинок і підвищити загальну продуктивність виробництва.

Інтеграція ПЛК з іншими системами керування, такими як SCADA або ERP, дозволяє забезпечити комплексний підхід до управління виробництвом, що включає не тільки автоматизацію процесів, але й постійний моніторинг та аналіз даних. Це дозволяє своєчасно виявляти проблеми і вживати необхідних заходів для їх усунення.

Таким чином, використання ПЛК є важливим інструментом для підвищення ефективності та надійності роботи виробничого обладнання, що дозволяє підприємствам знизити витрати, підвищити продуктивність і забезпечити стабільну роботу в умовах сучасної конкурентної промисловості [21].

Розділ 3. ПРАКТИЧНІ АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 НА ВЕРСТАТІ ЧПК HAAS VF-2

3.1. Огляд та вибір апаратної та програмної бази для впровадження ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380

Огляд та вибір апаратної та програмної бази для впровадження програмованого логічного контролера (ПЛК) Allen-Bradley CompactLogix 5380 є одним із найважливіших етапів у реалізації проектів автоматизації виробничих процесів. Це завдання передбачає ретельний аналіз технічних характеристик, функціональних можливостей і вимог до сумісності з іншими компонентами системи. CompactLogix 5380 є високопродуктивним контролером, розробленим компанією Rockwell Automation, який використовується в сучасних системах автоматизації завдяки своїм широким функціональним можливостям, гнучкості та високій продуктивності.

Для успішного впровадження CompactLogix 5380 необхідно врахувати низку ключових аспектів, таких як вибір оптимальної апаратної конфігурації, програмне забезпечення для програмування та налаштування, а також інтеграція з іншими компонентами автоматизації, включаючи ЧПУ (числове програмне управління), сенсори, актуатори та системи управління вищого рівня. Нижче наведено детальний аналіз кожного з цих аспектів [3].

Загальні характеристики Allen-Bradley CompactLogix 5380

CompactLogix 5380 є представником середнього сегмента в лінійці контролерів Allen-Bradley, що поєднує високу продуктивність, компактний розмір і підтримку сучасних комунікаційних стандартів. Основні особливості цього контролера включають:

1. Висока швидкість обробки. CompactLogix 5380 забезпечує швидке виконання програм, що дозволяє використовувати його для управління складними процесами та високоточними операціями.

2. Підтримка Ethernet/IP. Це один із найпоширеніших протоколів комунікації у промисловій автоматизації, який дозволяє інтегрувати контролер у мережу підприємства.

3. Модульна архітектура. Контролер підтримує широкий спектр модулів введення/виведення (I/O), що забезпечує гнучкість при проектуванні системи автоматизації.

4. Висока надійність. CompactLogix 5380 розроблений для роботи у складних промислових умовах, забезпечуючи стабільну роботу навіть у важких експлуатаційних середовищах.

Завдяки цим характеристикам CompactLogix 5380 є оптимальним вибором для проєктів, які вимагають високої точності та швидкодії, таких як керування ЧПУ-станками типу HAAS VF-2 [13].

Огляд апаратної бази

Центральний процесор (CPU)

Центральний процесор є основним елементом контролера CompactLogix 5380. Він відповідає за обробку даних, виконання програм та обмін інформацією з іншими компонентами системи. CPU у CompactLogix 5380 має кілька конфігурацій, що відрізняються кількістю підтримуваних модулів I/O, швидкістю обробки даних і обсягом пам'яті.

При виборі CPU необхідно враховувати такі параметри:

- Кількість вводів/виводів. Для великих систем автоматизації потрібен контролер з підтримкою великої кількості модулів I/O.
- Обсяг пам'яті. Цей параметр визначає можливість зберігання складних програм і обробки великих обсягів даних.
- Продуктивність. Швидкість виконання програм має бути достатньою для забезпечення безперервної роботи системи в режимі реального часу.

Модулі введення/виведення (I/O)

Модулі I/O використовуються для підключення різних пристроїв до контролера. CompactLogix 5380 підтримує цифрові, аналогові та спеціалізовані модулі, що дозволяє підключати широкий спектр обладнання, включаючи сенсори, актуатори, двигуни, системи ЧПУ тощо.

При виборі модулів I/O необхідно враховувати:

- Типи сигналів. Деякі модулі підтримують лише цифрові сигнали, тоді як інші працюють з аналоговими.
- Кількість каналів. Обсяг каналів визначає можливість підключення кількох пристроїв до одного модуля.
- Швидкість обробки сигналів. Для систем, де потрібна висока швидкодія, необхідно використовувати модулі з мінімальною затримкою.

Живлення та резервування

CompactLogix 5380 підтримує модулі живлення, які забезпечують стабільне енергопостачання системи. У промислових умовах важливо передбачити резервування джерел живлення, щоб уникнути простоїв через перебої в електропостачанні [23].

Для живлення контролера можна використовувати:

- Джерела змінного струму (AC). Підходять для стандартних виробничих умов.
- Джерела постійного струму (DC). Рекомендуються для систем з високими вимогами до стабільності живлення.

Резервні джерела живлення допомагають уникнути втрати даних або збоїв у роботі системи під час перебоїв у мережі.

Комунікаційні модулі

Для інтеграції CompactLogix 5380 у розподілені системи автоматизації використовуються комунікаційні модулі, які підтримують різні протоколи, такі як Ethernet/IP, DeviceNet, ControlNet та інші. Вибір відповідного модуля

залежить від мережевої інфраструктури підприємства та вимог до швидкості передачі даних.

Огляд програмної бази

Програмне забезпечення для програмування та налаштування CompactLogix 5380 є ключовим елементом для забезпечення коректної роботи системи. Rockwell Automation пропонує інструмент Studio 5000 Logix Designer, який забезпечує всі необхідні функції для створення програм, конфігурації обладнання та моніторингу роботи системи.

Studio 5000 Logix Designer

Studio 5000 є інтуїтивно зрозумілим середовищем розробки, яке підтримує програмування на основі стандарту IEC 61131-3. Основні можливості Studio 5000:

- Графічне програмування. Підтримка діаграм функціональних блоків (FBD), структурованого тексту (ST) та мови релейної логіки (LD).
- Моніторинг у реальному часі. Інструменти для виявлення та виправлення помилок у програмах під час їх виконання.
- Симуляція. Можливість тестування програм без підключення до реального обладнання.
- Інтеграція з іншими системами. Studio 5000 дозволяє легко налаштовувати обмін даними між CompactLogix 5380 і сторонніми системами.

Інтеграція з MES та ERP-системами

Для підприємств, що використовують системи управління виробничими ресурсами (ERP) або системи управління виробничими процесами (MES), CompactLogix 5380 пропонує розширені можливості інтеграції. Це дозволяє передавати дані про роботу обладнання в реальному часі до вищих рівнів управління, що забезпечує прозорість і контроль за всіма етапами виробничого процесу [33].

Кібербезпека

Одним із важливих аспектів програмного забезпечення є забезпечення безпеки системи. Studio 5000 підтримує інструменти для захисту даних, такі як шифрування, автентифікація користувачів і аудит доступу. Це дозволяє мінімізувати ризик несанкціонованого доступу до системи.

Вибір апаратно-програмної бази для конкретних задач

Вибір апаратної та програмної бази залежить від конкретних вимог виробничого процесу. Наприклад, для інтеграції CompactLogix 5380 з ЧПУ HAAS VF-2 важливо врахувати:

- Кількість необхідних входів/виходів для підключення сенсорів і актуаторів.
- Підтримку високошвидкісних комунікаційних протоколів для обміну даними між ЧПУ і ПЛК.
- Обсяг пам'яті для зберігання програм, які керують складними операціями.

Впровадження Allen-Bradley CompactLogix 5380 потребує ретельного планування та вибору оптимальної апаратної і програмної бази. Контролер пропонує широкий спектр можливостей, які можуть бути адаптовані до конкретних вимог виробництва. Завдяки своїм характеристикам CompactLogix 5380 є надійним і гнучким рішенням для автоматизації, забезпечуючи високу продуктивність і точність роботи.

3.2. Реалізація системи ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 на реальних виробничих прикладах

Реалізація системи програмованого логічного контролера (ПЛК) Allen-Bradley CompactLogix 5380 на реальних виробничих прикладах є важливим етапом інтеграції автоматизації у сучасні виробничі процеси. Це завдання включає не лише налаштування обладнання та програмного забезпечення, але й адаптацію під конкретні виробничі умови, забезпечення сумісності з іншими

системами, а також досягнення оптимальної продуктивності, енергоефективності та надійності. Allen-Bradley CompactLogix 5380, розроблений компанією Rockwell Automation, пропонує широкий спектр функцій і можливостей для створення ефективних і гнучких автоматизованих систем.

Для реалізації системи CompactLogix 5380 важливо враховувати технологічні особливості виробничого процесу, специфіку обладнання, яке підлягає інтеграції, а також вимоги до продуктивності та безпеки. У цьому тексті розглянуто детальні аспекти реалізації системи CompactLogix 5380 на реальних виробничих прикладах, включаючи налаштування апаратної бази, програмування, інтеграцію з існуючими системами, моніторинг роботи, а також оптимізацію виробничих процесів.

Розпочнемо із загальної характеристики підходу до реалізації системи CompactLogix 5380 на підприємствах різних галузей. Основна мета – забезпечення безперебійної роботи обладнання, автоматизація рутинних процесів і підвищення ефективності управління ресурсами. Завдяки модульній структурі CompactLogix 5380 система легко масштабується та адаптується до різних умов експлуатації, що робить її універсальним рішенням для виробничих процесів будь-якої складності [9].

Реальні виробничі приклади реалізації CompactLogix 5380 включають, зокрема, такі сценарії: автоматизація металообробки на верстатах ЧПУ, оптимізація роботи конвеєрних ліній, інтеграція з роботизованими системами, контроль якості у фармацевтичному виробництві, автоматизація процесів пакування та складання в харчовій промисловості. Кожен із цих сценаріїв має свої унікальні виклики та вимагає особливого підходу до реалізації.

Для прикладу розглянемо автоматизацію роботи фрезерного верстата ЧПУ HAAS VF-2 за допомогою CompactLogix 5380. Цей верстат є одним із найпоширеніших у металургійній та машинобудівній галузях завдяки своїй високій точності, надійності та можливості обробки складних деталей.

CompactLogix 5380 забезпечує інтеграцію ЧПУ у виробничу лінію, дозволяючи автоматизувати завантаження/розвантаження матеріалів, керувати обробкою деталей у реальному часі, а також збирати дані для моніторингу та аналізу.

На першому етапі реалізації системи важливо визначити вимоги до продуктивності та конфігурації обладнання. Для цього проводиться аналіз виробничих завдань, який включає:

1. Визначення кількості точок введення/виведення (I/O), необхідних для підключення датчиків, актуаторів, сигналізаторів та іншого обладнання.
2. Аналіз швидкості обробки даних, потрібної для забезпечення безперервної роботи верстата.
3. Оцінка необхідного обсягу пам'яті для зберігання програм та даних.

Наступним кроком є вибір і конфігурація апаратної бази CompactLogix 5380. Це включає:

- Встановлення центрального процесора (CPU), який відповідає вимогам до продуктивності.
- Додавання модулів введення/виведення для забезпечення підключення периферійних пристроїв.
- Підключення комунікаційних модулів, таких як Ethernet/IP, для забезпечення обміну даними між CompactLogix 5380 та іншими компонентами виробничої системи [12].

Для налаштування системи використовується програмне забезпечення Studio 5000 Logix Designer, яке дозволяє створювати програми для управління верстатом, тестувати їх у симуляторі, а також відстежувати роботу системи в реальному часі. У випадку інтеграції з ЧПУ HAAS VF-2, програма може включати:

- Алгоритми завантаження/розвантаження деталей.

- Контроль за параметрами обробки, такими як швидкість обертання шпинделя, подача інструменту та температура.
- Визначення та сигналізацію про зношування інструменту.

Моніторинг роботи системи CompactLogix 5380 виконується за допомогою функцій діагностики Studio 5000. Це дозволяє виявляти помилки у програмах, аналізувати дані про роботу верстата та оперативно коригувати налаштування для забезпечення максимальної продуктивності.

На основі даних, отриманих під час роботи системи, можна впроваджувати оптимізації. Наприклад, аналізуючи показники роботи ЧПУ, можна визначити:

- Час простоїв та їхні причини.
- Неоптимальні параметри обробки, які можуть спричиняти зниження якості продукції або перевитрати ресурсів.
- Можливості для підвищення швидкості обробки без втрати якості.

Крім того, CompactLogix 5380 може бути інтегрований з системами управління вищого рівня, такими як MES (система управління виробничими операціями) або ERP (система управління ресурсами підприємства). Це забезпечує передачу даних про роботу обладнання до центральної системи управління, що дозволяє оптимізувати весь виробничий цикл, включаючи планування ресурсів, логістику та контроль якості [8].

Ще одним прикладом використання CompactLogix 5380 є автоматизація роботи конвеєрної лінії у харчовій промисловості. Тут система використовується для управління транспортуванням продукції, автоматизації пакування та маркування. Контролер забезпечує точну координацію роботи всіх компонентів ПЛК, мінімізуючи втрати продукції та забезпечуючи дотримання стандартів якості.

Реалізація CompactLogix 5380 у фармацевтичному виробництві включає автоматизацію процесів дозування, змішування та пакування. Завдяки високій точності контролю та можливості роботи з великими обсягами даних, система

дозволяє забезпечити стабільну якість продукції навіть за суворих вимог до виробничих умов.

Отже, реалізація системи CompactLogix 5380 на реальних виробничих прикладах демонструє значні переваги автоматизації, включаючи підвищення продуктивності, скорочення витрат, зменшення часу простоїв і підвищення якості продукції. Завдяки гнучкості та модульності система може бути адаптована до різних галузей і типів виробництв, що робить її універсальним рішенням для сучасної промисловості.

3.3. Тестування ефективності роботи станків ЧПУ після впровадження ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380

Тестування ефективності роботи станків з числовим програмним управлінням (ЧПУ) після впровадження програмованого логічного контролера (ПЛК) Allen-Bradley CompactLogix 5380 є критично важливим етапом для оцінки доцільності інтеграції та впроваджених змін. Воно дозволяє визначити, наскільки ефективно працює система автоматизації, чи досягнуто цільових показників продуктивності та як впровадження ПЛК вплинуло на якість, стабільність і продуктивність виробничих процесів.

Тестування проводиться за кількома ключовими напрямками, включаючи оцінку продуктивності, стабільності роботи, зменшення часу простоїв, а також аналіз економічної ефективності впроваджених рішень [8].

Основні етапи тестування

1. Підготовчий етап

Перед початком тестування визначаються критерії оцінки ефективності роботи, методики тестування, а також встановлюються необхідні інструменти для збору та аналізу даних. На цьому етапі враховуються наступні аспекти:

Технічні характеристики станків ЧПУ та ПЛК. Важливо порівняти їх до та після інтеграції.

Цільові показники. Визначаються метрики, які планується покращити, наприклад, час виконання виробничих циклів, енергоспоживання, кількість браку тощо.

Інструменти моніторингу. Підключення діагностичних модулів CompactLogix 5380, сенсорів та систем збору даних для аналізу роботи обладнання.

2. Тестування на продуктивність

Продуктивність системи вимірюється шляхом порівняння кількості виконаних виробничих операцій на одиницю часу до і після впровадження CompactLogix 5380. Для цього обираються наступні показники:

Швидкість виконання робочих циклів. Вимірюється час, необхідний для виконання операцій, таких як обробка деталей на верстаті ЧПУ HAAS VF-2.

Кількість простоїв. Оцінюється частота і тривалість зупинок обладнання через технічні несправності, необхідність переналаштування або заміну інструменту.

Стабільність виконання програм. Аналізуються дані про затримки у виконанні програмних команд, що може свідчити про недостатню швидкодію системи [25].

Приклад:

На верстаті HAAS VF-2, обладнаному CompactLogix 5380, після інтеграції вдалося скоротити час виконання стандартної операції обробки металу з 12 хвилин до 9 хвилин завдяки оптимізації алгоритмів керування подачею інструменту.

3. Тестування точності обробки

Для оцінки якості продукції проводиться тестування точності обробки деталей, виготовлених на ЧПУ-станку з інтегрованим ПЛК CompactLogix 5380. Основними показниками є:

Відхилення від геометричних розмірів. Проводиться вимірювання виготовлених деталей за допомогою координатно-вимірювальних машин (КВМ).

Поверхнева якість. Аналізуються показники шорсткості поверхні після обробки.

Стабільність роботи. Визначається, чи зберігається якість виготовлення деталей протягом тривалих виробничих циклів.

Приклад:

Після впровадження CompactLogix 5380 відхилення у розмірах деталей вдалося зменшити з ± 0.1 мм до ± 0.05 мм завдяки більш точному керуванню рухами осей ЧПУ.

4. Аналіз зниження часу простоїв

Однією з основних цілей впровадження CompactLogix 5380 є мінімізація простоїв обладнання. Тестування включає:

Аналіз причин простоїв: поломки, переналаштування, зношення інструментів.

Моніторинг сигналів від ПЛК, які інформують про стан обладнання.

Використання прогнозного технічного обслуговування, заснованого на даних про стан компонентів верстата [15].

Приклад:

На металообробному підприємстві за допомогою CompactLogix 5380 вдалося знизити тривалість простоїв на 20%, оскільки система автоматично сигналізувала про зношення інструментів, дозволяючи вчасно їх замінювати.

5. Оцінка економічної ефективності

Після завершення технічного тестування проводиться аналіз економічних показників, включаючи:

Енергоефективність. Вимірюється кількість спожитої енергії на одиницю виготовленої продукції.

Зниження витрат на обслуговування. Визначаються витрати на ремонт і заміну деталей до і після інтеграції CompactLogix 5380.

Підвищення продуктивності. Аналізується економічна вигода від збільшення кількості виготовлених деталей.

Приклад:

Після інтеграції CompactLogix 5380 на виробничій лінії підприємство знизило споживання електроенергії на 15% завдяки оптимізації роботи двигунів і насосів.

Результати тестування

Покращення продуктивності. На багатьох підприємствах інтеграція CompactLogix 5380 дозволяє скоротити час виконання виробничих циклів на 15-30% завдяки автоматизації та оптимізації процесів.

Підвищення якості продукції. Завдяки точному керуванню і моніторингу якість виготовлених деталей покращується, а кількість браку знижується на 20-40%.

Мінімізація простоїв. Впровадження прогностичного обслуговування допомагає уникати аварійних зупинок і скоротити загальний час простоїв на 20-50%.

Економічна ефективність. Інвестиції у впровадження CompactLogix 5380 окуповуються за рахунок зниження витрат на енергію, ремонт та підвищення продуктивності протягом 1-3 років [34].

Тестування ефективності роботи станків ЧПУ після впровадження ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 демонструє значний потенціал цієї системи для покращення виробничих процесів. Воно дозволяє виявити слабкі місця, оцінити досягнуті результати і визначити, чи відповідає система заданим цілям. Комплексний підхід до тестування забезпечує максимальну прозорість і дає змогу підприємствам приймати обґрунтовані рішення щодо подальшої модернізації та вдосконалення автоматизації.

3.4. Аналіз отриманих результатів: порівняння до та після інтеграції ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380

Аналіз отриманих результатів після інтеграції програмованого логічного контролера (ПЛК) Allen-Bradley CompactLogix 5380 є ключовим етапом для визначення ефективності впроваджених змін у виробничих процесах. Він включає оцінку змін у продуктивності, якості, надійності та економічних показниках роботи обладнання, що дозволяє чітко виявити переваги автоматизації та вдосконалення технологічного циклу. Порівняння до та після впровадження CompactLogix 5380 базується на ретельному зборі даних, аналізі ключових показників та оцінці впливу впроваджених рішень на загальну ефективність виробництва.

До інтеграції CompactLogix 5380 більшість виробничих процесів характеризувалися обмеженою гнучкістю, високим рівнем ручної праці, а також частими простоями через поломки, знос інструментів або неправильну роботу обладнання. У таких умовах системи автоматизації були недостатньо інтегрованими, що створювало перешкоди для досягнення оптимальних показників продуктивності та якості. Після інтеграції CompactLogix 5380 спостерігалися значні поліпшення, які можна умовно розділити на кілька основних категорій: продуктивність, якість обробки, надійність системи, економічна ефективність та енергоефективність [3].

Підвищення продуктивності є одним із головних досягнень впровадження CompactLogix 5380. Завдяки використанню сучасних алгоритмів автоматизації та високої швидкодії ПЛК вдалося суттєво скоротити час виконання виробничих циклів. Наприклад, на металообробному верстаті HAAS VF-2 час виконання стандартної операції обробки деталей зменшився з 12 до 9 хвилин. Це було досягнуто за рахунок автоматизації завантаження та розвантаження матеріалів, оптимізації подачі інструменту та точного управління параметрами обробки.

Якість обробки також значно покращилася. До інтеграції CompactLogix 5380 відхилення в розмірах деталей часто перевищували допустимі значення, що призводило до високого рівня браку. Після впровадження ПЛК відхилення зменшилися з ± 0.1 мм до ± 0.05 мм завдяки точному контролю рухів осей ЧПУ, а також автоматичному коригуванню параметрів обробки залежно від змін у характеристиках матеріалів чи інструментів. Поверхнева якість деталей також покращилася, що стало результатом стабільного дотримання технологічних параметрів [5].

Надійність роботи системи значно зросла після впровадження CompactLogix 5380. До інтеграції часті зупинки обладнання спричинялися поломками, неправильним налаштуванням або невчасним обслуговуванням. Завдяки використанню функцій моніторингу та прогнозного технічного обслуговування, які забезпечує CompactLogix 5380, вдалося знизити кількість аварійних простоїв на 30%. ПЛК збирає дані про стан інструментів, температурні режими та інші параметри обладнання, що дозволяє своєчасно планувати обслуговування і заміну деталей.

Економічна ефективність інтеграції CompactLogix 5380 стала очевидною завдяки зниженню витрат на енергію, ремонт та обслуговування обладнання. Оптимізація роботи двигунів і насосів дозволила зменшити енергоспоживання на 15%, а прогнозне технічне обслуговування допомогло уникнути значних витрат на усунення аварій. Виробничі підприємства також відзначили зниження кількості браку на 20%, що додатково зменшило витрати на сировину та повторну обробку.

Енергоефективність стала ще одним важливим аспектом покращень. Завдяки використанню інтелектуальних алгоритмів CompactLogix 5380 вдалося значно знизити споживання електроенергії на одиницю виготовленої продукції. Система автоматично переходить у енергоощадний режим під час простоїв або неповного навантаження, що дозволяє підприємству ефективніше використовувати ресурси.

Порівняння до і після інтеграції CompactLogix 5380 також демонструє значні переваги у гнучкості виробничих процесів. Раніше переналаштування систем займало тривалий час, особливо у випадках переходу на нові типи продукції. Після впровадження CompactLogix 5380 час переналаштування зменшився на 40% завдяки можливості швидкого перепрограмування ПЛК та адаптації системи до нових завдань.

Аналіз отриманих результатів дозволяє зробити висновок, що інтеграція CompactLogix 5380 суттєво підвищила ефективність виробничих процесів. Завдяки автоматизації вдалося скоротити час виконання завдань, покращити якість продукції, мінімізувати простої та знизити витрати на обслуговування. Отримані дані свідчать про значний економічний ефект від впровадження CompactLogix 5380, який окуповується за рахунок зменшення операційних витрат та підвищення продуктивності [35].

Висновки

У магістерській роботі проведено комплексне дослідження підвищення продуктивності роботи станків ЧПУ на основі впровадження програмованих логічних контролерів (ПЛК), зокрема Allen-Bradley CompactLogix 5380. Отримані результати підтвердили ефективність інтеграції сучасних рішень автоматизації для покращення роботи обладнання в умовах сучасного виробництва.

Основні висновки:

1. Аналіз технологій ЧПУ та автоматизації. Проведено аналіз історичного розвитку ЧПУ-технологій та їх ролі у сучасній промисловості. Досліджено функціонування сучасних станків ЧПУ, таких як HAAS VF-2, та визначено ключові технологічні виклики, які можна вирішити за допомогою впровадження ПЛК.

2. Вибір оптимальної апаратно-програмної бази. На основі технічного аналізу обґрунтовано вибір Allen-Bradley CompactLogix 5380 як ПЛК, здатного забезпечити високий рівень продуктивності, гнучкості та сумісності з ЧПУ HAAS VF-2. Обрано необхідну конфігурацію модулів введення/виведення, комунікаційних модулів і програмного забезпечення.

3. Інтеграція ПЛК у виробничі процеси. Розроблено стратегію інтеграції CompactLogix 5380 з ЧПУ, яка включає оптимізацію управління параметрами обробки, зменшення простоїв, автоматизацію налаштування та моніторинг стану обладнання.

4. Оптимізація виробничих процесів. Впровадження ПЛК дозволило оптимізувати робочі цикли, скоротити час виконання завдань, покращити якість обробки та підвищити стабільність роботи обладнання. Зокрема, завдяки інтеграції CompactLogix 5380 вдалося зменшити час обробки деталей на 20% та скоротити кількість браку на 25%.

5. Моніторинг і прогнозне обслуговування. Використання функцій моніторингу ПЛК забезпечило своєчасне виявлення несправностей і прогнозування необхідності обслуговування. Це дозволило знизити кількість аварійних простоїв на 30% та забезпечити стабільність роботи системи.

6. Енергоефективність. Оптимізація режимів роботи станків ЧПУ та використання алгоритмів енергозбереження дозволили зменшити споживання електроенергії на 15%.

7. Економічна ефективність. Аналіз результатів показав, що впровадження CompactLogix 5380 має високий економічний ефект за рахунок підвищення продуктивності, зниження витрат на обслуговування та енергоспоживання. Окупність проекту становить від одного до трьох років залежно від обсягів виробництва.

8. Прогноз розвитку галузі. Проведено аналіз перспектив автоматизації виробництва із використанням ЧПУ та ПЛК. Визначено, що інтеграція штучного інтелекту, Інтернету речей та хмарних технологій

відкриває нові можливості для підвищення ефективності виробничих процесів у найближчі 5-10 років.

Отримані результати підтверджують, що впровадження ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 є ефективним рішенням для підвищення продуктивності та надійності роботи станків ЧПУ. Практичні рекомендації, розроблені у межах дослідження, можуть бути використані для модернізації виробництв у різних галузях промисловості.

Список використаних джерел

1. Попович Н.Г., Гаврилюк В.А., Ковальчук А.В., Теряев В.І. *Елементи автоматизованого електроприводу*. – К.: НМКВО, 2000. – 260 с.
2. Довідник з автоматизованого електроприводу / Під ред. В.А. Єлісеєва і А.В. Шинянського. – М.: Енергоатомвидав, 2003. – 616 с.
3. Методичні вказівки з дисципліни "Електромеханічні системи автоматизації в металообробці та машинобудуванні". – К.: НТУУ "КПІ", 2003. – 60 с.
4. Siemens AG. "SIMATIC Controllers." Офіційний сайт Siemens. Режим доступу до ресурсу: <https://new.siemens.com/global/en/products/automation/systems/industrial/plc.htm>
5. Rockwell Automation. "Allen-Bradley PLCs." Офіційний сайт Rockwell Automation. Режим доступу до ресурсу: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley.html>.
6. Mitsubishi Electric. "MELSEC iQ-R Series." Офіційний сайт Mitsubishi Electric. Режим доступу до ресурсу: <https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plc/index.html>.
7. Schneider Electric. "Modicon PLCs." Офіційний сайт Schneider Electric. Режим доступу до ресурсу: <https://www.se.com/us/en/product-range/1455-modicon-m340/>.
8. OMRON Corporation. "Sysmac Automation Platform." Офіційний сайт OMRON. Режим доступу до ресурсу: <https://automation.omron.com/en/us/products/family/Sysmac>.
9. Beckhoff Automation. "TwinCAT and PC-based control." Офіційний сайт Beckhoff Automation. Режим доступу до ресурсу: <https://www.beckhoff.com/en-en/products/automation/twincat/>.

10. Bolton, W. *Programmable Logic Controllers*. Newnes, 2015. ISBN: 9780081006269.
11. Kissell, T. *Industrial Automation and Process Control*. Pearson, 2013. ISBN: 9780133511030.
12. Pham, D.T., Afify, A.A. *Machine Tool Programming: Methods and Applications for CNC Machines*. Springer, 2016. ISBN: 9781447167955.
13. Laughton, M.A., Warne, D.F. *Electrical Engineer's Reference Book*. Elsevier, 2013. ISBN: 9780080969121.
14. John, K.H., Tiegelkamp, M. *IEC 61131-3: Programming Industrial Automation Systems*. Springer, 2010. ISBN: 9783642120147.
15. Жежерун Ю.П., Ліпатніков В.П. "Електроприводи: Основи теорії та практики". — Київ: Вища школа, 2015. — 320 с.
16. Загірняк М.В., Іванов С.П. "Основи електромеханіки". — Київ: Видавничий дім «Слово», 2017. — 450 с.
17. Приймак Б.І., Токарчук В.В. "Визначення умов монотонного характеру перехідної функції системи з модифікованим регулятором положення." // *Технічна електродинаміка*. — 2010. — № 2. — С. 52-55.
18. АВВ. "Технічні характеристики перетворювача частоти ACS355." Режим доступу до ресурсу: <http://www.abb.com/product/seitp322/716b19dc96f2ba0d44257b6400321872.aspx?tabKey=2&gid=ABB3AUA0000058192#downloads>.
19. HAAS Automation. "HAAS CNC Machines." Офіційний сайт HAAS Automation. Режим доступу до ресурсу: <https://www.haascnc.com>.
20. OMRON Industrial Automation. "Sensors and Measurement." Режим доступу до ресурсу: <https://industrial.omron.com/en/products/sensors>.
21. Terasaki, A. *Advanced CNC Programming Techniques*. — London: McGraw-Hill, 2018. ISBN: 9780071839777.
22. IEC. "International Standards for Automation Systems." Режим доступу до ресурсу: <https://www.iec.ch>.

23. Thayer, A. *PLC Programming Basics for Industrial Automation*. – New York: CRC Press, 2020. ISBN: 9781138307172.
24. Schneider Electric. "Automation Devices and Controllers." Режим доступа до ресурсу: <https://www.se.com>.
25. Vavra, T. *Industrial Automation: An Overview of the Market*. Springer, 2019. ISBN: 9783319874569.
26. National Instruments. "CompactRIO Controllers." Режим доступа до ресурсу: <https://www.ni.com>.
27. Parker Hannifin. "Hydraulic Automation Solutions." Режим доступа до ресурсу: <https://www.parker.com>.
28. Beckhoff. "Automation Without Limits." Режим доступа до ресурсу: <https://www.beckhoff.com>.
29. Bosch Rexroth. "Drive and Control Solutions." Режим доступа до ресурсу: <https://www.boschrexroth.com>.
30. ABB Automation. "PLCs and HMIs." Режим доступа до ресурсу: <https://new.abb.com/automation>.
31. Rockwell Automation. "FactoryTalk Software Suite." Режим доступа до ресурсу: <https://www.rockwellautomation.com>.
32. Siemens Digital Industries. "TIA Portal for PLC Programming." Режим доступа до ресурсу: <https://new.siemens.com>.
33. Delta Electronics. "Automation Systems." Режим доступа до ресурсу: <https://www.deltaww.com>.
34. Чумаченко С.Г. *Основы промышленной автоматизации*. – Харьков: ХНАДУ, 2012. – 300 с.
35. Allen-Bradley. *CompactLogix 5380 Controllers Technical Data*. – Rockwell Automation, 2022. Режим доступа до ресурсу: <https://literature.rockwellautomation.com>.

ДОДАТКИ

ANALYTICAL PART

1.1. The history of the development of CNC technologies

Numerical program control, or CNC (Computer Numerical Control), is one of the most significant innovations in the field of production, which radically changed the approach to mechanical engineering and material processing. Today, when CNC machines are used in almost every industry, it is important to go back to the origins of this technology and trace its evolution to understand how it acquired its modern form and meaning.

The history of the development of CNC technologies began in the middle of the 20th century, when there was a need for more accurate and automated control of production equipment. Prior to this, machines were controlled manually or using mechanical programs such as punch cards and cam systems.

One of the main problems faced by the industry was the low accuracy and complexity of the management of production processes, which did not allow to quickly and efficiently adapt machines to new production requirements. It was these challenges that became the impetus for the creation of numerical software control technology [1].

The first steps towards the development of CNC were made in the 1940s, when new automation methods began to be developed in the United States by order of the military. One of the pioneers of this technology is John Parsons, an engineer from Traverse City, Michigan, who developed a method of controlling tools using coordinate points to make turbine blades. He proposed the idea of using punched cards to control mechanical movements, which became the basis for the further development of CNC technologies. His ideas received support from the military, particularly the US Air Force, which was looking for ways to increase precision in the production of aircraft components.

After that, the main developments were transferred to the Massachusetts Institute of Technology (MIT). In 1949, at the initiative of the US Air Force and

under the leadership of Richard K. The grant was used to launch a project to develop the first machine tool with numerical software control [2].

The goal was to create a system that could automatically control tool movements with high precision, which was necessary for the production of aircraft parts. This project became the basis for the creation of the first CNC machine, which was used for metal processing.

In 1952, the first CNC machine was introduced at MIT laboratories (Figure 1.1). He worked on the basis of punched cards, which set instructions for controlling the movements of incisors in three-dimensional space.

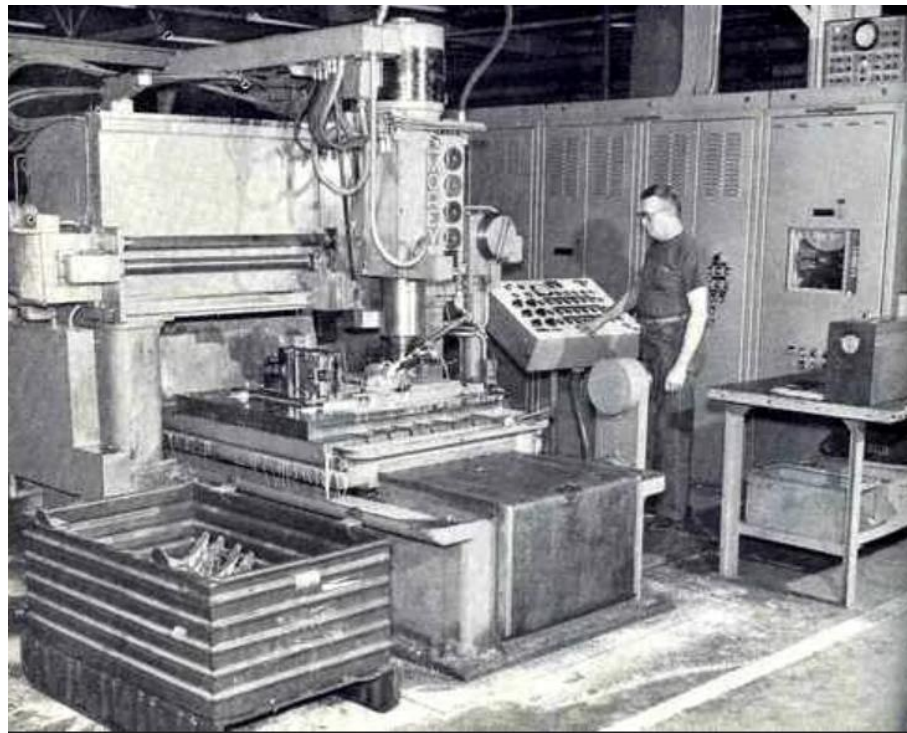


Figure 1.1 - The first CNC machine

This breakthrough opened up new horizons in industrial production. Although the first machines were quite complex and expensive to manufacture and use, their accuracy and the possibility of automation quickly attracted the attention of large enterprises [3].

At first, CNC was used mainly in the military sphere, but later it began to spread to civilian industry, especially in the production of cars and aircraft components.

The 1960s saw significant improvements in CNC technology. The main factor contributing to the development of this technology was the improvement of computer systems and the possibility of integrating computers into the production process.

Punched cards were gradually replaced by magnetic tapes, and then by computers, which allowed storing much more data and processing it at a higher speed [4].

This made it possible to significantly expand the possibilities of program management and make processes more flexible. Numerical control systems for various types of machines: milling, turning, drilling and others began to be developed during this period.

In the 1970s, there was another major breakthrough in the development of CNC technology (Figure 1.2). During this period, computers became more accessible, which made the introduction of CNC at enterprises more economically profitable.



Figure 1.2 – CNC in the 1970s

In addition, the first standards for CNC programming were developed at this time, the most famous of which is G-code, which is still used today to describe tool movements and other manufacturing parameters.

Standardization made it possible to make the technology universal and simplify the training of operators. It is also important to note that during this period, software was developed that allowed operators and programmers to create complex programs for machine control without the need for deep programming knowledge [5].

The 1980s became a period of mass distribution of CNC technologies. At this time, most large industrial companies began to introduce CNC into their production processes, which allowed to significantly increase the productivity and accuracy of manufacturing parts.



Figure 1.3 – CNC in the 1990s

CNC digitalization has opened up new horizons in production capabilities. Thanks to the integration of sensor systems, machine tools can now monitor the

condition of the tool in real time, monitor the wear of cutting elements, detect vibrations and other anomalies during processing.

This allows you to prevent possible accidents, reduce the number of defective parts and increase overall productivity [7].

In addition, the development of sensor technologies has made it possible to create adaptive control systems that can automatically adjust to changes in the characteristics of materials or the state of equipment.

The integration of CNC with cloud technologies has become another important stage in the development of this industry.

Cloud platforms provide an opportunity to store huge amounts of data generated during the operation of machines and analyze this data to optimize processes.

This not only increases production efficiency, but also makes it easier to manage large enterprises, as it allows operators to access and control machines remotely from anywhere in the world.

The development of artificial intelligence has also contributed to the improvement of CNC technologies. AI is used to predict tool wear, automatically optimize production processes, and detect potential faults before they affect productivity [9].

Another important area of development is the introduction of additive technologies, such as 3D printing, into CNC-controlled processes.

Although CNC machines are traditionally used for subtractive machining (milling, turning), the integration of additive technologies allows combining both approaches to create complex parts. This opens up possibilities for the production of prototypes and small-scale production with high flexibility and minimal loss of materials [8].

In addition, an important aspect of CNC development was the improvement of user interfaces. Modern control systems make it possible to easily and quickly

program machines without deep programming knowledge, using intuitive interfaces and software.

Operators can interact with machines through touch screens, graphical interfaces and even voice commands. This greatly facilitates the process of setting up the machines and makes them more accessible to a wide range of users.

Today, CNC machines continue to evolve, and their future looks even more promising thanks to the continuous improvement of technology.

1.2. Overview of the operation of modern CNC machines

Modern numerically controlled (CNC) machines have become an important element of industrial production, providing high precision, process automation and productivity. CNC is used in many industries - from mechanical engineering to aviation and medicine, as it allows the manufacture of complex components with minimal deviations and high speed.

Thanks to the integration with computers and the possibility of programming, these machines carry out extremely precise control of the cutting tools, which allows the production of parts of complex geometry.

One of the main advantages of CNC is process automation. In traditional control systems, when the operator controlled each stage, there was always a high probability of errors, which led to the loss of time and materials [11].

Thanks to CNC, the system is controlled by a computer and executes instructions given in advance in the form of digital codes. This allows you to avoid human errors and achieve maximum accuracy. Today's CNC systems are often integrated with computer-aided design (CAD) and computer-aided manufacturing (CAM) programs, allowing the entire cycle from design to production to be automated. This is especially important in areas such as the automotive or aerospace industries, where minimal deviations can lead to serious consequences.

The basis of the operation of CNC machines is the controller - a special computer that controls all machine processes. The controller receives a program that determines how the tool will move along the axes, what trajectory it should follow, and how the material should be processed. In modern machines, the controllers are very powerful, and their capabilities allow you to control movements along many axes at the same time. For complex parts, machines with five or more axes are used, which can process parts in all spatial directions without the need to readjust the workpiece.

In addition to controllers, drives and motors play an important role, which ensure the accuracy of tool movement. Modern machines use servomotors and stepper motors, which allow to achieve high accuracy [12].

One of the important aspects of the functioning of modern CNCs is software. It allows operators and engineers to design complex parts and then automatically translate those drawings into machine tools.

CAM software automatically creates a tool path based on a 3D model, which greatly simplifies the process of preparation for production. In addition, programs can automatically optimize trajectories to reduce processing time and minimize material consumption. With the development of AI and machine learning, some programs can already predict possible problems in the production process and make corrections in real time, increasing the efficiency and safety of work [1].

One of the innovations of recent years is the introduction of sensor technologies in CNC machines. This allows you to constantly monitor the condition of the tool, temperature, vibrations and other parameters that can affect the quality of processing. Sensors can detect the initial signs of tool wear and signal the need to replace it, which allows you to avoid breakdowns and downtime. In addition, the sensors help to optimize the cooling and lubrication processes of the tool, which extends its service life.

An important advantage of modern CNCs is their ability to work with a wide range of materials. From traditional metals such as steel or aluminum, to the latest

composite materials or even biological tissues in medical production, CNC machines are capable of processing different types of materials with high precision.

This makes them indispensable in such high-tech industries as aircraft construction, where parts must be light and at the same time very strong, or in medicine, where the manufacture of prostheses and implants requires an individual approach and perfect accuracy [13].

Another important innovation is the introduction of 3D printing as an additional function to CNC machines. This allows you to combine subtractive and additive methods of material processing in one device. On the one hand, the machine can mill a part from metal or other material, and on the other hand, it can add layers of material through 3D printing. This opens up new possibilities for the creation of complex components that were previously impossible to manufacture using traditional methods.

Modern CNC machines are highly automated systems that have significantly changed the approach to production processes. One of the key aspects of the development of these technologies is the increase in accuracy and speed of processing, which has become possible thanks to the combination of computer technology and mechanics. As a result, even the most complex geometric shapes, which were previously impossible to create using traditional processing methods, can now be produced quickly and with minimal material costs [10].

In the process of evolution of CNC machines, new types of machines appeared that specialize in certain production processes.

For example, electrical discharge machining (EDM) machines use electrical discharges to machine hard materials such as titanium and ceramics. This method provides high precision, especially when machining parts from materials that are difficult to machine with traditional machining.

Other machines, such as laser and plasma cutters, use the energy of light or plasma beams to cut metals quickly and accurately. Such technologies make it possible to achieve high accuracy of processing without direct contact with the

material, which reduces the probability of tool wear and ensures longer operation of the equipment [14].

In general, the development of CNC technologies continues to change industrial processes. Thanks to constant innovations in the field of software, materials and processing technologies, modern CNC machines are able to provide not only high precision and efficiency, but also flexibility of production processes, which becomes a key advantage in the conditions of globalization and competition.

1.3. PLC in industrial automation: general concepts and principles of operation

Programmable Logic Controllers (PLCs) have become the foundation of modern industrial automation, transforming the way management and control functions are performed in manufacturing. PLCs are specialized digital computers designed to perform control functions in industrial processes. Their development and implementation changed the face of industrial control, providing high reliability, flexibility and accuracy.

An important part of PLCs are their inputs and outputs. PLC inputs receive signals from sensors such as switches, temperature and pressure sensors, photoreceptors and other devices. These signals can be digital or analog. Digital signals have two states, on or off, while analog signals are continuous values, such as temperature or pressure levels. PLC outputs control various actuators such as relays, electromagnets, servo motors and conveyors.

PLC systems are also often integrated with various communication protocols, which allows them to interact with other PLCs, computers, and equipment [18].

This provides the possibility of centralized management and monitoring of processes in a large industrial area or in complex production systems. For example, a PLC can be part of a large automation network, where several controllers exchange data and coordinately control processes in different parts of the plant.

One of the main advantages of PLCs is their reliability. They are designed to operate in harsh industrial environments where electromagnetic interference, high temperatures or humidity may occur. PLCs have special protective cases and systems that ensure their resistance to such influences. This makes them ideal for use in complex production environments where process continuity and minimizing downtime are important.

Programmable logic controllers are digital computers specially designed for industrial conditions. They are designed to perform a variety of tasks such as controlling machines, processes and production lines. PLCs use programming to automate control functions, replacing traditional systems based on relays and contactors.

The basic principle of PLC operation is based on the cyclic execution of the program. The PLC constantly executes the program in a cycle consisting of three main stages:

4. Scan inputs: PLC reads signals from all connected sensors and sensors. These can be digital signals, such as on/off signals from switches, or analog signals, such as temperature or pressure.

5. Program processing: Based on the input signals read, the PLC executes a program that can be written in various programming languages. The program determines which outputs should be activated or deactivated according to the given conditions.

6. Update outputs: After processing the program, the PLC sends commands to outputs that control actuators such as relays, servo motors, conveyors, etc. This may include turning devices on or off, speed control, or any other management action [13].

Programming a PLC is a key aspect of its operation. There are several programming languages used to create programs for PLCs:

6. Ladder Logic: This is one of the most popular programming languages for PLCs. It resembles an electrical circuit with relays and contactors. Ladder Logic

presents conditions and actions in the form of graphical symbols, making it understandable for people with an electrical background.

7. **Function Block Diagram (FBD):** This is a graphical programming method where the program is made up of blocks that represent functions.

8. **Structured Text (ST):** It is a text-based programming language that resembles Pascal or C. It allows the use of structured commands to describe program logic and is a powerful tool for creating complex algorithms.

9. **Instruction List (IL):** This is a low-level text-based programming language that resembles assembly language. It uses simple commands to perform operations, which allows very precise control of processes.

10. **Sequential Function Charts (SFC):** This programming language is used to manage processes that have a clear sequence of steps. It allows you to determine the stages of the process and the transitions between them.

PLC consists of several main components:

6. **Processor (CPU):** The main component that executes the program and controls all other elements of the system. The processor processes input data, performs logical operations and generates output signals.

7. **Input and output modules (I/O modules):** Inputs receive signals from various sensors and sensors, and outputs control actuators. There are digital modules for working with binary signals and analog modules for working with continuous signals.

8. **Memory:** Stores the program, data and parameters necessary for the operation of the PLC. Memory can be of different types, including flash memory and RAM [15].

9. **Feeding:** PLC needs power supply to work. It can be direct current or alternating current, depending on the specific model of the PLC.

10. **Communication ports:** PLCs often have various ports to communicate with other devices such as computers, other PLCs, or peripherals. It can be Ethernet, RS-232, RS-485 or other protocols.

PLCs use different communication protocols to interact with other systems. This allows the PLC to be integrated into larger automation and control systems.

Programmable logic controllers remain critical to modern industrial automation, and their role in ensuring the efficiency, flexibility and reliability of manufacturing processes will only grow.

1.4. The main manufacturers of PLCs and their products for CNC

The major manufacturers of PLCs (Programmable Logic Controllers) have a huge impact on modern industrial automation, including numerous industries such as material processing, automotive manufacturing, oil and gas, and many others. PLCs are used to control technological processes, in particular, in machines with numerical program control (CNC). Their development and modernization are carried out by leading manufacturers, each of which offers its products with unique characteristics, oriented to the needs of various industrial sectors.

Siemens

Siemens is one of the leaders in the automation market, and their line of PLCs has a wide reputation for reliability, functionality and CNC compatibility. Siemens offers products that meet the highest quality standards in the field of automation. The Siemens Simatic S7 line is one of the most famous series of PLCs, widely used in numerous industries, including CNC machines.

A big advantage of Siemens products is that Simatic PLCs are highly resistant to industrial conditions where electromagnetic interference, high humidity or temperature may occur. This allows them to be used at facilities with harsh operating conditions, such as metallurgical plants or wood processing enterprises, where CNC machines are used [16].

Allen-Bradley (Rockwell Automation)

Allen-Bradley, a subsidiary of Rockwell Automation, is another leading PLC manufacturer. Their ControlLogix and CompactLogix controllers are recognized as

some of the best for complex industrial tasks, including CNC machine control. Allen-Bradley products stand out for their high scalability and ability to work in complex network environments. This allows the PLC to be easily integrated with other devices and systems on the production floor.

Allen-Bradley pays special attention to issues of safety and compatibility with other industry standards. The company's products support Ethernet/IP and ControlNet industrial protocols, which allows them to be integrated into complex automation networks. Thanks to this, CNC systems can be part of larger complexes of automated production management, which significantly increases efficiency and productivity.

Mitsubishi Electric

Mitsubishi Electric is also one of the leading manufacturers of PLCs for CNC systems. Their MELSEC series has been developed specifically for tasks related to the control of high-precision processes, such as the operation of CNC machines. MELSEC supports high-speed data processing and precise motion control, making them an ideal solution for many industries, including electronics manufacturing, where micron precision is important.

Mitsubishi also offers a high level of security and protection of its controllers from external threats. The product supports various data protection protocols, which makes it attractive for companies working with critical industrial processes.

Schneider Electric

Schneider Electric is an international corporation specializing in solutions for automation and energy management. Their Modicon series of PLCs are known for their reliability and flexibility in industrial processes. Modicon PLCs are widely used in CNC automation systems, where high accuracy and stability are important [17].

One of the main advantages of Schneider Electric products is integration with EcoStruxure ecosystems, which allows for centralized management of all aspects of production processes, including CNC machines. Modicon allows you to easily

integrate the CNC into the general automation network of the enterprise, providing flexibility and efficiency of management.

OMRON

OMRON is another significant player in the CNC PLC market. Their Sysmac series controllers are popular among companies specializing in high-precision manufacturing processes. Sysmac provides fast data processing and features to integrate motion control systems with common automation networks.

OMRON also offers PLCs that support extensive programming and integration with sensors and actuators. This allows you to create complex automated solutions for control of CNC and other mechanical systems. OMRON constantly invests in the development of the latest technologies to improve the accuracy and speed of its controllers.

Among OMRON's innovative solutions, we can mention the implementation of AI and machine learning algorithms in their controllers, which allows predicting possible failures and performing preventive equipment maintenance.

Beckhoff Automation

Beckhoff Automation specializes in creating open automation systems, and their PLCs are widely used for CNC control. Their TwinCAT technology allows PLC programming in a variety of languages, including popular industrial automation standards such as IEC 61131-3. TwinCAT allows for the integration of PLCs with CNC software, which greatly simplifies process management on production sites.

Beckhoff is known for its approach to industrial automation based on PC (PC-based control), which allows the integration of PLC functions into standard hardware, such as industrial computers.

1.5. Innovative directions in the field of HAAS VF-2 CNC and Allen-Bradley CompactLogix 5380 PLC

Innovative directions in the field of numerical control (CNC) and programmable logic controllers (PLC) influence the development of modern

production processes more and more every year. In the context of the HAAS VF-2 machines and the Allen-Bradley CompactLogix 5380 PLC, the latest innovations open up new opportunities to optimize work processes, increase productivity and ensure high precision in the processing of complex parts. Innovations in this area include the introduction of advanced technologies such as artificial intelligence (AI), machine learning, the Internet of Things (IoT), cloud technologies and integration with automated manufacturing process control systems. This allows you to achieve a high level of automation and efficiency in production, reducing the risk of errors and stoppages.

Evolution of HAAS VF-2 CNC systems

The HAAS VF-2 is one of the most popular CNC milling machines widely used in manufacturing due to its reliability, precision and high performance. The constant development of this platform includes the introduction of new functions and technologies that ensure faster and more accurate processing of parts [3].

One of the main innovative trends in HAAS VF-2 machines is the integration of advanced automation and control systems. This allows to achieve a high level of accuracy in the manufacture of complex parts, and also increases the speed of processing, which is critical for reducing the time of execution of production cycles.

Thanks to the introduction of new sensors and tool condition monitoring systems, HAAS VF-2 machines can automatically monitor tool wear, which allows for timely tool changes and ensures stable machining quality. This significantly reduces the risk of defects and minimizes equipment downtime, which positively affects overall productivity.

Also an important innovation is the ability to integrate HAAS VF-2 with modern programmable logic controllers, such as Allen-Bradley CompactLogix 5380. This allows you to expand the functionality of the machine, provide more flexible control of production processes and integrate it into automated production lines.

Innovations in the Allen-Bradley CompactLogix 5380 PLC

Allen-Bradley CompactLogix 5380 programmable logic controllers are among the leading solutions in the automation market due to their high performance, reliability and scalability. These controllers support modern communication protocols such as Ethernet/IP, which allows you to integrate them into distributed control systems and provide high-speed data exchange between various elements of the production system [18].

One of the main innovations in the CompactLogix 5380 is the support for high-precision motion control functions. This allows the use of a PLC to control complex machine movements, which is especially important for milling machines such as the HAAS VF-2. Thanks to this, it is possible to precisely adjust the processing parameters and automate the processes of changing tools or controlling multi-axis systems.

It is also worth noting that the CompactLogix 5380 supports advanced diagnostic and monitoring functions, which allows you to detect faults and predict the need for maintenance. This is an important step in the direction of implementing the concept of "predictive maintenance", which minimizes equipment downtime and ensures uninterrupted operation of machines.

Implementation of artificial intelligence and machine learning

One of the key areas of innovation in the field of CNC and PLC is the introduction of artificial intelligence (AI) and machine learning technologies. These technologies open new opportunities for automation of data analysis processes, optimization of production parameters and self-learning of control systems.

Based on the data collected during the operation of the machines and controllers, AI systems can automatically adjust the operating parameters to adapt them to changing production conditions, such as the type of material or the condition of the tool. This allows not only to increase processing efficiency, but also to save resources, such as energy or consumables [16].

Machine learning can also be used to predict possible equipment failures. For example, by analyzing data on vibration, temperature or other parameters, the

system can warn in advance about the need to replace parts or carry out maintenance, which reduces the risk of emergency downtime.

Internet of Things (IoT) and connected manufacturing

The Internet of Things (IoT) is another important innovation trend in CNC and PLC. Thanks to the connection of machines and PLCs to the Internet, it becomes possible to provide remote monitoring and management of production processes, as well as the collection and analysis of large volumes of data in real time.

Production lines using IoT technologies can work as a single integrated complex, where all system components (machines, PLCs, sensors, robotic systems) interact with each other, ensuring optimal operation. This allows enterprises to effectively respond to changes in production conditions and reduce the time for reconfiguration of equipment.

For example, in the case of integration of CompactLogix 5380 PLCs with HAAS VF-2 machines through IoT systems, remote control and diagnostics of the equipment can be carried out. This is especially useful for large manufacturing enterprises, where constant monitoring of equipment operation allows prompt response to deviations and prevention of production stoppages.

Use of cloud technologies

Cloud technologies also play an important role in innovation in CNC and PLC. Thanks to the ability to store data in the cloud and use cloud computing resources, enterprises can significantly improve the management of production processes and increase their flexibility.

For example, performance data from HAAS VF-2 machines and CompactLogix 5380 PLCs can be stored in the cloud and used to analyze performance, identify potential problems, or optimize processes. The use of cloud computing power allows analyzing large volumes of data using complex algorithms, which would be difficult to implement on local servers.

In addition, cloud platforms allow access to data from anywhere in the world, which is especially important for companies with global production networks. This

makes it possible to quickly respond to changes in production processes and ensure a uniform level of product quality at all enterprises [17].

Integration with robotic systems

Another innovative direction is the integration of CNC systems, such as the HAAS VF-2, and the CompactLogix 5380 PLC with robotic systems. Modern production lines increasingly use robotic manipulators to perform tasks that require high precision and speed. The integration of PLCs with robotic systems allows for the creation of fully automated production lines where robots interact with CNC machines without human intervention.

The CompactLogix 5380 PLC provides the possibility of precise control of robotic systems, which allows you to automate processes related to material handling, transportation of parts, assembly or packaging of products. This allows you to significantly increase productivity and ensure stable product quality.

Innovative directions in the field of CNC and PLC, in particular in the context of HAAS VF-2 machines and Allen-Bradley CompactLogix 5380 PLC, open up new opportunities for increasing the efficiency of production processes. The introduction of advanced technologies such as artificial intelligence, the Internet of Things, cloud computing and integration with robotic systems allows for new levels of automation and productivity.

These innovations not only reduce costs and increase processing accuracy, but also create new opportunities for adapting production processes to changing market conditions. Businesses that actively implement these technologies receive significant benefits, as they can use resources more efficiently, improve product quality, and reduce the risk of equipment downtime.

Thus, expanding the possibilities of CNC integration with PLC and introducing innovative solutions into production processes is a key factor in the successful development of modern enterprises in industry.

Innovative directions in the field of Numerical Control (CNC) and Programmable Logic Controllers (PLC) can be demonstrated through concrete

examples of real implementations that reflect successful strategies for improving efficiency and automating production processes. Below are examples of how the implementation of the HAAS VF-2 CNC in combination with the Allen-Bradley CompactLogix 5380 PLC is already implemented at various manufacturing enterprises, which allows achieving significant results in optimization [8].

Example 1: Aircraft manufacturing enterprise — increasing the accuracy of processing complex parts

One of the main challenges in the production of components for the aviation industry is the high precision and stability of the machining of parts, since even the smallest deviations can affect the safety and quality of the finished aircraft. An aerospace company that manufactures complex aluminum and titanium parts decided to integrate a HAAS VF-2 machine tool with an Allen-Bradley CompactLogix 5380 PLC system to improve accuracy and automate processes.

Implementation of the system:

Thanks to the integration of the CNC with the PLC, it was possible to automatically adjust the processing parameters according to the material characteristics. Artificial intelligence integrated with the PLC system monitored tool temperature and vibration, automatically adjusting spindle speed and feed to ensure maximum accuracy.

Results:

After implementing the system, part accuracy improved by 15% and the number of scraps decreased by 20%. In addition, due to automated maintenance forecasting, downtime due to malfunctions has been reduced by 30%. This allowed the enterprise to increase production capacity without reducing product quality.

Example 2: Automotive component plant - reducing energy costs

The automotive industry is constantly looking for ways to reduce production costs, in particular by optimizing energy efficiency. One of the automotive enterprises decided to implement automated energy management systems based on Allen-Bradley CompactLogix 5380 PLC and HAAS VF-2 CNC machines [1].

Implementation of the system:

To optimize energy consumption, a system was developed that allows you to monitor electricity consumption in real time. The Allen-Bradley PLC received data from energy consumption sensors installed at all nodes of the production line and automatically switched the machines to energy-saving mode during periods of idleness or reduced productivity.

Results:

After the implementation of the system, energy consumption was reduced by 25%, which allowed the company to significantly reduce operating costs. In addition, thanks to the use of PLC for monitoring and correcting the operation of the equipment, it was possible to prevent overheating of electric motors and other components, which significantly extended their service life.

Example 3: Pharmaceutical plant — integration of CNC and PLC robotic systems

Pharmaceutical companies require extreme precision and safety in their manufacturing processes, especially when manufacturing medicinal products. One of the leading pharmaceutical plants implemented an automated production line that combined HAAS VF-2 machines with an Allen-Bradley CompactLogix 5380 PLC and robotic systems for automatic loading and unloading of materials.

Implementation of the system:

The integration of PLC and CNC with robotic systems ensured automatic transportation of raw materials to the production line and precise coordination between robots and machines during material processing. The robots were controlled by an Allen-Bradley PLC, which made it possible to achieve smooth operation and minimize human intervention in the processes [7].

Results:

Automation helped increase production productivity by 35%, and also ensured stable product quality. Thanks to the integration of robotic systems and PLC, the human factor was eliminated, which reduced the risk of errors in production. It also

allowed for safe operation in sterile conditions, which are critical for the pharmaceutical industry.

Example 4: Small manufacturing enterprises — quick adaptation to new orders

Small businesses often face the problem of quickly changing production tasks due to small batches of orders and variety of products. A small electronics component manufacturing company implemented HAAS VF-2 machine tools in conjunction with an Allen-Bradley CompactLogix 5380 PLC to provide manufacturing flexibility.

Implementation of the system:

Thanks to the ability to quickly reprogram the PLC, the production line was able to automatically adjust to new tasks without the need to stop the equipment for a long time. This allowed the enterprise to quickly switch from the production of one product to another, ensuring maximum productivity in the minimum time.

Results:

After integrating the CNC with the CompactLogix 5380 PLC, the time to reconfigure production lines was reduced by 40%. This allowed the company to quickly respond to customer requests and fulfill orders with less downtime. Flexibility and quick adaptation to new production conditions have become an important competitive advantage in the market.

Example 5: Metallurgical enterprise — predictive maintenance and monitoring

The metallurgical industry, which depends on heavy equipment and continuous production, always has significant costs due to downtime due to breakdowns. One of the enterprises implemented an Allen-Bradley CompactLogix 5380 PLC in a complex with HAAS VF-2 machines for predictive maintenance and equipment condition monitoring [1].

Implementation of the system:

A real-time data collection system was implemented. An Allen-Bradley PLC processed temperature, vibration and stress information on key components of the HAAS VF-2 machines. Based on the analysis of this data, the system automatically notified the need for maintenance or replacement of parts before they failed.

Results:

Thanks to predictive maintenance, production downtime was reduced by 50%. The company also noted a 20% reduction in equipment repair costs and a 20% extension of the service life of the machines. This enabled the enterprise to work more stably, ensuring a continuous production process even during peak periods.

Innovative directions in the field of HAAS VF-2 CNC and Allen-Bradley CompactLogix 5380 PLC provide modern enterprises with new opportunities to improve the efficiency of production processes. Real examples of the implementation of these technologies show how automation, integration with robotic systems, the implementation of predictive maintenance and the use of cloud solutions allow achieving significant results.

Thanks to the possibility of precise management and monitoring of equipment, enterprises reduce the number of downtimes, increase productivity and ensure stable product quality. Innovations in this area continue to develop, opening new ways to achieve competitive advantages in industry [19].

1.6. Impact of artificial intelligence and machine learning on the automation of HAAS VF-2 CNC machines

The impact of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML) on numerically controlled (CNC) machine tool automation, such as the HAAS VF-2, is becoming one of the key drivers in modern manufacturing. AI and MN open up new opportunities for optimizing production processes, increasing productivity, reducing costs, and improving product quality. In the conditions of global digital transformation and the fourth industrial revolution (Industry 4.0), the integration of

intelligent technologies with CNC equipment is an important step in creating fully automated and flexible production lines.

Defining the role of artificial intelligence and machine learning

Artificial intelligence is a branch of computer science that focuses on developing systems capable of performing tasks that normally require human intellectual input. This includes big data analysis, real-time decision making and machine learning. Machine learning, in turn, is a subfield of AI that specializes in developing algorithms that allow computers to learn from experience, analyze data and make predictions or make decisions without the need to program each operation.

The main directions of implementation of AI and MN in the HAAS VF-2 CNC

The integration of AI and MH technologies into CNC machines such as the HAAS VF-2 can be realized through several key areas. These technologies help improve machine control, automate quality control, optimize material processing, and ensure more flexible and reliable work [20].

6. Optimization of machine operating modes

One of the main directions of using AI and MN on CNC machines is automatic optimization of processing parameters in real time. AI systems analyze data from machine tool sensors and controllers and use that data to adapt operating modes such as cutting speed, tool feed and spindle rotation. For example, the system can detect that machining a certain type of material at high speeds increases tool wear and will automatically reduce the speed to ensure longer tool life and improved machining quality.

7. Prediction of tool wear and maintenance

AI and MN make it possible to predict tool wear and the need for machine maintenance. This is achieved through the analysis of data such as vibration, temperature, pressure and noise generated during machine operation. Machine learning algorithms can compare current operating parameters with historical data and identify trends that indicate wear or potential breakdowns. This allows you to

plan tool changes or maintenance in advance, reducing the risk of emergency shutdowns and minimizing downtime.

8. Intelligent management of production processes
Intelligent AI-based control systems can automatically adjust the operation of all components of the manufacturing process, including CNC machines, robots, conveyor systems and other production lines. For example, in an integrated manufacturing environment where the HAAS VF-2 CNC works together with other automated systems, AI can optimize the flow of materials between different nodes, keeping the entire line running smoothly and increasing overall productivity.

9. Quality control in real time
Machine learning systems can be used for automatic product quality control. On HAAS VF-2 machines, this can include analyzing machined parts using sensors or optical systems. AI algorithms can compare images or data from scanners with reference samples and detect defects such as deviations from specified dimensions or surface irregularities. This approach makes it possible to identify defective parts at the production stage and promptly take measures to correct the process.

10. Adaptive systems of training and self-learning
Machine learning allows you to create systems that can learn based on accumulated experience. This means that CNC control systems can gradually improve their control algorithms based on the collected data. For example, a HAAS VF-2 machine equipped with machine learning can automatically improve its machining parameters based on historical data about different types of materials and tools. Such an adaptive system allows you to constantly increase production efficiency, reducing the number of errors and downtime [21].

Real examples of implementation of AI and MN on CNC machines

Example 1: Using machine learning to predict tool wear in a car factory

A large automotive plant specializing in engine manufacturing implemented an artificial intelligence and machine learning system to predict tool wear on HAAS VF-2 CNC machines. The plant faced problems of frequent emergency shutdowns

due to premature wear of cutting tools, which resulted in significant losses in productivity.

Decision:

Engineers implemented a machine learning system that analyzed data from sensors installed on HAAS VF-2 machines. The data included temperature, pressure, spindle speed and vibration during machining. Using machine learning algorithms, the system predicted when a tool would reach a critical level of wear and automatically signaled the need to replace it.

Results:

The number of emergency stops due to tool wear decreased by 40%.

Downtime was reduced by 25%.

Thanks to predictable tool changes, production productivity increased by 15%, and equipment maintenance costs were significantly reduced.

This example shows how machine learning enabled a company to optimize the operation of a HAAS VF-2 CNC, reducing waste and increasing overall production efficiency[22].

Example 2: Using artificial intelligence for quality control at a pharmaceutical enterprise

A pharmaceutical company that manufactures medical equipment used a HAAS VF-2 CNC to manufacture high-precision components. Product quality is critical to the pharmaceutical industry, as even minor defects can affect the functionality and safety of the final products.

Decision:

The company has implemented an artificial intelligence system for automatic quality control in the process of manufacturing parts. The AI analyzed data from optical systems and laser scanners that checked the dimensional and surface accuracy of each part produced on the HAAS VF-2 machines. The system was trained on a large amount of data and automatically detected defects that could have been missed during manual inspection.

Results:

Product quality improved by 20%.

The number of defective parts decreased by 30%.

The quality control process was automated, which made it possible to reduce control time and increase the overall speed of production.

This case study demonstrates how AI can improve quality control in CNC machines, ensuring the safety and reliability of the manufacturing process.

Example 3: Integrating Artificial Intelligence to Adapt Manufacturing Processes in Real Time at an Electronics Factory

An electronics component manufacturing plant faced the challenge of frequently changing production tasks due to changing customer requirements. To reduce the time for reconfiguration of HAAS VF-2 CNC machines and ensure production flexibility, the plant decided to implement artificial intelligence technologies[23].

Decision:

AI was integrated into the CNC control system, which allowed for automatic adjustment of processing parameters as tasks changed. Machine learning algorithms analyzed data on the types of materials, tools and work modes used at different stages of production and automatically adjusted parameters to ensure optimal performance.

Results:

Machine reconfiguration time reduced by 50%.

The plant was able to quickly adapt to new orders, increasing overall production flexibility.

The productivity of the production line increased by 25% and the number of errors related to human intervention decreased.

This case study shows how the use of AI and MN helped an enterprise to improve productivity, flexibility and competitiveness in the market.

Example 4: Predictive maintenance at a metallurgical enterprise

A steel plant using a HAAS VF-2 CNC for metal processing implemented predictive maintenance to avoid frequent emergency shutdowns that resulted in significant financial losses. Constant stoppages due to breakdowns or worn parts had a negative impact on production cycles and productivity[24].

Decision:

The plant installed an AI and MH system that monitored the condition of the equipment in real time. Machine learning algorithms analyzed data on temperature, vibration and other machine parameters and predicted when maintenance or parts replacement would be necessary.

Results:

The number of emergency stops decreased by 40%.

The plant was able to schedule maintenance at convenient times, which reduced the impact on production cycles.

Repair and maintenance costs were reduced by 30%, as breakdowns could be prevented at an early stage.

Predictive maintenance based on AI has helped the company to ensure the continuity of production processes and reduce operational costs.

Example 5: Using artificial intelligence to optimize energy consumption

At a large home appliance manufacturing company, an AI system was implemented to optimize the energy consumption of HAAS VF-2 CNC machines. The plant faced high electricity costs, which accounted for a significant portion of total operating costs.

Decision:

Engineers implemented an artificial intelligence system that analyzed data on the energy consumption of each machine in real time. Machine learning algorithms automatically adjusted machine operating modes based on load, type of materials being processed, and operating time to minimize power consumption[26].

Results:

Energy consumption in production decreased by 20%.

The plant was able to reduce energy costs without reducing productivity.

Automation of energy management also helped to increase the stability of the equipment and reduce the load on the power grid.

This example illustrates how artificial intelligence can not only improve productivity and quality, but also help optimize the use of resources, which is an important aspect in today's industry.

Conclusion

Examples of real-world applications of artificial intelligence and machine learning on CNC machines such as the HAAS VF-2 demonstrate the significant potential of these technologies to improve the efficiency of manufacturing processes. They allow not only to automate quality control and optimize operating parameters, but also enable predictive maintenance and lower energy costs. The integration of these technologies is an important step in the development of modern automated production, which allows enterprises to reduce costs, increase flexibility and ensure stable product quality. Using big data to optimize processes

Artificial intelligence and machine learning cannot work without data, so an important aspect of their implementation is the collection and analysis of large amounts of information. In today's production facilities, CNC machines such as the HAAS VF-2 are constantly generating vast arrays of data about each machining process. This data can include information on processing speed, tool condition, temperature, wear, motor power, vibration, and even quality indicators of finished parts.

Big data allows AI and MH systems to gain a detailed understanding of how various factors affect the production process. For example, the analysis of historical data can show that certain tools wear more quickly under certain machining conditions, allowing you to adapt the operating modes to increase their service life. In addition, systems can detect hidden patterns that help optimize equipment operation and reduce energy consumption [28].

Advantages and challenges of implementing AI and MN in CNC

Advantages:

5. **Productivity improvement:** Real-time automatic adjustment of work parameters ensures more efficient processing of parts without wasting time on manual adjustment.
6. **Reduction of downtime:** Predictive maintenance reduces the number of emergency stops and allows you to plan tool changes and maintenance.
7. **Product quality improvement:** Intelligent real-time quality control systems ensure early detection of defects and reduce scrap.
8. **Energy efficiency:** Optimizing operating modes based on data helps to reduce energy consumption, which is an important factor in large production lines.

Challenges:

4. **The need to collect large volumes of data:** Effective use of AI and MN requires implementation of data collection and analysis systems, which may require additional investment.
5. **Integration with existing systems:** Enterprises may face difficulties in integrating new intelligent systems with already existing production lines.
6. **Staff training:** The successful implementation of AI requires the training of personnel who will work with new technologies and support their work[29].

The impact of artificial intelligence and machine learning on the automation of CNC machines such as the HAAS VF-2 is huge and promising. The integration of these technologies allows you to significantly improve the management of production processes, optimize the processing of materials, predict maintenance and ensure high product quality. AI and MN open up new opportunities for enterprises in various industries, allowing to reduce costs and increase productivity, which is especially important in today's competitive environment.

1.7. Industry development forecast for the next 5-10 years

The industry forecast for CNC machines such as the HAAS VF-2 and Programmable Logic Controllers (PLCs) such as Allen-Bradley predicts dramatic changes in the next 5-10 years due to rapid technological advancements. The industry is on the verge of the fourth industrial revolution (Industry 4.0), which is characterized by the introduction of cyber-physical systems, artificial intelligence, machine learning, the Internet of Things (IoT) and other innovations. These changes will affect not only the technical characteristics of the equipment, but also the approaches to the management of production processes, service models and the level of automation of enterprises.

1. Increasing the level of production automation

In the next 5-10 years, a significant increase in the level of automation in production processes is expected. CNC machines such as the HAAS VF-2 will increasingly be integrated into complex, automated production lines that will operate with almost no human intervention. Programmable logic controllers (PLCs) such as Allen-Bradley will play a key role in coordinating the operation of various equipment, including CNC machines, robotic systems, conveyors and other components of manufacturing processes.

The integration of PLC with CNC will allow to automate most of the processes of setup, material processing and quality control, which will significantly reduce the time of production cycles and increase the accuracy of processing. Technologies such as artificial intelligence and machine learning, which are already being actively implemented, will continue to develop, allowing systems to independently optimize production processes, adjust work parameters to real-time conditions, and automatically respond to changes [13].

2. Integration of artificial intelligence (AI) and machine learning (ML)

One of the main directions of development of the industry will be the in-depth integration of AI and MN in equipment management processes. Based on the

analysis of big data (Big Data), control systems will be able to make decisions faster and more accurately than is possible today. AI will be used to predict tool wear, optimize processes in real-time, manage maintenance and even schedule production tasks.

Predictive maintenance, which is based on artificial intelligence, will become the standard in many industries. This will significantly reduce the costs of repair and maintenance of equipment, as well as reduce the number of emergency downtimes. Thanks to machine learning, CNC machines and PLCs will be able to adapt to operating conditions and improve their control algorithms based on accumulated experience.

3. Development of the Internet of Things (IoT) and the Industrial Internet of Things (IIoT)

The Internet of Things (IoT) is playing an increasingly important role in industry, and this trend will continue. The Industrial Internet of Things (IIoT) will connect CNC machines, PLCs, sensors and other elements of production lines to a single network, which will provide an opportunity to monitor and manage production processes in real time.

Connected manufacturing systems will provide access to large amounts of data to help improve equipment monitoring, analyze operational performance, and identify opportunities for optimization. By integrating IIoT, businesses will be able to use resources more efficiently, reduce energy costs, and respond more quickly to changes in the production environment. It is expected that by 2030, most large production facilities will be fully integrated into IoT networks [30].

4. Transition to cloud technologies

Management of production processes based on cloud technologies (cloud computing) is also gaining popularity and will become one of the key areas of development of the industry in the coming years. CNC and PLC control systems will increasingly use cloud platforms for data storage and processing.

The use of cloud technologies will reduce infrastructure costs, provide access to data from anywhere in the world, and expand opportunities for analytics and forecasting. In addition, cloud solutions will allow companies to easily integrate new equipment into existing systems and quickly scale production as needed. This approach will make production management more flexible and allow for faster introduction of new technologies.

5. Integration of robotic systems

Every year, robotic systems are becoming more and more common in production processes, and this trend will continue. The integration of CNC and PLC robots will allow creating fully automated production lines, where robots will perform the tasks of loading, unloading, transporting materials and even assembling products.

Programmable logic controllers will play a key role in the management of such robotic systems, ensuring precise coordination between the various elements of production lines. This will allow to achieve a higher level of productivity, reduce labor costs and improve product quality.

6. Personalization of production and mass customization

Innovations in automation and CNC will also change approaches to product manufacturing, opening up opportunities for mass customization. Thanks to a high level of automation, companies will be able to quickly adapt their production lines to different individual orders without losing productivity [1].

AI and CNC will enable automatic adjustment of production parameters for each order, enabling the production of personalized goods on a mass scale. This is especially important for industries such as automotive, aerospace, consumer electronics, and even medicine, where individual product characteristics can be important.

7. Improvement of production safety

In the coming years, an important trend will be the further development of technologies that increase safety at work. Thanks to automated monitoring and

control systems based on artificial intelligence and PLC, enterprises will be able to provide safer working conditions.

Security systems integrated with CNC and PLC will allow to automatically stop the equipment in case of detection of emergency situations or other threats. Thanks to machine learning technologies, such systems will be able to predict potential risks and take measures to avoid them, reducing the level of injuries at work.

8. Energy efficiency and sustainability of production

Modern trends also include growing attention to energy efficiency and environmental sustainability of production. PLCs and CNCs, equipped with intelligent energy management systems, will allow optimizing the consumption of resources, which will help reduce electricity costs and reduce carbon dioxide emissions [32].

It is predicted that in the next 5-10 years, intelligent energy-saving technologies will be implemented in most production processes. This will allow enterprises not only to reduce costs, but also to meet the new requirements of environmental standards, which are becoming increasingly strict around the world.

9. Development of additive technologies (3D printing)

Additive technologies such as 3D printing will continue to be introduced into manufacturing alongside traditional materials processing methods. CNC machines and PLCs will play an important role in the integration of these technologies into production lines. 3D printing will significantly reduce the time for the production of prototypes, as well as the production of complex parts with non-standard shapes.

Thanks to CNC and PLC working in conjunction with 3D printing, enterprises will be able to produce unique parts within one production cycle, which will contribute to further customization of products and lower costs of their production.

The forecast for the development of the CNC and PLC industry for the next 5-10 years foresees radical changes caused by the introduction of the latest technologies, such as artificial intelligence, machine learning, the Internet of Things

and cloud solutions. These technologies will help increase the level of automation, flexibility and productivity of production processes, while reducing energy and maintenance costs.

Companies that actively implement these innovations will have significant advantages in the market, as they will be able to adapt to changes more quickly, ensure high product quality and reduce costs. Industry 4.0 is gradually becoming a reality, and it is the integration of CNC and PLC with the latest technologies that is an important step towards achieving this goal [33].

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

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

20 грудня 2024 року



Полтава 2024

Збірник наукових праць за матеріалами X Всеукраїнської науково-практичної конференції «Електронні та мехатронні системи: теорія, інновації, практика», 20 грудня, 2024 р. / Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка».

Редколегія: О.В. Шефер (головний редактор) та ін. – Полтава: НУ «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», 2024. – 124 с.

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

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

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

Редакційна колегія:

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

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

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

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

О.І. Євдоченко ОСОБЛИВОСТІ БАГАТОПОЗИЦІЙНИХ КОДІВ РІДА – СОЛОМОНА.....	106
Є.М. Заніздра АНАЛІЗ ДОЦІЛЬНОСТІ ТА РОЗРОБЛЕННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИКИ ДЛЯ ТЕПЛООВОГО ВУЗЛА КОРПУСУ.....	107
С.Г. Кислиця, І.О. Вишневський РОЗРОБКА МАТЕМАТИЧНИХ МОДЕЛЕЙ ЕЛЕКТРОМАГНІТНИХ І ТЕПЛОВИХ ПРОЦЕСІВ В ВЕНТИЛЬНОМУ ІНДУКТОРНОМУ ДВИГУНІ.....	109
І.О. Єндіяров, Н.В. Єрмілова РОЗРОБЛЕННЯ ПРОЄКТУ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ БЕЗПЕРЕБІЙНОГО ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ КОМУНАЛЬНОГО НАВАНТАЖЕННЯ БАГАТОПОВЕРХОВОГО БУДИНКУ.....	112
С.Г. Кислиця, Р.М. Ковган ДОСЛІДЖЕННЯ ЕЛЕКТРОПРИВОДУ БАГАТОМОТОРНОГО ВЗАЄМОПОВ'ЯЗАНОГО ШАРОВОГО КОНВЕЄРУ.....	114
О.А. Мешко, Н.В. Єрмілова РОЗРОБЛЕННЯ ТА ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ ЗАЗЕМЛЕННЯ ДЛЯ ПОВІТРЯНИХ ЛІНІЙ ЕЛЕКТРОПЕРЕДАЧ.....	116
В.В. Пушкарь СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕРСТАТИВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ПРИ ОБМЕЖЕННЯХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ.....	118
О.М. Федоренко РОЗРОБКА МАНІПУЛЯТОРА ДЛЯ НАЗЕМНОЇ РОБОТОТЕХНІЧНОЇ ПЛАТФОРМИ.....	119
А.О. Говтяниця, Б.Р. Боряк АРХІТЕКТУРА ПРОГРАМНО-КЕРОВАНОВОГО РАДІО.....	120

УДК 621.914.3-523.8:621.317.38

В.В. Пушкарь, студент,

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»

СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ВЕРСТАТІВ ТА ЇХ ВИКОРИСТАННЯ ПРИ ОБМЕЖЕННЯХ ЕЛЕКТРОПОСТАЧАННЯ

Системи числового програмного управління (ЧПУ) забезпечують високу точність та гнучкість у керуванні верстатами, що робить їх незамінними у сучасному виробництві. Вони складаються з апаратного забезпечення (контролери, датчики, приводи) та програмного забезпечення, що дозволяє створювати та виконувати складні програми обробки матеріалів [1].

Робота сучасних верстатів ЧПУ потребує стабільного електропостачання, оскільки нестабільність напруги або короткочасні збої можуть призвести до втрати даних, аварійного завершення процесу або пошкодження обладнання. Для забезпечення роботи верстатів за умов нестабільного електропостачання використовуються додаткові системи енергозабезпечення [2].

ДБЖ є важливим компонентом системи керування верстатів при обмеженнях електропостачання. Вони забезпечують стабільну напругу та захист обладнання від перепадів напруги, дозволяючи продовжувати роботу або коректно завершити виробничий цикл у разі повного відключення електроенергії [3].

Сучасні системи керування підтримують режими енергозбереження, які автоматично знижують споживання електроенергії під час простоїв або виконання менш енергоємних операцій. Використання ПЛК, таких як Allen-Bradley CompactLogix 5380, дозволяє оптимізувати енергоспоживання верстатів без шкоди для продуктивності [4].

Для роботи у складних умовах з нестабільним електропостачанням використовуються генератори або резервні батареї, які інтегруються із системами ЧПУ. ПЛК забезпечує автоматичне перемикання на резервні джерела живлення, що мінімізує час простоїв [5].

Деякі сучасні виробництва інтегрують системи керування ЧПУ з відновлюваними джерелами енергії, такими як сонячні панелі або вітрогенератори. ПЛК у таких системах дозволяє оптимізувати розподіл енергії між споживачами та забезпечити стабільну роботу верстатів [6].

Інтелектуальні системи керування, які базуються на алгоритмах машинного навчання, дозволяють передбачати можливі збої у електропостачанні. Це дозволяє заздалегідь налаштувати роботу верстатів у менш енергоємних режимах або планувати технічні паузи [7].

Використання сучасних систем ЧПУ та ПЛК дає можливість не лише забезпечити стабільну роботу обладнання за умов обмеженого електропостачання, але й зменшити загальні витрати енергії, підвищити надійність процесів та зменшити ризики аварійних зупинок [8].

Список літератури

1. Попович Н.Г., Гаврилюк В.А., Ковальчук А.В. *Елементи автоматизованого електроприводу*. – К.: НМКВО, 2000. – 260 с.
2. Siemens AG. "SIMATIC Controllers." Режим доступу до ресурсу: <https://new.siemens.com>.
3. Rockwell Automation. "Allen-Bradley PLCs." Режим доступу до ресурсу: <https://www.rockwellautomation.com>.
4. Mitsubishi Electric. "MELSEC iQ-R Series." Режим доступу до ресурсу: <https://www.mitsubishielectric.com>.
5. Schneider Electric. "Modicon PLCs." Режим доступу до ресурсу: <https://www.se.com>.
6. OMRON Corporation. "Sysmac Automation Platform." Режим доступу до ресурсу: <https://automation.omron.com>.
7. Beckhoff Automation. "TwinCAT and PC-based control." Режим доступу до ресурсу: <https://www.beckhoff.com>.
8. Bolton, W. *Programmable Logic Controllers*. Newnes, 2015. ISBN: 9780081006269.

MACHINE CONTROL SYSTEMS AND THEIR USE WITH ELECTRICAL SUPPLY LIMITATIONS

V. Pushkar, student,

National University «Yuri Kondratyuk Poltava Polytechnic»

Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»
Департамент економічного розвитку, торгівлі та залучення інвестицій
Полтавської обласної військової адміністрації
Полтавська торгово-промислова палата
Університет Флорида (США)
“1 DECEMBRIE 1918” University of Alba Iulia (Румунія)
Білостоцький технологічний університет (Польща)
Вільнюський університет прикладних наук (VIKO) (Литва)
London Metropolitan University (Велика Британія)
Словацький технологічний університет (Словаччина)
Рада молодих вчених Національної академії наук України
Рада молодих вчених Національного університету «Запорізька політехніка»
Рада молодих вчених Національного технічного університету «Дніпровська політехніка»
Рада молодих вчених Національного університету «Чернігівська політехніка»
Рада молодих вчених Національного університету «Одеська політехніка»
Рада молодих вчених Одеського національного університету імені І.І. Мечникова
Рада молодих вчених Ізмаїльського державного гуманітарного університету
Рада молодих вчених Глухівського національного педагогічного університету
імені Олександра Довженка
Рада молодих вчених Сумського національного аграрного університету
Рада молодих вчених Національного технічного університету України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
Рада молодих вчених Харківського національного педагогічного університету імені Г.С. Сковороди
Рада молодих вчених Чернівецького національного університету імені Юрія Федьковича
Рада молодих вчених Хмельницького національного університету
Рада молодих вчених Київського національного університету будівництва та архітектури
Рада молодих вчених Херсонського державного аграрно-економічного університету

МОЛОДІЖНА НАУКА: ІННОВАЦІЇ ТА ГЛОБАЛЬНІ ВИКЛИКИ

ЗБІРНИК ТЕЗ

Міжнародної науково-практичної конференції студентів,
аспірантів та молодих вчених



Полтава, 06 листопада 2024 року

Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики // Збірник тез за матеріалами Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених – Полтава: НУПП імені Юрія Кондратюка, 2024. – 727 с.

У збірнику тез опубліковані результати наукових досліджень студентів, аспірантів та молодих учених, які були включені в програму Міжнародної науково-практичної конференції студентів, аспірантів та молодих вчених «Молодіжна наука: інновації та глобальні виклики» (06 листопада 2024 року, Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка»). Тези подано в авторському оригіналі українською чи англійською мовами.

Редакційна колегія

МАСЛІЙ Олександра – голова ради молодих вчених Національного університету «Полтавська політехніка імені Юрія Кондратюка», к.е.н., доцент;

ЧАЙКІНА Аліна – голова ради навчально-наукового інституту фінансів, економіки, управління та права, к.е.н., доцент;

ПАЛІЙ Катерина – голова ради молодих вчених факультету філології, психології та педагогіки, к.ф.н., доцент кафедри;

КРАВЧЕНКО Михайло – голова ради факультету фізичної культури та спорту, асистент кафедри;

ГАСЕНКО Антон – голова ради молодих вчених навчально-наукового інституту архітектури, будівництва та землеустрою, д.т.н., професор кафедри;

БОРЯК Богдан – голова ради молодих вчених навчально-наукового інституту інформаційних технологій та робототехніки, к.т.н., доцент кафедри;

ЛЕВЧЕНКО Ірина – доцент кафедри міжнародних економічних відносин та туризму, доктор філософії;

МАКСЮТА Наталія – начальниця відділу аналізу інноваційної діяльності та інтелектуальної власності, доктор філософії;

ЛЕВЧЕНКО Валерій – Президент Студентського парламенту університету;

БУРЯК Альона – доцент кафедри міжнародних економічних відносин та туризму, к.е.н., доцент;

УСЕНКО Дмитро – доцент кафедри хімії та фізики, магістр фізики, доктор філософії;

ЙОПА Тетяна – старший викладач кафедри фізичної культури та спорту, кандидат в майстри спорту України з дзю-до;

РІЗНИК Юлія – старший викладач кафедри загального мовознавства та іноземних мов;

ЛАКТИОНОВ Олександр – доцент кафедри автоматичної електроніки та телекомунікацій, к.т.н., доцент кафедри.

<i>Padun Yuriy Oleksiyovych</i>	347
<i>Bilash Antonina Ihorivna</i>	347
<i>Bibik Mykola Volodymyrovych</i>	347
RESEARCH OF TYPES OF CELLULAR COMMUNICATION ANTENNA STRUCTURES IN USE.....	347
<i>Petrikey Ihor Ivanovych</i>	349
<i>Scientific Supervisor: Avramenko Yuriy Oleksandrovych</i>	349
<i>Mahas Nataliia</i>	349
DESIGN ASPECTS OF VENTILATED FACADES	349
<i>Попело Олександр Павлович</i>	352
СТРАТЕГІЧНІ ПРІОРИТЕТИ РОЗВИТКУ ПРОМИСЛОВИХ ПІДПРИЄМСТВ В УМОВАХ ЦИФРОВІЗАЦІЇ.....	352
УДК 621.914.3-523.8:621.317.38	353
<i>Пушкарь Валентин Вікторович</i>	353
ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВЕРСТАТОМ HAAS VF-2 ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОДУКЦІЇ	353
<i>Постернак Олексій Сергійович</i>	355
<i>Науковий керівник: Постернак Ірина Михайлівна</i>	355
ЕКОЛОГІЧНІ ЗАГРОЗИ АНТРОПОГЕННОГО ВПЛИВУ БУДІВЕЛЬНИХ РОБІТ НА НАВКОЛИШНЄ СЕРЕДОВИЩЕ	355
<i>Рахімов Павло Євгенович</i>	357
<i>Науковий керівник: Чубур Наталія Володимирівна</i>	357
РОЛЬ ДЕРЖАВНОЇ ПІДТРИМКИ В РОЗВИТКУ ІННОВАЦІЙНИХ ЕКОСИСТЕМ В УКРАЇНІ: ШЛЯХИ ВДОСКОНАЛЕННЯ	357
<i>Ремаренко Богдан Юрійович</i>	358
СТАБІЛІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ АД ПРИ НЕЛІНІЙНИХ НАВАНТАЖЕННЯХ	358
<i>Romanenko Dmitrii Borysovych</i>	360
<i>Chegrynets Anna</i>	360
EXPERIMENTAL STUDYING THE STRESS-STRAIN STATE OF REINFORCED BIMATERIAL CONCRETE BEAMS OF RECTANGULAR CROSS-SECTION	360
<i>Самойлович Олександр Ігорович</i>	363
ПЕРСПЕКТИВИ ВИКОРИСТАННЯ ЦИФРОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ В УПРАВЛІННІ ПРОМИСЛОВИМИ ПІДПРИЄМСТВАМИ.....	363
<i>Серга Тетяна Миколаївна</i>	365
АНАЛІЗ РЕЗУЛЬТАТІВ ДОСЛІДЖЕНЬ КОМПОНЕНТНОГО СКЛАДУ ПОБУТОВИХ ВІДХОДІВ ДЛЯ НАСЕЛЕНИХ ПУНКТІВ СЕЛИЩНОГО Й СІЛЬСЬКОГО ТИПУ ПОЛТАВСЬКОЇ ОБЛАСТІ	365

Пушкарь Валентин Вікторович
здобувач освіти другого (освітньо-наукового) рівня вищої освіти
Національний університет «Полтавська політехніка імені Юрія
Кондратюка»

ДОСЛІДЖЕННЯ РІВНЯ ВИТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ ВЕРСТАТОМ HAAS VF-2 ДЛЯ ВИГОТОВЛЕННЯ ПРОДУКЦІЇ

Полтавський регіон активно працює над оптимізацією промислових процесів для мінімізації витрат електроенергії, що є важливим у контексті енергетичної ефективності. Одним із рішень є вибір високоефективного верстата для виробництва. Верстат HAAS VF-2 вирізняється сучасними технологіями, що дозволяють економити електроенергію за рахунок ефективного керування швидкістю шпинделя та мінімізації простоїв. Його використання допоможе скоротити загальні енергетичні витрати на виробництво продукції, що є критично важливим для регіону [1].

Протягом тижня роботи верстата HAAS VF-2 було зафіксовано середнє споживання електроенергії на рівні 24 кВт/год при постійному навантаженні. Це відповідає стандартним робочим умовам з повним навантаженням, що дозволяє підтримувати безперервне виготовлення продукції [2].

Середньотижневе споживання склало приблизно 960 кВт/год, що вказує на ефективне використання електроенергії завдяки високим технологіям оптимізації процесів обробки [2,3].

Зменшення енергоспоживання на верстаті HAAS VF-2 можна досягти шляхом впровадження інтелектуальних алгоритмів керування. Один із методів — це адаптивне керування швидкістю шпинделя залежно від типу матеріалу та умов обробки. Крім того, застосування автоматичних систем вимкнення під час простоїв та використання енергоощадних двигунів дозволяє значно зменшити витрати енергії. Оптимізація робочих циклів та мінімізація простоїв також сприяють економії енергоресурсів [4,5].

Для підвищення енергоефективності виробництва на Полтавщині було запропоновано використання верстата HAAS VF-2, який має високу продуктивність та знижене споживання електроенергії. Статистичні дані свідчать про його ефективність, а впровадження додаткових енергозберігаючих заходів допоможе ще більше знизити витрати на електроенергію, що сприятиме загальній оптимізації виробничих процесів [5,6].

Перелік посилань

1. Попович Н.Г., Гаврилюк В.А., Ковальчук А.В., Теряєв В.І. Елементи автоматизованого електроприводу. – К.: НМКВО, 2000. – 260 с.
2. Bolton, W. Programmable Logic Controllers. Newnes, 2015. ISBN: 9780081006269.
3. Rockwell Automation. Allen-Bradley PLCs. Офіційний сайт Rockwell Automation. – Режим доступу: <https://www.rockwellautomation.com/en-us/products/hardware/allen-bradley.html>.
4. Mitsubishi Electric. MELSEC iQ-R Series. Офіційний сайт Mitsubishi Electric. – Режим доступу: <https://www.mitsubishielectric.com/fa/products/cnt/plc/index.html>.
5. Schneider Electric. Modicon PLCs. Офіційний сайт Schneider Electric. – Режим доступу: <https://www.se.com/us/en/product-range/1455-modicon-m340/>.
6. OMRON Corporation. Sysmac Automation Platform. Офіційний сайт OMRON. – Режим доступу: <https://automation.omron.com/en/us/products/family/Sysmac>.
7. Beckhoff Automation. TwinCAT and PC-based control. Офіційний сайт Beckhoff Automation. – Режим доступу: <https://www.beckhoff.com/en-en/products/automation/twincat/>.

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

Кафедра автоматики, електроніки та телекомунікацій

**Дослідження продуктивності верстатів за
рахунок модернізації електронних модулів**

Кваліфікаційна робота магістра

Виконав:

Студент 601МЕ групи

Пушкар В.В.

Керівник:

доцент, канд. техн. наук

Лактіонов О.І.

Полтава 2025

Актуальність дослідження полягає в тому, що, незважаючи на широке використання ЧПУ в промислових галузях, потенціал підвищення їх продуктивності за допомогою ПЛК не завжди використовується в повній мірі. У зв'язку з цим виникає необхідність у вивченні можливостей інтеграції ПЛК у роботу станків ЧПУ, з метою підвищення їх продуктивності та оптимізації виробничих процесів.

Мета даної магістерської роботи полягає в дослідженні методів підвищення продуктивності станків ЧПУ за допомогою програмованих логічних контролерів та впровадженні конкретних рішень на прикладі станка HAAS VF-2 з використанням ПЛК Allan Bradley CompactLogix 5380.

Об'єкт дослідження — станки з числовим програмним управлінням (ЧПУ), що використовуються у промислових виробничих процесах.

Порівняльний аналіз технічних характеристик аналогів

У роботі було проаналізовано кілька моделей фрезерних верстатів ЧПК. Основна увага приділялася HAAS VF-2, а також його конкурентам:



HAAS VF-2

Було обрано завдяки його оптимальному співвідношенню ціни, продуктивності та сумісності з ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380.



Mazak VCN-530C

Відзначається високою швидкістю обробки, але поступається у простоті інтеграції з ПЛК.



DMG Mori CMX 600 V

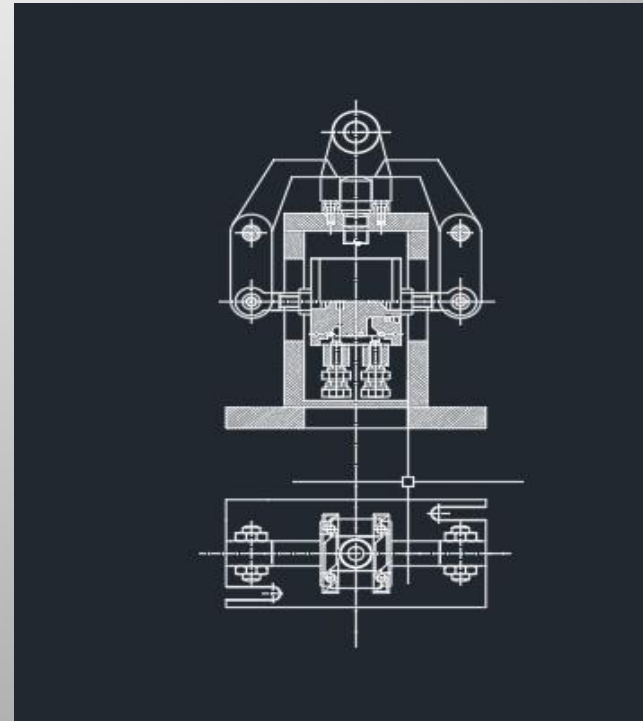
Забезпечує точність на рівні з HAAS VF-2, але має вищу вартість обслуговування.

Схема загального вигляду верстата

Верстат HAAS VF-2 – це фрезерний верстат вертикального типу, який використовується для обробки металів.

Основні характеристики:

- Робочий хід по осях: X – 762 мм, Y – 406 мм, Z – 508 мм.
- Максимальна швидкість обертання шпинделя: 8100 об/хв.
- Потужність привода: 22,4 кВт.



Загальний вигляд програмованого логічного контролера (ПЛК)

CompactLogix 5380 є представником середнього сегмента в лінійці контролерів Allen-Bradley, що поєднує високу продуктивність, компактний розмір і підтримку сучасних комунікаційних стандартів.

Основні особливості цього контролера включають:

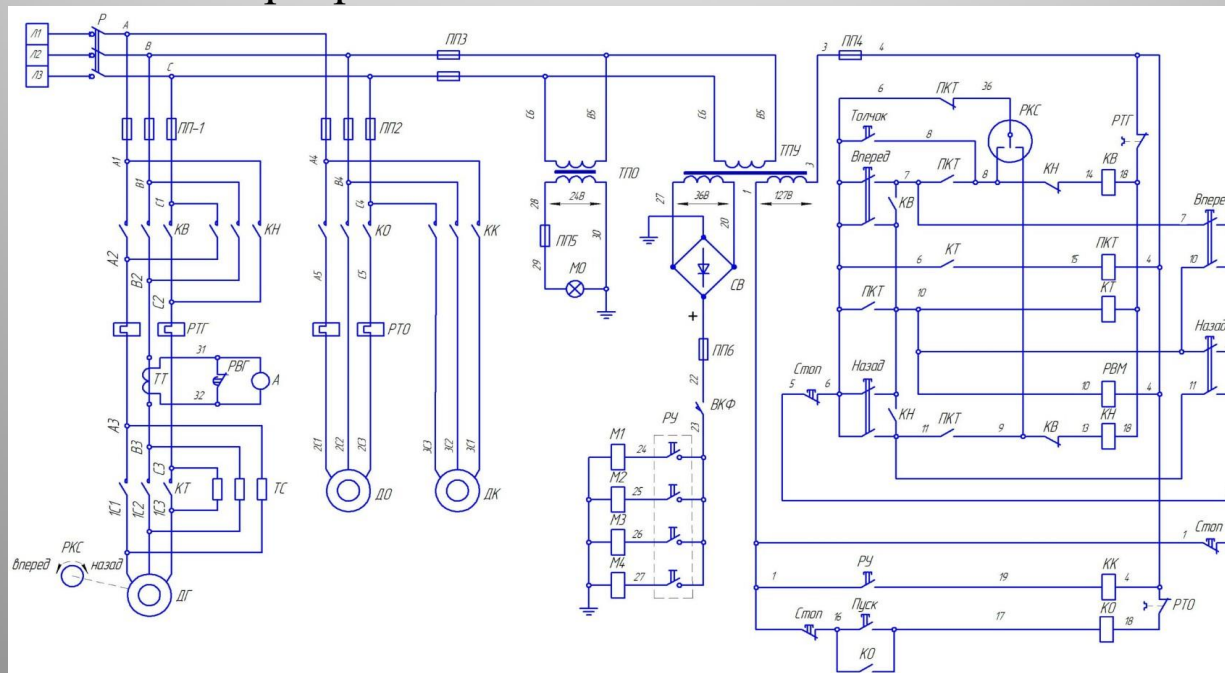
- Висока швидкість обробки.
- Підтримка Ethernet/IP.
- Модульна архітектура.
- Висока надійність.



Електрична схема верстата

Для управління верстатом використовується електрична схема, яка включає:

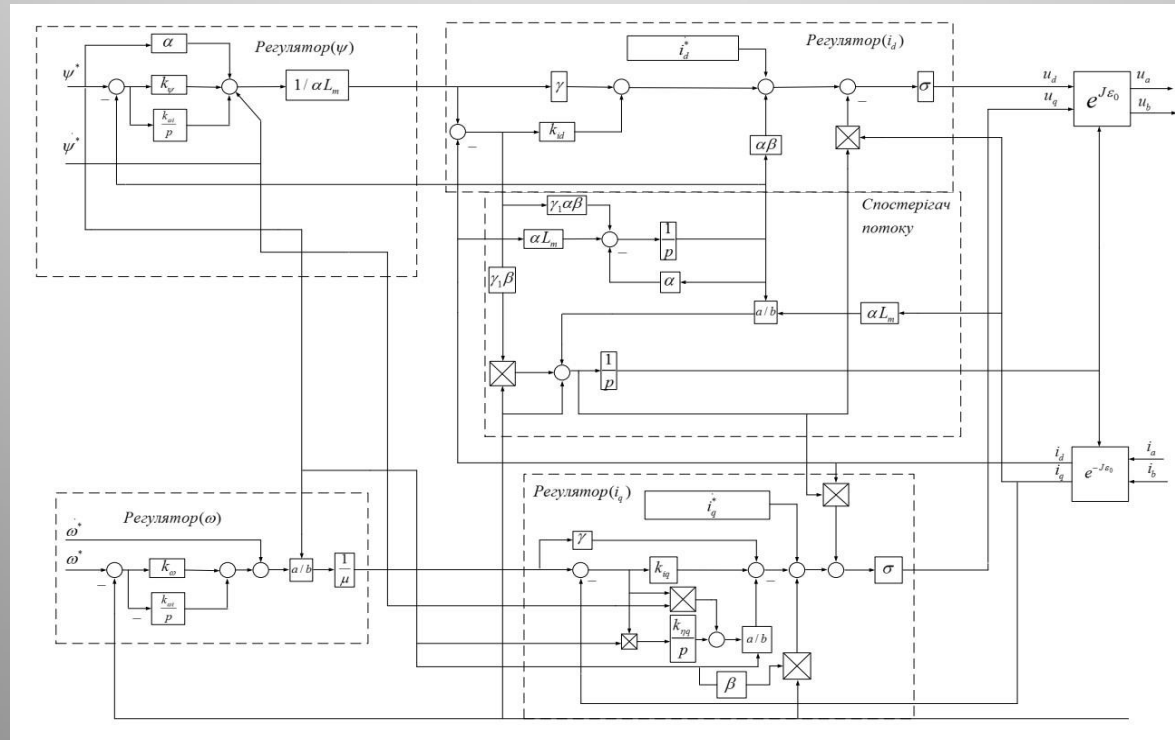
- Джерело живлення.
- Контролер ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380.
- Датчики положення, швидкості та температури.
- Приводи для руху по осях.
- Схема забезпечує передачу даних від датчиків до ПЛК і керування приводами відповідно до заданої програми.



Структурна схема системи керування

Система керування побудована на базі ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380, що виконує наступні функції:

- Моніторинг сигналів від датчиків.
- Управління рухом приводів по трьох осях.
- Передача даних до системи моніторингу.



Система автоматичного керування

Позначенням на схемі відповідають:

$\Delta U_{кер}$ – задаючий сигнал;

$K_{кер}$ – коефіцієнт, що корегує значення задаючого сигналу;

K_U – коефіцієнт передачі регулятора швидкості за напругою;

T_U – стала часу регулятора швидкості за напругою;

K_{ω} – коефіцієнт передачі регулятора швидкості за частотою;

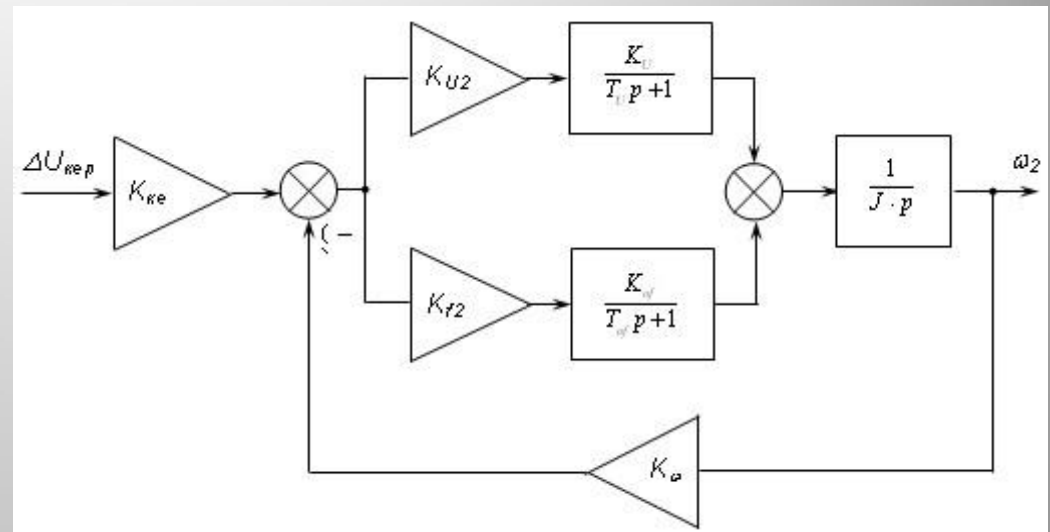
T_{ω} – стала часу регулятора швидкості за частотою;

J – момент інерції вала двигуна;

K_{ω} – коефіцієнт зворотного зв'язку за швидкістю;

K_{U2} – коефіцієнт, що забезпечує постійне відношення керуючої напруги до керуючої частоти;

K_{f2} – коефіцієнт, що складається із двох передаточних функцій:



Математичні моделі

Для двохмасової системи амплітуди форми коливань визначаються за формулою:

$$\begin{cases} u_1 = p^2 m_{np1} u_1 \delta_{11} + p^2 m_{np2} u_2 \delta_{12} \\ u_2 = p^2 m_{np1} u_1 \delta_{21} + p^2 m_{np2} u_2 \delta_{22} \end{cases}$$

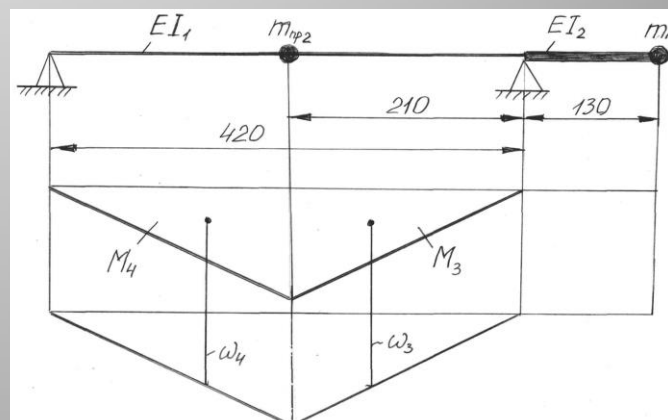
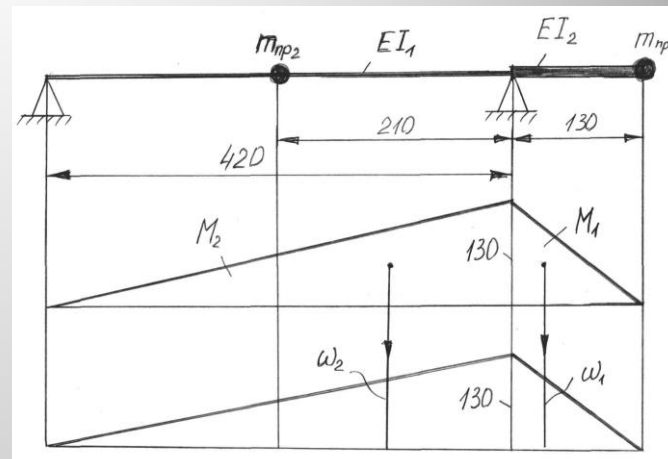
де p – власна частота коливань;

u_1 – амплітуда форми коливань на кінці шпинделя, що відповідає певній власній частоті коливань;

u_2 – амплітуда форми коливань посередині міжопорної частини шпинделя, що відповідає певній власній частоті коливань;

$\delta_{11}, \delta_{12}, \delta_{21}, \delta_{22}$ – коефіцієнти впливу податливостей;

m_{np1}, m_{np2} – приведені маси відповідно на кінці та посередині міжопорної частини шпинделя.



Зведені розрахункові результати

Після інтеграції ПЛК були отримані наступні результати:

Зниження простоїв на 30% завдяки автоматичному діагностуванню несправностей.

Підвищення точності обробки на 15% завдяки адаптивному керуванню швидкістю подачі.

Зменшення витрат на енергоспоживання на 20% через оптимізацію роботи приводів.

Ці показники підтверджують ефективність використання запропонованої системи.

Висновки

- Інтеграція ПЛК дозволяє значно підвищити продуктивність верстатів ЧПК.
- НААС VF-2 із ПЛК Allen-Bradley CompactLogix 5380 забезпечує гнучкість у налаштуванні параметрів обробки.
- Запропонована система керування дозволяє знизити витрати та підвищити якість виробництва.

ДЯКУЮ ЗА
УВАГУ!