

Міністерство освіти і науки України
Криворізький національний університет
Факультет інформаційних технологій
Кафедра автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття ступеню вищої освіти – магістр
за освітньо-професійною програмою
«Кіберфізичні системи в промисловості, бізнесі та транспорті»

зі спеціальності

174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

тема роботи:

***«Автоматизована система управління технологічним процесом
прокатки у функції якості готової продукції»***

Виконав ст. гр. АКІТР-23-1м.	_____	Іосіпов Р. К.
Керівник	_____	Савицький О.І.
Нормоконтроль	_____	Маринич І. А.
Завідувач кафедри	_____	Рубан С. А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: Магістр

Спеціальність: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка

Затверджую

Зав. кафедри: к.т.н. Рубан С.А.

« 15 » липня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу магістра

студентові групи АКІТР-24-1м. Іосіпову Роману Костянтиновичу.

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система управління технологічним процесом прокатки у функції якості готової продукції»

затверджено наказом по університету № 258с від 13.05.2025 р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи: 01.12.2025 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка обсягом 102 с., додатки, презентація у Microsoft PowerPoint (26 слайдів) в електронному та друкованому вигляді

4. Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-3

доц. Савицький О.І.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>10.02.25</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>15.04.25</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>18.07.25</i>
4	<i>Розділ 3</i>	<i>19.11.25</i>
5	<i>Висновки</i>	<i>20.11.25</i>
6	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>25.11.25</i>
7	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>28.11.25</i>
8	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>01.12.25</i>

6. Дата видачі завдання: 24.12.2024р.

Керівник _____ /доц. Савицький О.І./

7. Запевнення: Я, Іосіпов Роман Костянтинович, запевняю, що ця кваліфікаційна робота виконана самостійно, не містить академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про академічну доброчесність Криворізького національного університету ознайомлений.

Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі умисних порушень робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Здобувач _____ / Іосіпов Р.К./

АНОТАЦІЯ

Іосіпов Р. К. Автоматизована система управління технологічним процесом прокатки у функції якості готової продукції :кваліфікаційна робота магістра: 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка.

Кривий Ріг – Криворізький національний університет, Кривий Ріг., 2025. 103с.

Об'єктом дослідження є автоматизована система управління технологічним процесом прокатки у функції якості готової продукції.

Метою роботи є підвищення точності оцінки і підтримання заданих параметрів геометрії перерізу проволочи, як готової продукції прокатного стану.

У першому розділі розглянуті аналогічні системи керування. Зроблено висновок про неефективну роботу системи керування і контролю якістю готової продукції та поставлені задачі вирішення ліквідації недоліків існуючої системи керування.

В другому розділі розроблено модель роботи двох останніх клітей чистової групи, як взаємо пов'язаної системи, зроблено висновок про доцільність розробки системи автоматичного керування.

В третьому розділі показано варіант впровадження системи автоматичного керування роботою приводів останніх клітей чистової групи на базі контролера і програмного забезпечення Siemens.

Ключові слова:

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ПЛК SIEMENS, ПЕРЕТВОРЮВАЧ ЧАСТОТИ, СИСТЕМА КЕРУВАННЯ, ПРИВОД КЛІТЕЙ, ГОРЯЧИЙ ПРОКАТ

ABSTRACT

Iosipov R. K. Automated control system for the rolling process as a function of the quality of finished products: master's qualification work: 174 – Automation, computer-integrated technologies and robotics. Kryvyi Rih – Kryvyi Rih National University, Kryvyi Rih., 2025. 103p.

The object of the study is an automated control system for the rolling process as a function of the quality of finished products.

The purpose of the work is to increase the accuracy of assessment and maintenance of the specified parameters of the wire cross-section geometry as a finished product of the rolling mill.

The first section considers similar control systems. A conclusion is made about the inefficient operation of the control and quality control system for finished products and tasks are set to eliminate the shortcomings of the existing control system.

In the second section, a model of the operation of the last two stands of the finishing group is developed as an interconnected system, a conclusion is made about the feasibility of developing an automatic control system.

The third section shows a variant of implementing a system for automatic control of the operation of the drives of the last stands of the finishing group based on the Siemens controller and software.

Keywords:

AUTOMATIZATION, SIEMENS PLC, FREQUENCY CONVERTER, CONTROL SYSTEM, STAND DRIVE, HOT ROLLING

ЗМІСТ

ВСТУП	6
РОЗДІЛ 1 Аналіз підходів до підвищення ефективності процесу	8
1.1. Характеристика об'єкта дослідження	8
1.2. Огляд літературних джерел	13
1.3. Інфрачервоний циклічний сканер	16
1.4. Патентний огляд	19
1.5. Обґрунтування обраного напрямку та постановка задач	27
РОЗДІЛ 2 Ідентифікація математичної моделі та синтез керування процесом	31
2.1. Параметри деформації для моделювання процесу прокату	31
2.2. Математичне забезпечення вимірювань заготовки	36
2.3. Математичне забезпечення вимірювань збурень	41
2.4. Алгоритм роботи системи керування	44
РОЗДІЛ 3 Програмно-технічна реалізація системи керування процесом	47
3.1. Вибір і обґрунтування апаратного забезпечення САК	47
3.2. Програмне забезпечення САК	54
3.3. Візуалізація процесів з адаптацією до збурень	67
ВИСНОВКИ	101
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	102

ВСТУП

Більше половини прокатної продукції в країні складає сортовий прокат, сортамент якого включає понад триста профілів. Для виробництва настільки широкого сортаменту застосовуються велико сортні, середньосортні і дрібно сортні стани. Підкат для сортових станів надходить з безперервних станів заготівлі. Конструкції сортових станів дуже різноманітні, як і сортамент прокату, що випускається. Існують стани лінійного типу, послідовні, безперервні та інші. Більше досконалішими є безперервні стани, в яких прокатка ведеться одночасно у всіх клітинах, а кліті розташовані послідовно один за одним. Неперервні стани забезпечують найбільшу продуктивність при мінімальних займаних площах і менше остигання металу, а отже, менша витрата енергії, що витрачається на прокатку.

На безперервних станах створюються найкращі умови для комплексної автоматизації на основі застосування керуючих контролерів, що забезпечує високу продуктивність, поліпшення якості продукції та скорочення обслуговуючого персоналу при загальному підвищенні культури виробництва.

Автоматизована система управління безперервного дрібно сортного стану (найбільш автоматизованого серед сортових станів) будується як багаторівнева ієрархічна система управління, нижній рівень якої складають локальні системи автоматичного регулювання технологічних параметрів (САР), сконструйовані на основі аналогових та цифрових пристроїв.

Другий рівень управління має в своєму розпорядженні програмований контролер та керуючу обчислювальну машину, основні функції яких наступні: розрахунок і видача уставок в локальні системи автоматичного регулювання, стеження за проходженням прокату по стану, збір і обробка технологічної інформації, автоматичне налаштування стану на прокатку заданого профілю, оперативний облік виробництва.

Основна функція третього рівня управління - планування роботи стану. при наявності в цеху декількох сортових та дротяних станів вирішується завдання оптимального розподілу замовлень між прокатними станами. планування роботи кожного окремого стану повинно проводитися таким чином, щоб прокат різних профілів велася в послідовності, що забезпечує мінімальну кількість перевалок та перебудов стану та, отже, максимальну його продуктивність. Завдання управління третього рівня можуть відрізнятися як із застосуванням окремої управляючої обчислюваної машини, так і з використанням яка, призначена для другого рівня управління.

Цей рівень управління включає також системи управління транспортними операціями, нагріванням металу, летючими ножицями, петле регулюванням, систему програмного управління моталками, систему регулювання натягів між клітьми.

Об'єктом дослідження є автоматизована система управління режимами прокату на базі установки по вимірюванню діаметра профілю.

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ПІДХОДІВ ДО ПІДВИЩЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ПРОЦЕСУ

1.1. Характеристика об'єкта дослідження

Для розуміння результатів та задач досліджень наведемо загальні поняття про об'єкт керування, керовані величини, що визначають стан та функціонування стану.

У роботі системою дослідження, (об'єктом керування) є мілко сортний дрововий стан ДСПС 250/150-6, що являє собою сукупність систем машин і клітей, призначених для гарячої прокатки - обробки металу тиском між валками клітей.

Стан ДСПС 250/150-6 має дві лінії:

- сортова 250;
- дровова 150.

Сортова лінія має 10 горизонтальних і 10 вертикальних дуо - клітей, розділених на 3 групи:

- чорнова (8 клітей);
- проміжна(6 клітей);
- чистова(6 клітей).

Сортова лінія оснащена установками охолодження прокату з трьома сортовими моталками та лінією механізованого транспортування, ув'язування та зберігання готової продукції.

Дровова лінія є продовженням сортової лінії і оснащена наступним устаткуванням:

- проміжної ділянки охолодження;
- універсальні ножиці;
- регулятора петлі;
- утримуючі ножиці;

- 10 клітей дротового блоку;
- водяного охолодження;
- укладальника витків;
- установки вентиляції
- накопичувача витків;
- візка перевантаження;
- крюкового конвеєра;
- пристрою пресування та ув'язування бунтів;
- ваги;
- візків розвантаження.

Частина устаткування дротової лінії змонтовано на робочій площадці на рівні + 5675 і 4770мм. Обладнання безупинного дрібно сортового стану ДСПС 250/150-6 показана на рис.1.1.

Швидкість прокатки проволочи становить 100 м/сек.

Нагрівання здійснюється в печі до нормованої температури згідно до марки стали, та режимів, розроблених технологами для сортаменту дротової лінії стану 150.

Як підкат для десяти клітей чистового дротового блоку використовується прокат круглого перетину, який одержується на діючої двадцяти клітей сортової лінії 250.

Вихідна температура профілю підкату виходу з крайньої кліті сортової групи є від 1050 - 1100 °С.

Між 20-ю кліттю сортового стану і чистовим блоком лінії дроту розташована ділянка водяного охолодження.

Передній і задній кінці розкату чистять на універсальних ножицях і подають в блок через автоматичний регулятор петлі, що підтримує постійний її стан перед блоком.

Перед першим блоком чистової секції встановлені утримуючі ножиці, для запобігання скупчення браку у випадку аварії.

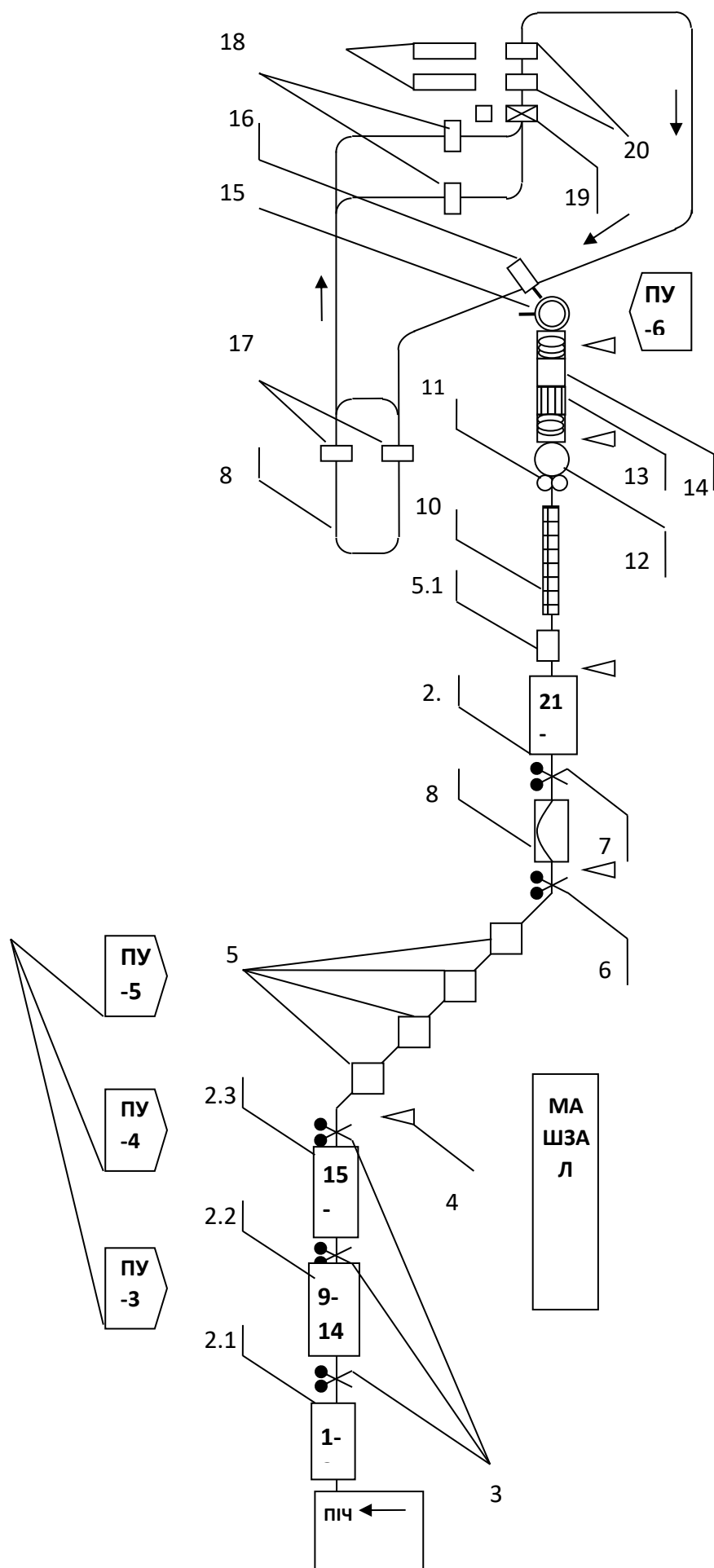


Рисунок 1.1. - Розміщення технологічного устаткування стану ДСДС 250/150-6

Таблиця 1.1 - Технологічне устаткування стану ДСДС 250/150-6

Поз.	Найменування	Кіл., шт.
1	Пости керування	4
2.1	Чорнова група	8
2.2	Проміжна група	6
2.3	Чистова група клітей	6
2.4	Десяти - клітевий чистовий дрововий блок	1
3	Ножиці	3
4	Пірометри	5
5	Ділянка проміжного охолодження	1
6	Універсальні ножиці	1
7	Утримуючі ножиці	1
8	Горизонтальний регулятор петлі	1
9	Дефектоскоп	1
10	Ділянка водяного охолодження	1
11	Дрововий трайб - апарат	1
12	Укладальник витків	1
13	Вентиляційна установка	1
14	Транспортувальник витків	1
15	Нагромаджувач витків	1
16	Перевантажувальний візок	1
17	Інспекційна ділянка	1
18	Пристрій для пресування й ув'язування бунтів	2
19	Розвантажувальний візок	2
20	Кроковий транспортер	2
21	Крюковий конвеєр	1

Прокатка в блоці здійснюється у вертикальних і горизонтальних клітках, які чередуються з малим натягом між клітками. Максимальна швидкість прокатки проволочи діаметром 5,5 мм-100м/сек.

Після протягання в блоці чистових клітей проволоча проходить ділянку водяного охолодження.

Потім проволоча подається в укладальник витків, що укладає його у виді плоскої спіралі на роликовий транспортер, що рухається.

Перед укладальником витків розташований трайб-апарат для забезпечення стабільної подачі металу в трубу, що укладає.

Витки проволочи, переміщаючись на транспортері, що рухається, піддаються регульованому повітряному охолодженню в тепло ізолюючому тунелі з кришками.

Наприкінці транспортера витки проволочи транспортуються рольгангом і передаються у збірник.

Сформований у збірнику витків бунт із горизонтального дорна поворотного кола приймається на завантажувальний візок, що навіщує бунт на гак системи підвісного ланцюгового транспортера.

Бунт катанки транспортується конвеєром до інспекційної ділянки, на якому робиться обрізка, огляд і добір проб для лабораторії. Після цього готовий бунт пресується і ув'язується катанкою, зважується, маркірується та відправляється на ділянку розвантаження.

На цій ділянці бунти за допомогою розвантажувального візка знімаються з гака та укладаються на балки крокового транспортера для проміжного накопичення та подачі бунтів для їхнього збирання скобою крана.

Усі ділянки дротової лінії стану ув'язані в єдиний технологічний комплекс. Від роботи кожної ділянки залежить складена і безперебійна робота всього стану, якість і кількість продукції, що випускається.

Для автоматизованого керування технологічним процесом при виробництві проволочи та сортового прокату на дротовій лінії ДСДС 250/150-6 використовують ЕОМ.

Система автоматичного керування технологічним процесом на дротовій лінії включає:

- датчики, системи контролю;
- регулятори, ваги;
- програмні, що стежать і керують пристрої;
- ЕОМ.

Для дротової лінії передбачена окрема система цифрового завдання, що містить і систему регулювання петлі перед дротовим блоком.[1]

1.2. Огляд літературних джерел

Безконтактні прилади найбільше підходять нам згідно вимог об'єкту дослідження.

Найбільш розповсюдженими методами безконтактного виміру діаметра дроту, що рухається, є електрооптичний, радіоактивний, вихрострумений, ємнісний.

Електрооптичні прилади застосовуються для виміру діаметра виробів у діапазоні від декількох мікронів до десятків міліметрів. Прилади цього типу мають джерело світла та фотоелемент. Вимір діаметра виробу, що проходить між джерелом світла та фотоелементом, викликає зміну інтенсивності світла, що оцінюється при вимірі. Джерелом світла може бути і розпечений метал-катанка. Більшість електрооптичних приладів мають нерухому оптичну систему, але є конструкції з обертовою оптичною системою.

Прилад «Діарот» з обертовою оптичною системою фірми «Экзатест Местехник» (ФРН) призначений для безупинного виміру діаметра катанки при прокатці. Оптична система приладу поміщена в корпус вимірювальної голівки і

включає два обертових кільця - зовнішнє детекторне і внутрішнє лінзове. Зовнішнє кільце має по окружності дві галогенні лампи і два детектори з щілинними діафрагмами, розташовані на протилежних сторонах. Внутрішнє кільце має чотири рівномірно розміщені на ньому лінзи. Напрямок обертання обох кілець однаковий, а швидкість обертання різна – внутрішнє кільце обертається в 10 разів швидше зовнішнього і швидкість його дорівнює 5,2 рад/с. При проходженні пари лінз перед парою діафрагм детектори реєструють освітлений дріт і посиляють електричні сигнали. Це відбувається 180 разів/с - через кожні 10°. Тривалість електричного сигналу пропорційна діаметру вимірюваної катанки. Максимальні і мінімальні значення сигналів запам'ятовуються електронною системою і передаються на вихідний пристрій в аналоговому чи цифровому виді. При перевищенні граничних значень видаються оптичний і акустичний сигнали. При швидкості прокатки 50-60 м/с повне обмацування периметра катанки відбувається на довжині 5-6м (за 18 вимірів).

Лазерні прилади, що одержують все більше поширення в промисловості, засновані на принципі сканування металу лазерним чи променем на методі лазерної дифракції. Принцип сканування лежить в основі лазерного приладу «Деви Инструментс» (Англія) для виміру і контролю діаметра дроту, катанки й ін. Прилад виготовляють у двох модифікаціях: тип А призначений для виміру, тип В – для виміру і контролю. Прилади обох типів розраховані на два діапазони діаметрів від 5 до 38 мм (точність виміру 0,0125 мм) та від 10 до 75 мм (точність виміру 0,025 мм). У приладі промінь лазера падає на обертове дзеркало. Крапка падіння проміння на дзеркало знаходиться у фокусі лінзи конденсора, так що відбиті промені перетворюються конденсором у промені, рівнобіжні його оптичній осі. Пучок проходить через вимірювальну ділянку, збирається системою лінз, фокусується на фотоелементі та перетворюється в електричні сигнали. При відсутності на вимірювальній ділянці контрольованого виробу електричний сигнал на виході фотоелемента з'являється в момент проходження променів

через щілину кожні 0,4 чи 0,8 с. Якщо контрольований виріб знаходиться на вимірювальній ділянці, то воно заслоняє частину променів та вихідний сигнал з фотоелемента на час переривається. Час переривання сигналу пропорційно діаметру контрольованого виробу, вимірюється за допомогою кварцових годин і лічильника, розташованих на пульті (у шафі) керування. Оператор може спостерігати на індикаторному табло показання приладу в одиницях виміру діаметра. Оскільки контрольований виріб сканується пучком рівнобіжних променів, точність приладу не залежить від положення цього виробу на вимірювальній ділянці. Температура виробу також не впливає на результати виміру і прилад можна застосовувати для контролю виробу як у гарячому (при цьому вводиться виправлення яке враховується приладом при видачі показань), так і в холодному стані. Прилад постачений пристроєм, що дозволяє усувати вплив часток чи окалини водяників крапель на показання, якщо їхній розмір менше мінімального розміру вимірюваного виробу.

Лазерний прилад фірми «Шпіндлер унд Хойер» (ФРН) призначений для безупинного виміру діаметра дроту, катанки і прутків у діапазоні 0,7-65 мм у технологічному процесі. При вимірах припустимі коливання дроту в межах поля виміру площею 75 мм² без перекручування результатів виміру. Прилад включає джерело світла та симетрично розташовані стосовно нього вимірювальну й еталонну системи. Промінь гелій-неонового лазера фокусується на дзеркалі, що обертається зі швидкістю 314 рад/с. Відбившись від дзеркала, промінь направляється на площину виміру дроту й еталонного зразка, після чого фіксується на відповідних фотодіодах. По розходженню часу опромінення фотодіодів дроту й еталона електронна система дозволяє установити діаметр дроту. Показання, що видаються кожні 0,5 с, є середніми з 50 окремих вимірів. Точність приладу $\pm 0,01$ мм.

Фірма «Штранскі-Институт фюр Металурги дер Тиссен Нісдеррайн АГ» (ФРН) за допомогою методу вихрових струмів робить виміру поперечного переріза катанки діаметром 5-15 мм. Визначення площі перетину за допомогою

індуктивної котушки зводиться до визначення повного опору цієї котушки, вимірюваного непрямым шляхом. При цьому індуктивність котушки доповнюється ємністю, утворити коливальний контур. Резонансна частота цього контуру є безпосередньою мірою виміру площі перетину. Цю частоту вибирають настільки високої (до 10МГц), що вихрові струми протікають тільки в поверхневому шарі. Конструкція датчика дозволяє робити виміру з точністю до $\pm 1,0$ % при прохідному отворі котушки, у два рази перевищуючому, максимальний діаметра виробу. Прилад випробуваний у виробничих умовах при зміні площі перетину катанки 20-400 мм². Результати виміру не залежать від якості поверхні, температури (якщо вона вище крапки Кюрі), змісту легуючих елементів (у межах однієї марки стали) і швидкості руху.

1.3. Інфрачервоний циклічний сканер

Зовнішній вигляд датчика Rota-Sonde TS2006 показано на рис.1.2.



Рисунок 1.2 – Зовнішній вигляд датчика Rota-Sonde TS2006

Rota-Sonde TS2006 вимірює положення гарячого продукту (сталі, міді, латуні, сплавів тощо) у своєму полі зору та забезпечує вихід, пропорційний кутовому положенню продукту в цьому полі.

Rota-Sonde TS2006 — це скануючий вимірювальний датчик, чутливий до інфрачервоного випромінювання, що випромінюється гарячими продуктами з температурою до 250 °C (480 °F).

Основні особливості:

- Висока чутливість: 400 °C / 750 °F або 250 °C / 480 °F.
- Інфрачервоний спектр: від 1 до 3 мкм.
- Цифрове керування з функціями самодіагностики.
- Немає оптичного регулювання.
- Легке введення в експлуатацію.
- Оптиелектронна схема, укладена в міцний корпус (IP66), розроблена для роботи в суворих умовах
 - сталеливарна промисловість.
 - Продувка повітрям і водяне охолодження.
 - Роз'єм і кабель з металевією захисною опліткою.

Цей датчик може використовуватися в умовах високих температур та пари для контролю петлі дроту (рис. 1.3 та рис.1.4)



Рисунок 1.3 – Керування горизонтальним контуром петлі дроту

Принцип дії: Інфрачервоне сканування.

Обертовий дзеркальний барабан сканує поле зору. Коли аналітичний промінь датчика виявляє інфрачервоне випромінювання від переднього краю гарячого продукту всередині сканованого поля, відображення цього

випромінювання дзеркальним барабаном на вимірювальну комірку забезпечує сигнал, який перетворюється в «вимірювальний» імпульс. Крім того, датчик генерує опорний імпульс, який відповідає початку поля сканування. Час "t" між опорним імпульсом і вимірювальним імпульсом еквівалентний куту "a" між початком поля сканування та положення переднього краю гарячого продукту. Датчик перетворює час "t" в аналогову напругу, яка пропорційна куту "a" і не залежить від швидкості двигуна сканування.

Електронні функції:

- Фотоелемент чутливий до інфрачервоного випромінювання та оптимізований для виявлення навіть при низькій температурі та за наявності пари;
- Вся електроніка змонтована на платі комп'ютера;
- Панель керування під відкидною кришкою ззаду, у тому числі оглядова порт, тестова кнопка для симуляції продукту, потенціометр для регулювання чутливості та світлодіод наявності продукту;

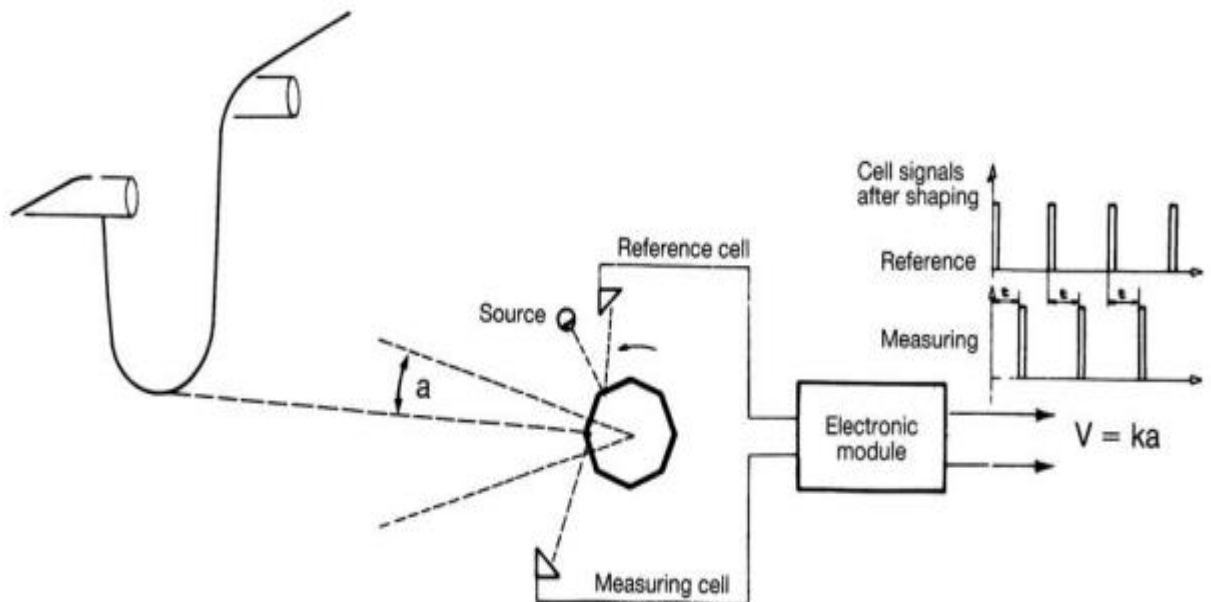


Рисунок 1.4 – Схема роботи системи контролю петлі дроту

- Автоматична система моніторингу з такими функціями:

- Діагностична схема сигналізації для контролю чутливості датчика і вказувати на необхідність оператора помити вікно скло або для підвищення чутливості.
- Діагностична схема сигналізації для контролю внутрішньої температури датчика та вказувати на будь-яку несправність у системі охолодження.
- Контроль швидкості двигуна сканування.
- Індикація несправності джерела живлення.

Найбільше підходить для нашого проекту прилад контролю геометричних розмірів прокату Mesacon.

Характеристика приладу

Вимірювальний прилад МЕЗАМЕТР Р SC40 є приладом для виміру діаметра профілю на базі лазерного тіньового датчика. Прилад служить для виміру минаючої при прокаті дроту.

Тіньовий датчик монтується рухливо на поворотному механізмі.

Поворотний механізм обертається циклічно за допомогою двигуна через редуктор в області 180° навколо області підлягаючій виміру дроту.

Поворотна механіка монтується на каретці, що може переміщатися вручну між положенням виміру на прокатній лінії і позицією обслуговування поруч із прокатною лінією.

Керування поворотною механікою здійснюється контролером положення пристрою керування поворотним приводом. Це пристрій керування вбудований у шафу керування на місці виміру. Отримані тіньовим датчиком значення діаметра та положення кута поворотної механіки передаються через шафу керування на трансп'ютерну систему шафи керування в приміщенні контрольного посту.

Тут дані аналізуються, чисельно виводяться на монітор РС 486, а також графічно представляються, як на графічному моніторі поруч із шафою керування

в приміщенні контрольної посадки, так і на графічному моніторі поруч із шафою керування на місці виміру.

Прилад оснащений напівпровідниковим лазерним діодом, що випромінює видиме світло, спрямований на восьмигранний дзеркальний барабан. За допомогою без щіткового електродвигуна постійного струму цей барабан обертається зі швидкістю 2000 об/хв. Лазерний промінь орієнтується через лінзу в рівнобіжному напрямку та за рахунок обертання дзеркального барабана перекриває визначене поле виміру.

Підлягаючий виміру матеріал частково відкидає тінь у світлі лазерного випромінювання. Світловий малюнок, що виходить у результаті, збирається в пучок лінзою прийомної оптичної системи, а одержуваний при цьому електронний сигнал аналізується вбудованим мікроелектронним блоком. Результат розрахунку діаметра об'єкта показується на лицьовій стороні панелі приладу.

1.4. Патентний огляд

В розділі було розглянуто ряд патентів стосовно систем контролю параметрів катанки без зупинки технологічного процесу.

Метод контролю точності катанки класу С

Wire rod C-grade precision control method

CN112974518A (B) • 2021-06-18 •

SGIS SONGSHAN CO LTD

Earliest priority: 2021-02-20 • Earliest publication: 2021-06-18

Анотація

Винахід відноситься до способу контролю точності катанки С. Метод прецизійного контролю катанки класу С включає контроль типу матеріалу, контроль мікронатягу грубої та середньої прокатки, контроль відстеження температури, динамічне регулювання зазору між валками та оптимізацію

параметрів шаблону отворів буртика готового продукту, а також включає наступні кроки, на яких регулюється висота та ширина типу матеріалу; після ручного налаштування початкового базового стану контролю натягу запускається контроль мікронатягу; термодетектор, керований камерою контролю нагріву, розташований на виході з агрегату чорнового стану, і робота здійснюється відповідно до змін температури на вході та виході з блоку чорнового стану; план входу в піч оптимізовано, так що різниця температур між переднім і заднім типами сталі невелика, коли типи сталі потрібно замінити під час прокатки; зазор валків регулюється відповідно до значення відскоку, щоб діапазон коливань динамічного зазору валків у процесі прокатки був якомога меншим; змінено параметри схеми отворів катанки із специфікацією зовнішнього діаметра понад 15,0 мм. Відповідно до методу, швидкість удару точності С-класу катанки покращується за рахунок контролю типу матеріалу, контролю мікронатягу грубої та середньої прокатки, контролю відстеження температури, динамічного регулювання зазору рулону та оптимізації параметрів типу отвору буртика готового рулону.

В цьому патенті не розглядалися малі класи прокатки.

Adjusting device for eliminating problem of uneven cross-section structure of cast-rolled plate blank

CN212419550U • 2021-01-29 •

LUOYANG WANLI ALUMINIUM PROC CO LTD

Earliest priority: 2020-05-29 • Earliest publication: 2021-01-29

CN212419550U Регулювальний пристрій для усунення проблеми нерівномірної структури поперечного перерізу заготовки литого прокату

Заявники

LUOYANG WANLI ALUMINIUM PROC CO LTD

Винахідники

ЦЗЕН ХУ; ЦЗЯ ЧЖІЧЕН; МІАО ТАО; ЛЯН ЦЗІДУН; ЧЕНЬ ПЕНЮНЬ;
ЦЗЯН ЛІШАНЬ; ГО ЦЗІЧАО; ВАН ПЕЙ

Публікація

CN212419550U·2021-01-29

Анотація

У корисній моделі розкривається регулювальний пристрій для усунення проблеми нерівномірної структури перерізу литої листової заготовки . Регулювальний пристрій містить ливарну насадку, основу, регулювальний механізм і передавальний механізм, ливарну насадку встановлено на верхній поверхні основи , верхню частину насадки забезпечено регулювальним механізмом, регулювальний механізм містить затиск і притискну пластину, затиск містить верхню затискну пластину та з'єднувальний блок, обидві сторони верхньої затискної пластини з'єднані зі з'єднувальним блоком відповідно, а нижня кінці двох сполучних блоків встановлені на верхній грані основи . На нижній поверхні верхньої притискної пластини розміщено кілька тіл кочення , між верхньою притискною пластиною та верхньою частиною насадки розташована притискна пластина, верхня поверхня притискної пластини впирається в тіла кочення, а нижня поверхня притискної пластини впирається у верхню поверхню верхньої частини сопла . Натискна пластина з'єднана з механізмом передачі, механізм передачі містить електричний штовхач і електричний блок керування , телескопічний кінець електричного штовхача з'єднаний з натискною пластиною, електричний штовхач встановлено в електричному блоку керування , а система керування , яка використовується для керування електричним штовхачем, щоб розтягуватись і відводитися, розташована в електричному блоку керування . А пристрій дозволяє ефективно вирішувати проблему неоднорідності структури поперечного перерізу литої листової заготовки .

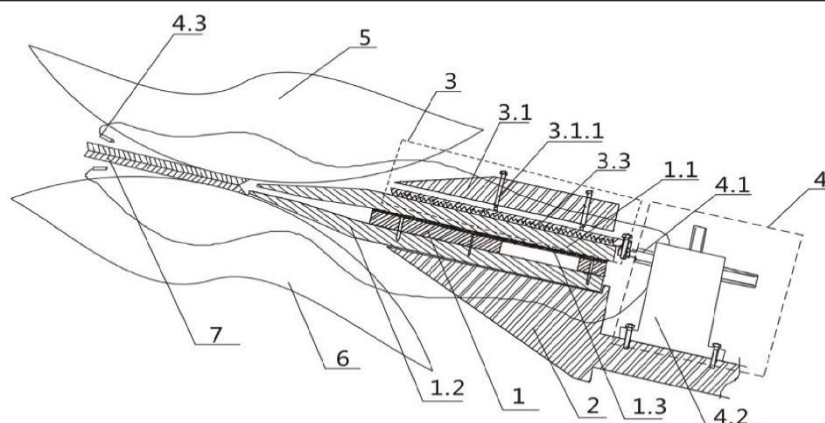


图1

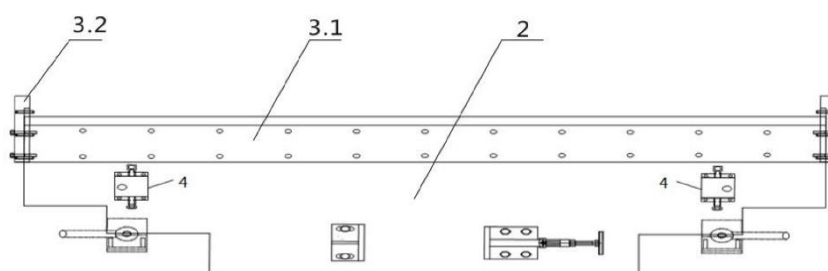


Рисунок 1.5 – Схема роботи системи до патенту CN212419550U

В розглянутому патенті показано рішення для листового прокату
CN114130833A Онлайн автоматична система керування та метод розміру
виробу , прокату стрижневих та дротяних станів

Заявники

WARM STEEL GROUP KUNMING IRON AND STEEL SHARE LTD

Винахідники

ЛІ ЦЗІЛЮ; ЯН ЦІ; ЯН ЯНКУН

Онлайн автоматична система керування та метод розміру виробу , прокату
стрижневих та дротяних станів

Анотація

Винахід розкриває онлайнкову автоматичну систему керування та спосіб
розміру виробу , прокату стрижневого та дротяного прокатного стану, і система
містить пристрій автоматичного налаштування зазору між валками прокатного
стану та локальний блок вводу/виводу, а блок вводу/виводу внутрішньо

забезпечений веденою станцією PLC та керує серводвигуном у замкнутий спосіб; прилад для вимірювання діаметра розташований за групою фінішних станів і підключений до підлеглої станції PLC; прилад для вимірювання діаметра використовується для вимірювання розміру прокату на виході стелажа готової продукції в режимі реального часу та передачі розміру прокату на ведену станцію PLC для замкнутого циклу керування стелажем готової продукції веденою станцією PLC ; інженерна станція, розташована в головній операційній кімнаті, містить головну станцію ПЛК у мережевому з'єднанні з веденою станцією ПЛК, головна станція забезпечена модулем керування зазором між валками типу отворів, модуль керування зазорами валків типу отворів виконує обчислення моделі керування зазорами валків типу отворів , і після отримання значення компенсації зазору кренів значення компенсації зазору кренів обчислюється за допомогою модуля керування зазорами кренів типу отворів.

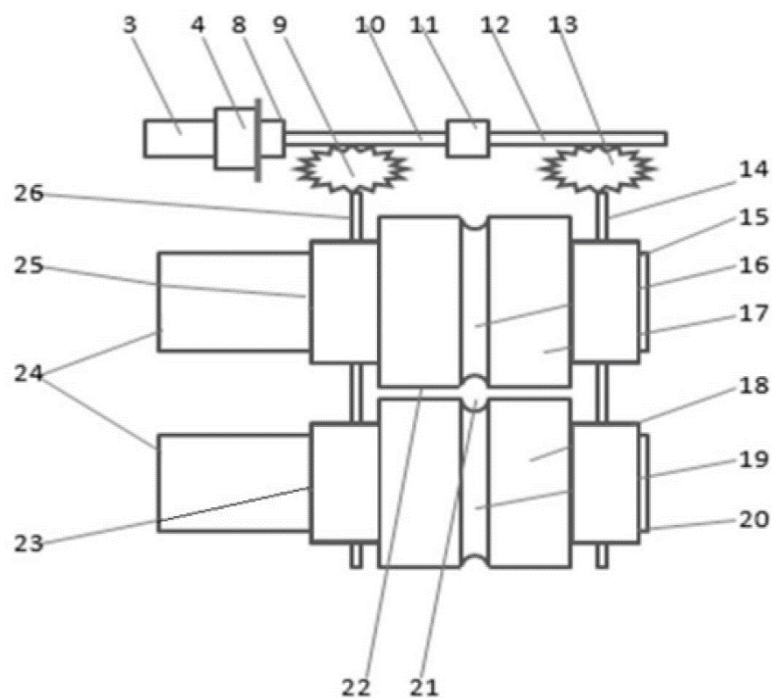


Рисунок 1.6 – Схема роботи по патенту CN114130833A

Цей патент може бути прототипом для вирішення задач, які ставляться в завданні цього проекту.

CN108597680A Система автоматичного контролю перерізу провідника типу катанки

Заявники

SHANDONG DILONG CABLES CO LTD

Винахідники

СЕ БОМІН; МЕН СЯНЦЗЮНЬ; ВАН МАОГАН; СІНЬ ЧАО

Система автоматичного контролю перерізу провідника типу катанки

Анотація

Винахід розкриває систему автоматичного контролю поперечного перерізу провідника, що рухається. Автоматична система керування містить платформу, систему скручування, систему клітки, систему прокатки, систему керування, провідник і дріт, причому система скручування, система клітки, система прокатки та система керування послідовно розташовані у верхній частині платформи зліва направо.

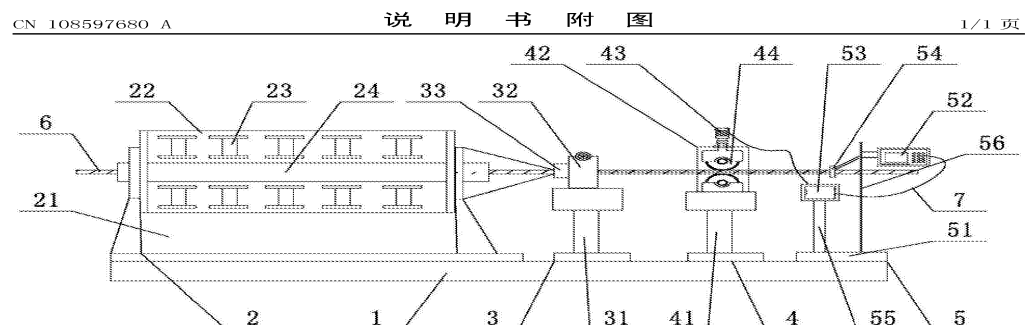


Рисунок 1.7 – Схема роботи системи до патенту [CN108597680A](#)

Цей патент може бути аналогом для вирішення задач, які ставляться в завданні цього проекту.

CN114054511A Система і метод контролю продуктивності конструкції прокату, носій і електронний термінал

Заявники

CISDI ENG CO LTD; CISDI TECH RES CT CO LTD

Винахідники

ЧЕНЬ МІН; ЧЖОУ МІН

Система і метод контролю продуктивності конструкції прокату , носій і електронний термінал

Анотація

Винахід забезпечує систему та спосіб керування характеристиками прокатної конструкції , носій і електронний термінал, при цьому система містить модуль збору даних, перший модуль прогнозування, другий модуль прогнозування та модуль керування ; модуль збору даних використовується для збору кореляційних параметрів теплопередачі та параметрів кореляції продуктивності конструкції на прокатній виробничій лінії, а параметри кореляції продуктивності структури містять цільову структуру готового продукту та дані про продуктивність; перший модуль прогнозування використовується для введення кореляційних параметрів теплопередачі в попередньо встановлену модель теплопередачі для прогнозування, і отримують граничні розміри, швидкості руху та розподіл температурного поля прокату в багатьох положеннях на виробничій лінії; другий модуль прогнозування використовується для введення граничних розмірів, швидкості руху та розподілу температурного поля в попередньо встановлену модель розвитку мікроструктури прокату для прогнозування стану мікроструктури прокату та механічних властивостей прокату для отримання прогнозованих даних про структуру та продуктивність; і модуль керування використовується для керування та налаштування робочих параметрів кожного компонента відповідно до цільової структури та даних продуктивності та прогнозованої структури та даних продуктивності готового продукту. Відповідно до системи, контроль за структурою та продуктивністю прокату досягається добре, а універсальність висока.

Цей патент тільки частино може бути прототипом для вирішення задач, які ставляться в завданні цього проекту. Це стосується модуля керування, що використовується для керування та налаштування робочих параметрів кожного

компонента відповідно до цільової структури та прогнозованої структури та даних продуктивності готового продукту.

Ці патенти, в силу їх специфічності, тільки частино можуть бути прототипами для вирішення задач, які ставляться в завданні цього проекту.

1.5. Обґрунтування обраного напрямку та постановка задач

Точний вимір геометричних розмірів прокату має дуже велике значення це зв'язано з великими економічними витратами.

Одним з важливих факторів зниження цих витрат є забезпечення встановлених допусків при прокатці. Недотримання допусків веде до значної втрати металу як на самому металургійному заводі так і в споживачів.

У металургії приходить визначати геометричні розміри заготовки, що рухається, положення якої точно не зафіксовано, при наявності високих температур, що доходять до 1000 °С, та в умовах підвищеної запиленості. Автоматичне керування прокатним станом, у результаті якого швидкість прокатки досягає кілька десятків метрів у секунду, вимагає швидкої та точної інформації про розміри прокату в окремих фазах технологічного процесу. Такого роду інформація надходить на регулятори ЕОМ, керування прокатним станом. Усе це вимагає ефективних приладів і методів виміру.

Застосування автоматичних приладів для виміру діаметра дроту в процесі прокатки дозволить організувати випуск продукції з мінусовими допусками, що дасть великий економічний ефект. Для дроту сталевого низько вуглеводистого загального призначення за ДСТ 3282-74 допуск при тій же діаметрі складає 0-(-0,12) мм і при виготовленні з мінусом допуском її довжина збільшиться вже на 13%.

Переваги вимірювальної лазерної установки з тіньовим методом вимірювання.

Прилад служить для виміру минаючого при прокаті дроту і є безконтактним приладом, що дає ряд переваг перед контактними.

Контактні прилади обмацують поверхню роликом (штоком і т.п.), що переміщається при зміні діаметра і впливає на перетворювач. Контактні прилади прості в експлуатації і відносно дешеві. Основні недоліки –силовий вплив на поверхню вимірюваного дроту, що може викликати ушкодження її, а також зниження надійності роботи і точності виміру при високих швидкостях руху дроту, наявності на її поверхні технологічного змащення, вібраціях і т.п. Контактні методи використовуються в станах холодної прокатки при максимальній швидкості прокатки 20 м/с. Застосування цього методу обмежено. Безконтактні прилади одержали поширення в останні 20 років у зв'язку зі збільшенням швидкості волочіння і пред'явленням нових вимог до точності виміру.

Радіоактивні прилади. При вимірі геометричних розмірів вирішальний фактор - це зміна інтенсивності потоку випромінювання. Оптимальної чутливості можна досягти тільки шляхом вибору коефіцієнту ослаблення, тобто величини енергії випромінювання.

Радіоактивне випромінювання підкоряється статичним законам, унаслідок чого інтенсивність зареєстрованого детектором випромінювання коливається. Ці коливання істотно відбиваються на точності вимірів. При вимірі розмірів нагрітих матеріалів, необхідна температурна корекція. Коректування можна досить точно провести лінеаризацією залежності температури від товщини металу, що однак, прийнятною для температур до 800°C. Точну корекцію для температур вище цього рівня можна проводити тільки за допомогою ЕОМ.

Лазерний прилад, оснащений напівпровідниковим лазерним діодом, що випромінює видиме світло, спрямований на восьмигранний дзеркальний барабан. За допомогою без щіткового електродвигуна постійного струму цей барабан обертається зі швидкістю 2000 об/хв. Лазерний промінь орієнтується

через лінзу в рівнобіжному напрямку і за рахунок обертання дзеркального барабана перекриває визначене поле виміру.

Підлягаючий виміру матеріал частково відкидає тінь у світлі лазерного випромінювання. Світловий малюнок, що виходить у результаті, збирається в пучок лінзою прийомної оптичної системи, а одержуваний при цьому електронний сигнал аналізується убудованим мікроелектронним блоком. Результат розрахунку діаметра об'єкта показується на лицьовій стороні панелі приладу.

За допомогою приладу можна здійснювати вимір діаметрів усіляких матеріалів. Прилад являє собою систему з цілком інтегрованим блоком обробки результатів виміру. Тим самим він може використовуватися як компонент змішаної системи.

Також оснащений повітряним уведенням, що дозволяє здійснювати внутрішнє проčiщення повітрям і охолодження.

Результати вимірів представляються у формі абсолютних значень у міліметрах. Цифра висвічується на п'яти розрядному семи сегментному індикаторі зі світловипромінювальними діодами. Показання індикатора можна також “прокручувати”, наприклад для показу попередньо заданих чи параметрів інформації про положення об'єкту виміру. Відхилення від допусків можуть показуватися як у локальному масштабі, так і передаватися на приєднані системні блоки.

Вимірювальний прилад оснащений інтерфейсом послідовної передачі інформації (RS232) та аналоговим виходом.

Для розрахунку середнього значення діаметра та висновку результатів виміру, виміри виробляються вибірками.

Одна вибірка проб складається з восьми вимірів, причому маєть можливість здійснювати 270 вимірів у секунду на кожному рівні виміру. На екрані показується кількість вибірок для визначення середнього значення (від 1 до 1000).

Чим менше кількість вибірок тим менше час відповіді. Чим більше кількість вибірок тим точніше і надійніше (тобто з більшою відтворюваністю результатів виміру) працює прилад. Відбувається придушення свідомо помилкових даних.

Ведеться постійний контроль діаметра вимірюваного об'єкту і звіряється з заданим значенням. При цьому основні параметри можуть бути змінені оператором і на тривалий час запам'ятатися у файлі параметрів

Для одержання якісного профілю сортового металу, заданих геометричних розмірів, прокатка металу в клітях повинна відбуватися без натягу. Статичне падіння швидкості головних приводів клітей чистової групи не повинно перевищувати 0,5%. Реакція головного привода на завдання не повинно бути вище 120-150мс. Такий режим можливий при прокатці з регульованою петлею розкочування між клітями. Прокатка з петлею є найкращим технологічним режимом, тому що в цьому випадку забезпечується більш висока точність готового профілю. У такий спосіб по діаметру прокату можна судити про якість роботи автоматичної системи петле регулювання.

Висновок по розділу

Метою роботи є підвищення якості управління, зменшення часу реагування за рахунок автоматизації та покращення методики процесів обчислення.

Об'єктом дослідження є автоматизована система управління режимами прокату на базі установки по вимірюванню діаметра профілю.

Предметом дослідження є система автоматизованого керування швидкістю, та зазором між прокатними валками.

Для вирішення цієї мети поставлені наступні задачі:

1. Виконати аналіз існуючих систем вимірювання діаметра профілю.
2. Встановити особливості підвищення точності геометричних розмірів профілю прокату - як один із шляхів економії металу.

3. Розробити математичну модель для контролю параметрів процесів прокатки.
4. Провести формалізацію процесу контролю.
5. Розробити узагальнюючу схему-алгоритм усього процесу контролю.
6. Розробити функціональну схему контролю апаратно-програмного комплексу інформаційно-обчислювальної системи.
7. Розробити програмне забезпечення системи контролю.

РОЗДІЛ 2

ІДЕНТИФІКАЦІЯ МАТЕМАТИЧНОЇ МОДЕЛІ ТА СИНТЕЗ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

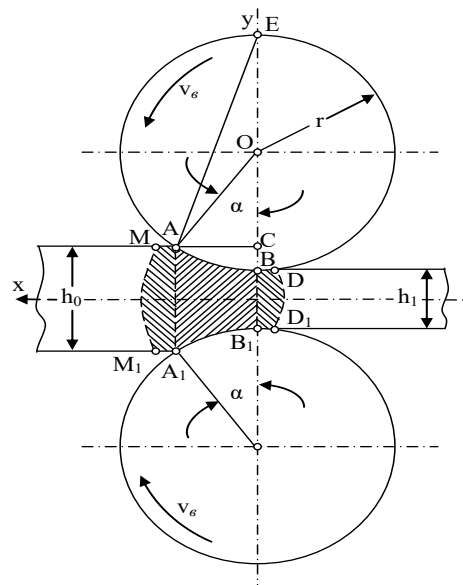
2.1. Параметри деформації для моделювання процесу прокату

Зовнішнім проявом несприятливих умов напружено-деформованого стану є форма бічної грані розкату у вигляді «подвійної бочки». Умова $H/D=a$ відповідає переходу від подвійного (при $H/D>a$) до одинарного (при $H/D<a$) бочкоутворення, що ще не свідчить про проникнення деформацій стиску на всю довжину розкату. Деформація стиску від валків проникає на всю глибину при $H/D \leq 1,7a$, що відповідає умові $L/D \geq 0,85$. У цьому випадку поздовжня напруга, що розтягує, у фактичному осередку деформації істотно зменшується. У більшій частині осередку деформації діють поздовжні стискаючі напруги, тобто усуваються причини порушення суцільності центральних частин розкату, підвищується якість заготівлі.

Таким чином, одержання заготівлі із задовільною за якістю макроструктурою пов'язане з вибором оптимальних співвідношень $H/D \leq 1,7a$ й $L/D \geq 0,85$ або (при граничних кутах захвату) $H/D \leq 0,85$. Ці співвідношення накладають обмеження на вибір діаметра валка блюмінга і маси злитка. Зокрема, аналізуючи один з можливих способів збільшення продуктивності процесу (у цьому випадку $D=\text{const}$) шляхом збільшення маси злитка і його розмірів, знаходимо, що внаслідок збільшення H/D понад 0,85 умови плинності металу стають менш сприятливими. У зв'язку із цим збільшення маси злитка при пропорційному зростанні всіх його розмірів, незважаючи на збільшення сумарної витяжки, не завжди може гарантувати необхідну якість [2].

Неоднозначність розподілу деформацій і швидкостей розкату металу за довжиною заготовки є характерною поведінкою процесу прокатки, що впливає на весь процес зміну металу у валках. Вплив такого тертя у зв'язку з невеликими обтисненнями та великим перерізом розкату поширюється на величину, приблизно рівну ділянці деформації. Деформація загасає в самій товщі металу від поширення тиску на якомога більшу площу шарів металу і виникнення напруження, менших за границі текучості. Зі збільшенням тиску на контактній поверхні неоднозначність деформації за довжиною заготовки, зменшується тому що проникнення деформації здійснюється в глибину металу.

Розходження ступенів деформації різних шарів розкату спричиняє в процесі додаткові напруги (стиску і також розтягання у меншій мірі шарів). Напруги, що розтягують, при певних умов можуть бути причиною зміни суцільності металу в центрі зони або на бічних гранях.



α – кут захвату злитка; h_0 h_1 – вхідний і вихідний розмір злитка;

r – радіус валків; v_g – швидкість валків; $MABDD_1B_1A_1M_1$ – зона деформації металу

Рисунок 2.1- Параметри зони деформації входу металу між валками

Нерівність розподілу деформацій і швидкостей розкату металу необхідно врахувати при розробці оптимальних по цим критеріям систем прокатки.

На процес входження злитків у валки, враховують тертя на контакти метал-валок, також сили інерції злитка, і співвідношення швидкостей злитка і валків.

Кут захвату валками заготовки (рис. 2.1) розраховується за рівнянням [2]

$$\cos \alpha = 1 - \frac{h_0 - h_1}{2r} = 1 - \frac{\Delta h}{2r}$$

$$\sin \frac{\alpha}{2} = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\Delta h}{r}}$$

При малих кутах захвату, одержимо:

$$\alpha \approx \sqrt{\frac{\Delta h}{r}}$$

Дугу контакту металу з валком називають *дугою* захвату. Довжина її знаходиться:

$$l = r\alpha$$

$$l_d = r \sin \alpha$$

Що є проекцією дуги на напрямок прокатки. Для зручності її заміняють довжиною хорди:

$$AB = l_d = \sqrt{r\Delta h}$$

Геометрична часка деформації знаходиться:

$$AC = \sqrt{r\Delta h - \left(\frac{\Delta h}{2}\right)^2} = \sqrt{r\Delta h \left(1 - \frac{\Delta h}{4r}\right)}$$

Тому що значення $\frac{\Delta h}{4r}$ підкореневого виразу мале, довжина AC можна визначити за формулою:

$$AC = \sqrt{r\Delta h} = l_D$$

Отже, довжина ділянки захвату і розміри геометричної ділянки деформації прокату відрізняються на малу величину, якою можна знехтувати та вважати їх рівними.

У джерелах застосовується поняття середньої довжини зони деформації або середньої товщини заготовки (h_{cp}). Вираз для середнього рівня зони деформації обрахуємо з визначення її як розміру прямокутника, площа якого рівна площі геометричного зони деформації, а довжина еквівалентна довжині проекції ділянки захвату:

$$h_{cp} = \frac{F_{0 \cdot D}}{l_D} = \frac{h_0 + h_1}{2} - r \left(\frac{r\alpha}{l_D} - 1 \right)$$

Так як $\frac{r\alpha}{l_D} > 1$, то $h_{cp} < \frac{h_0 + h_1}{2}$.

Однак на практиці кути захвату мають відношення $\frac{r\alpha}{l_D}$ рівне одиниці; отже, приймемо

$$h_{cp} = \frac{h_0 + h_1}{2}.$$

Приймемо заміну $1 - \frac{\Delta h}{2h_0} \approx \sqrt{1 - \frac{\Delta h}{h_0}}$, що дійсна при $\frac{\Delta h}{h_0} < 0,2$, та одержимо вираз для середнього розміру ділянки деформації:

$$h_{cp} \approx \sqrt{h_0 h_1}.$$

Перетин ділянки деформації орієнтовно можна підрахувати, міняючи ділянку захвату хордою:

$$2y = h_1 + \frac{\Delta h}{l_d} x,$$

Чи можна - параболою:

$$2y = h_1 + \frac{x^2}{r}.$$

Для формалізації виразу переміщення металу, при прокатці застосовують відносні вирази, що звуться коефіцієнтами:

$$\text{обтиску } \frac{1}{\eta} = \frac{h_0}{h_1}, \text{ уширення } \beta = \frac{b_1}{b_0}, \text{ подовження } \lambda = \frac{l_1}{l_0}.$$

Добуток таких коефіцієнтів є одиниця, тому що об'єм металу в процесі прокатки не міняється:

$$\eta\beta\lambda = \frac{h_1}{h_0} \cdot \frac{b_1}{b_0} \cdot \frac{l_1}{l_0} = \frac{V_1}{V_0} = 1,$$

де V_0 і V_1 — об'єм його до і після прокатки.

Для оцінки характеру змін деформації прийнемо:

$$\text{обтиску } \varepsilon_h = \frac{h_0 - h_1}{h_0} = \frac{\Delta h}{h_0},$$

$$\text{уширення } \varepsilon_b = \frac{b_0 - b_1}{b_0} = \frac{\Delta b}{b_0},$$

$$\text{подовження } \varepsilon_l = \frac{l_0 - l_1}{l_0} = \frac{\Delta l}{l_0}.$$

Ці оцінки деформації, в свою чергу, пов'язані:

$$\frac{1}{\eta} = \frac{h_1}{h_0} = \frac{h_0 - \Delta h}{h_0} = 1 - \varepsilon_h,$$

$$\beta = \frac{b_1}{b_0} = \frac{b_0 + \Delta b}{b_0} = 1 + \varepsilon_b,$$

$$\lambda = \frac{l_1}{l_0} = \frac{l_0 + \Delta l}{l_0} = 1 + \varepsilon_l.$$

При більших переміщеннях вірною оцінкою деформації є логарифмічна деформація:

$$\text{висотна } \ln \frac{h_0}{h_1} = \int_{h_1}^{h_0} \frac{dh}{h},$$

$$\text{поперечна } \ln \frac{b_1}{b_0} = \int_{b_0}^{b_1} \frac{db}{b},$$

$$\text{поздовжна } \ln \frac{l_1}{l_0} = \int_{l_0}^{l_1} \frac{dl}{l}.$$

З достатньою точністю можна обмежитися першими членами:

$$\ln \frac{h_0}{h_1} \approx \frac{\Delta h}{h_1} = \frac{\varepsilon}{1 - \varepsilon},$$

$$\ln \frac{h_0}{h_1} \approx \frac{\Delta h}{h_0} = \varepsilon,$$

$$\ln \frac{h_0}{h_1} \approx \frac{2\Delta h}{h_0 + h_1} = \frac{\varepsilon}{1 - 0,5\varepsilon}.$$

Формалізацію деформації прокатки застосовується коефіцієнт форми, що дорівнює відношенню розміру ділянки захвату до середньої висоти заготівки $l_D/h_{\text{ср}}$.

$$\frac{l_D}{l_{\text{ср}}} = \frac{2\sqrt{r\Delta h}}{h_0 + h_1} \approx \frac{\sqrt{r\Delta h}}{\sqrt{h_0 h_1}} \approx \frac{\ln \frac{h_0}{h_1}}{\alpha}$$

Цей коефіцієнт має такий сенс: він характеризує поздовжній перетин ділянки деформації і дорівнює відношенню вертикальної деформації до умовного кута захвату:

2.2. Математичне забезпечення вимірювань заготівки

Задачею алгоритму опитування є знімання даних, що доставляються вимірником опитування, їх первинна статична обробка і формування і

формування масиву технологічної інформації. В АСУ ТП дротового стану алгоритми опитування охоплюють до 300 вимірників більш 20 типів. Дані, що знімаються, використовуються багатьма споживачами, у першу чергу, контурами регулювання. Безліч вимірюваних величин та типів вимірників, а також безліч споживачів роблять задачу опитування неоднозначною, найчастіше потребуючого індивідуального підходу в кожному конкретному випадку. Разом з тим вбачається і спільність у роботі з різними вимірниками, що дозволяє реалізувати типовий варіант алгоритму, що може видозмінитися в конкретних умовах.

Укрупнена блок-схема типового алгоритму опитування (АО) вимірника з безупинним входом приведена на рис. 2.2. Блок 1- ідентифікатор алгоритму. У блоці 2 здійснюється процедура перевірки початкових умов, що дозволяють роботу алгоритму. Такими умовами може бути рішення оператора, несправність і т.п. Якщо умови не задовольняються, то впливає вихід з алгоритму. У блоці 3 відбувається безпосереднє зняття коду, видаваного аналого-цифровим перетворювачем напруги (АЦП), у результаті чого в пам'ять засилається код К. Потім визначається розмірне значення вимірюваної

Відповідно до існуючих стандартів, максимальні рівні вимірників в АЦП погоджені та дорівнюють $u_{\text{макс}}=5$ В. при токовому виході вимірника сигнал перетвориться в напруги за допомогою блоків, що нормалізують.

Перетворення коду в розмірну величину здійснюється шляхом переведення коду в напругу по формулі

$$U = c_{\pi} \cdot k$$

$$c_{\pi} = u_{\text{макс}} / (2^r - 1) ,$$

де c_{π} - ціна молодшого розряду перетворення при r -розрядному коді з наступним перекладом напруги в розмірну величину по тарувальній кривій $P=f(c_{\pi},k)$.

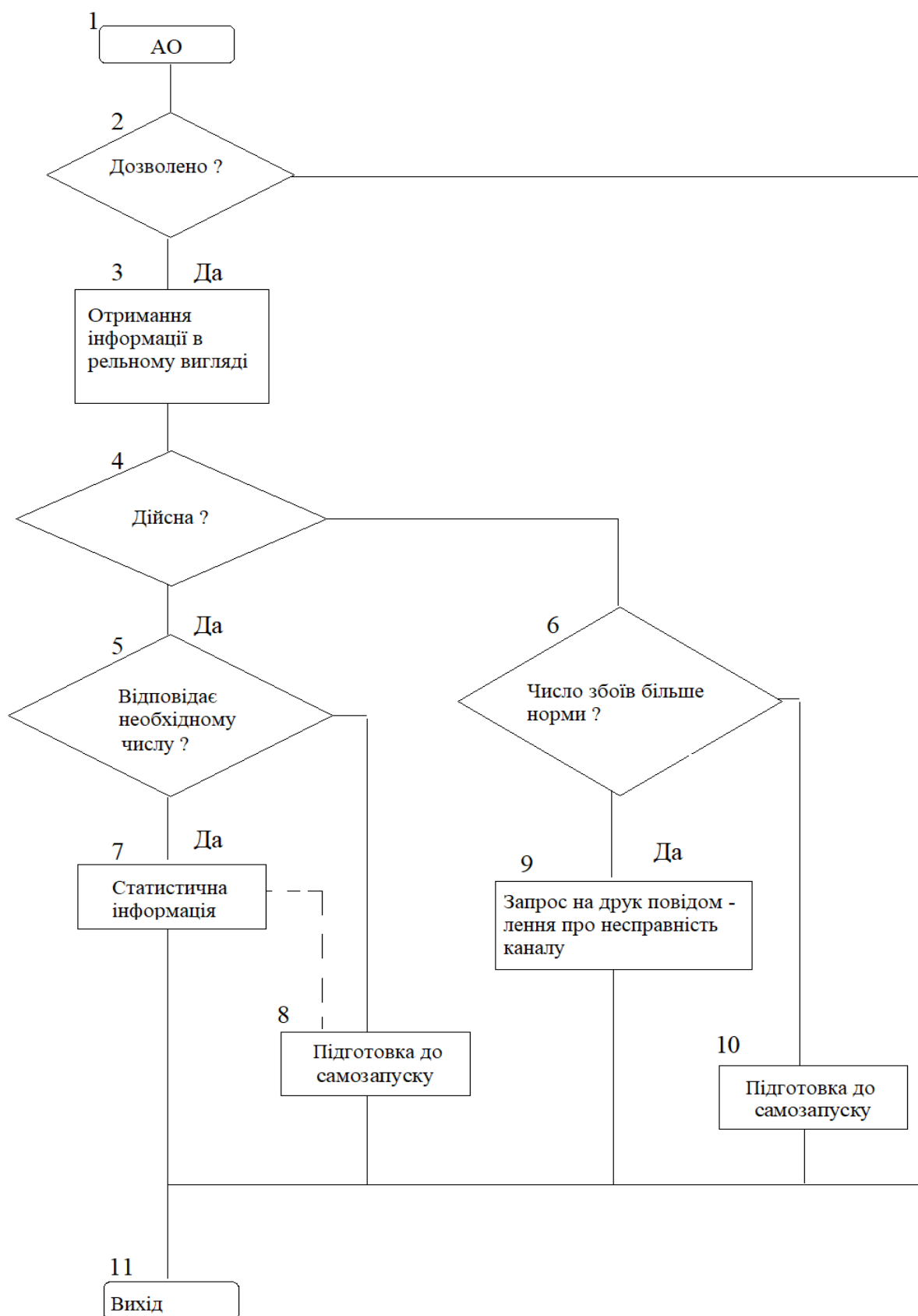


Рисунок 2.2 - Блок-схема алгоритму опитування (АО) вимірника

Для деяких вимірників, наприклад вимірювальної установки, тарировану криву доцільно задавати у виді таблиці з наступної інтерполяції. У деяких випадках виникає необхідність приведення у відповідність тарувальних характеристик вимірників, що вимірюють ту саму велучину, наприклад, швидкість, але в різних перетинах стану, чи уточнення характеристики по більш точному виміру, наприклад уточнення характеристики вимірника швидкості по точному виміру шляху і часу його проходження. У цьому випадку вводиться коефіцієнт адаптації C_a , і формула здобуває остаточний вигляд.

$$P = c_{\pi} \cdot c_{\kappa} \cdot c_a \cdot k.$$

На початку роботи системи $C_a=1$, потім він змінюється алгоритмом адаптації.

У блоці 4 перевіряється вірогідність інформації, для чого використовується кілька критеріїв, один із яких полягає в перевірці влучення обмірюваної величини P в діапазон між крайніми значеннями $P_{\min}$ і $P_{\max}$, за які нормально вона не виходить. Для деяких параметрів межі $P_{\min}$ і $P_{\max}$ залежать від режиму роботи систем і визначаються перед перевіркою. Якщо умова $P_{\min} \leq P \leq P_{\max}$ не виконуються, то дане значення P вважаються недостовірним.

Іншим критерієм є незмінність параметра на ряді сусідніх вимірів. Для багатьох параметрів умова $P_{i-1} = P_i = P_{i+1}$ означає невірогідність, якщо навіть попередня умова виконується.

Третім критерієм може бути швидкість виміру параметра. Якщо $\Delta P = P_i - P_{i+1} > \delta_p$ (тут δ_p -граничне збільшення двох сусідніх значень), то й інформація теж вважається недостовірною.

Однак одиничні випадки невірогідності не означають несправності та не повинні приводити до відключення каналу. При цьому недостовірний вимір повинний бути виключений, а вихід на повторний вимір повторений (вихід на самопуск у блок 10). Якщо ж число недостовірних вимірів за визначений

інтервал часу, частіш усього за час прокатки однієї смуги, перевищує визначене число, то приймається рішення про несправність каналу. У цьому випадку впливає перехід до блоку 9, де здійснюється запит на друк повідомлення про несправність і критерій по якому вона встановлена, та виробляється ознака несправності.

Достовірна інформація обробляється в блоці 7. Характер статичної обробки залежить від призначення інформації та характеру вимірюваної величини. В основному обробка зводиться до перебування усередненого призначення параметра. Інформація, використовувана контурами регулювання, що працюють від смуги до смуги. В обох випадках виникає питання про частоту та кількість вимірів, необхідних для усереднення.

У першому випадку звичайно ставиться задача одержання усередненого значення на головній частині смуги, відфільтрованого від складових, що швидко змінюються, що визвані глісажними мітками, ексцентриситетом валків та т.п. У цьому випадку усереднення роблять за довжиною глісажної мітки.

$$L = (H_c \cdot L_r) / (N_r \cdot h_{\Pi})$$

, де H_c -товщина(висота) штуки, L_{Π} -довжина печі, N_r -число гліссажних міток, h_{Π} -товщина смуги в позначці виміру. Для фільтрації гліссажної мітки, що має близький до синусоїдального характер зміни параметру, число виміру n не повинне бути менше 3. Звичайно приймається $3 \leq n \leq 21$. Звідси частота опитування:

$$f = (n \cdot v) / L$$

тут v -середня швидкість смуги в місці вимірів. Для смуги $h=2\text{мм}$ частота може досягати 2,8 Гц. Оскільки швидкість є величиною перемінної, то інтервал опитування (частота) може визначатися довжиною кожного виміру. Число

виконаних опитувань i перевіряється в блоці 5. При $i \neq n$ впливає перехід до самозапуску (блок 8). Після усереднення в блоці 7 робота алгоритму припиняється.

В другому випадку усереднення виконується за принципом поточного середнього. При цьому n має сенс числа вимірів, на якому визначається поточне середнє. Після досягнення n вимірів відбувається усереднення при кожному новому вимірі, причому самий старий вимір забувається, а новий включається в число n . Частота вимірів у цьому випадку досягає великих значень, а число $n \approx 3$, оскільки тут, навпаки, прагнуть здійснити реакцію на збурювання, що швидко змінюються.

У загальному випадку частота вимірів визначається швидкістю параметра $\partial P / \partial \tau$ та бажаної точки виміру ΔP :

$$f = \frac{\frac{\partial P}{\partial \tau}}{\Delta P}$$

У залежності від параметра та цілей по цій формулі можна обчислити частоти в дуже широкому діапазоні. На вибір частоти вимірів може впливати очікувана частота перешкод. Після усереднення впливає перехід на самозапуск (штрихова лінія до блоку 8), а вихід з роботи здійснюється за умовою блоку 2.

Алгоритм опитування вимірників з цифровим виходом має структуру, аналогічну структурі пружної деформації кліти, за винятком того, що перехід у розмірну величину може бути відсутнім, тому що код, що знімається, може мати розмірність параметра.

2.3. Математичне забезпечення вимірювань збурень

Для збору даних по температурі матеріалу пірометр поставляє керований струмом аналоговий сигнал у діапазоні 4..20 мА, що лінійно зображується на температурному діапазоні пірометра.

У межах визначеного аналогового діапазону пірометр надає в розпорядження вимірювальної системи відповідні значення температури поверхні матеріалу. Нижче граничного значення в 4 міліампери значення температури є недійсними, а габарити контуру представляються в сполученні із системним повідомленням у виді так званих гарячих габаритів.

Якщо у інтерфейсі знаходиться інформація про дійсне значення температури, то визначена в протоколі кодом матеріалу ділатометрична характеристика витягається з файлу, що редагується, «pyro.dat» та враховується при розрахунку результатів виміру.

Облік узятото з файлу коефіцієнта теплового розширення « α » здійснюється лінійно через перетини через перетин профілю, матеріал якого розглядається як гомогенний.

Розрахунок виправлення виробляється по радіусу отриманого в результаті виміру зображення за допомогою рівняння:

$$\Delta r = r \cdot \alpha \cdot \Delta T$$

де r - радіус у гарячому стані;

Δr — зміна радіуса для перерахування на габарити в холодному стані (20 градусів Цельсія);

ΔT - різниця температур (між гарячим і холодним станами).

Виправлення негайно ж враховується при розрахунку результату, що показується в графічній формі. Інформація, що зберігається у файлі, теж враховує виправлення по ділатометричній характеристиці.

Якщо дійсне значення температури відсутнє, то цей стан відображається на цифровому та графічному моніторах, а представлення результатів виміру здійснюється на основі даних, що відносяться до гарячого стану матеріалу.

Коефіцієнти теплового розширення задані для визначених температурних значень, на основі яких можна розрахувати коефіцієнт результату виміру температури за допомогою лінійної інтерполяції.

Різниця тиску на фільтрі теж пропонується у виді аналогового сигналу (4..20 мА) та обстежується на наступні базисні стани, що використовуються двома сигналами висновку – $\Delta p = 0$

Таблиця 2.1 - Побудова бази даних для розрахунку коефіцієнта теплового розширення.

Найменування матеріалу	Темп.1 400 °C	Темп.2 600 °C	Темп.3 800 °C	Темп.4 1000 °C
Інвар- сталь	1,5	1,52	1,51	1,49
Хром-сталь	10,0	9,9	10,0	10,1
Чавун	12,2	12,3	12,4	12,5
Сталь V2A	16	15,9	15,9	16,0
і т.д.	...	...	...	...

Відсутнє повітря для очищення, тобто прилад не готовий до роботи. Зелений контрольний індикатор готовності до роботи відключається.

$$\Delta p = p. \text{ soll (задане значення)}$$

Якщо різниця тиску збільшується занадто швидко, то це вказує на забруднення фільтра. Про це повідомляє попереджувачий сигнал жовтої контрольної лампи в шафі керування.

Температура зондів. Дані про температуру зондів надходять в систему у вигляді аналогового сигналу (4..20ма) і перевіряються на їхню відповідність припустимому діапазону температур, при виході за межі якого подається попереджувальний сигнал. У цьому випадку уся вимірювальна система з'являється «не готової до роботи» .

$$T_{\text{зонд}} > T_{\text{макс}} - \text{прилад не готовий до роботи}$$

$$T_{\text{зонд}} < T_{\text{мин}} - \text{прилад не готовий до роботи}$$

Довжина прокату. На основі наявної даних про швидкість прокату також можна співвідносити виявлені погрішності діаметра відповідним параметром довжини, що містяться в пам'яті для складання протоколу аналізу. Розрахунок поточної довжини виробляється за допомогою інтегрування швидкості, що міститься в протоколі прокату в часі.

$$L = \Delta (v^* \Delta t)$$

Де v^* - швидкість прокату відповідно до телеграми, Δt - проміжок часу для обробки одного зображення, яке проходить з пуску таймера в той момент, коли розраховується перше дійсне значення виміру.

2.4. Алгоритм роботи системи керування

На рис. 2.3 представлений алгоритм роботи системи автоматичного керування та вимірювання процесу прокатки проволочки по критерію якості геометричних показників перерізу заготовки.

В системі застосовується спосіб вимірювання на основі двох лазерних датчиків діаметру проволочки у вертикальній та горизонтальній площині. Датчик, який робить заміри у горизонтальній площині ставиться після передостанньої кліті, а заміри у вертикальній площині здійснює датчик, який ставиться після останньої кліті.

Сигнали з цих датчиків, відповідно a та b поступають на порівняння з сигналами завдання на потрібний діаметр і різниця подається на ПД регулятор. Після цього регулятор виробляє відповідний керуючий сигнал на систему управління гідроприводом регулювання тиску на верхній валок кліті та

відповідно розміром відстані його від нижнього валка (h) горизонтальної кліті. Такі ж самі дії проводяться і для вертикальної кліті, де один з валків є нерухомий, а керування положенням і відстанню між прокатними валками (h_1) проводиться над рухомим цим валком.

Керування змінами швидкості проводиться існуючою системою на прокатному стані по алгоритмам, закладеному в контролер – концентратор, який робить керування швидкістю клітей чистової групи усього стану.

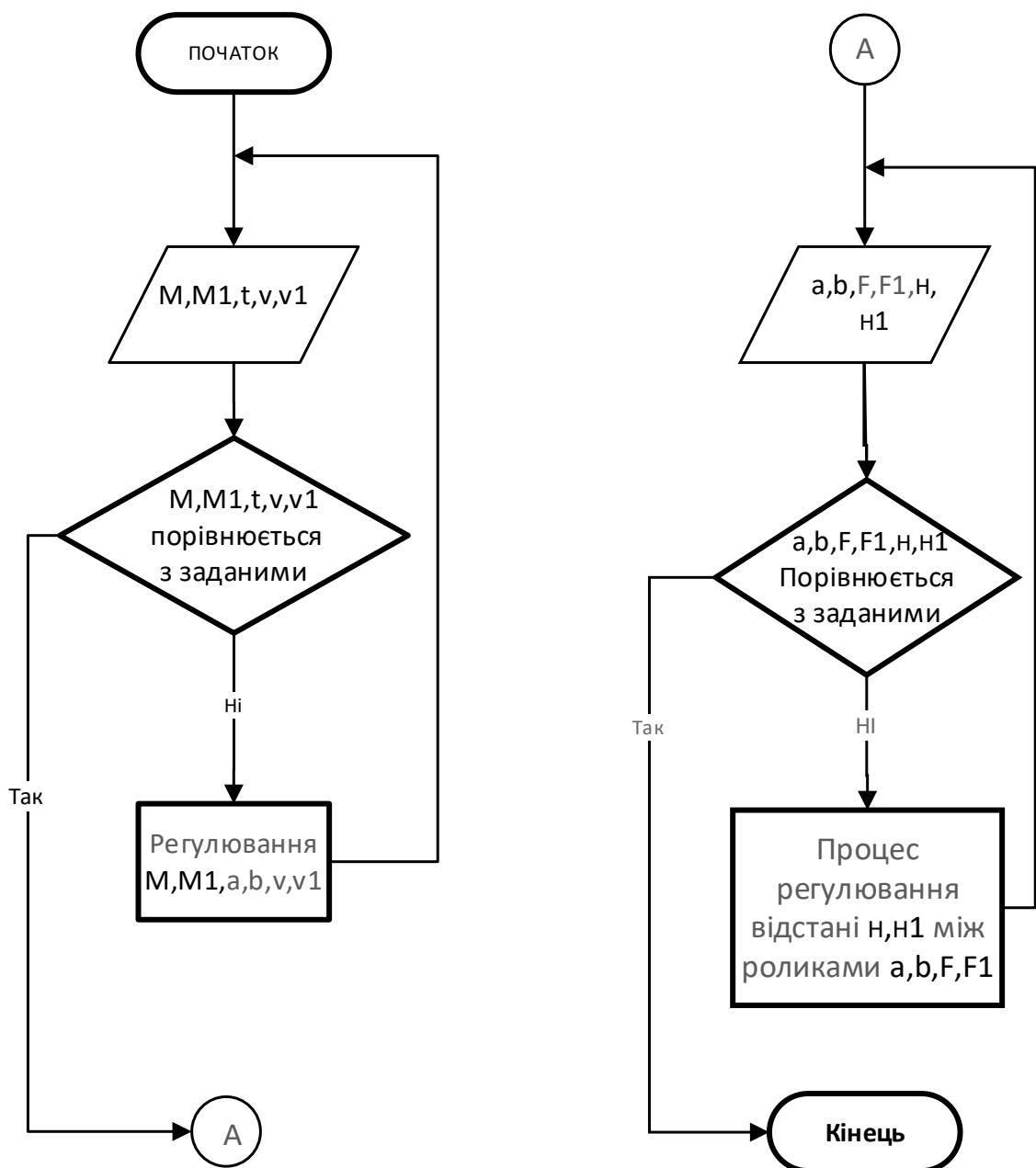


Рисунок 2.3 – Алгоритм роботи системи керування та вимірювання

Заміри моментів приводів валків клітей та швидкостей валків здійснюються на існуючій системі керування. Завдання на нормовані показники здійснюються на основі технологічної карти прокатки заготовки.

Висновок по розділу

При моделюванні системи контролю геометричних параметрів проволони прийнята система, яка складається з декількох контурів керування як система автоматизованого керування швидкістю, та зазором між прокатними валками.

Встановлені особливості підвищення точності вимірювання геометричних розмірів профілю прокату - як один із шляхів економії металу.

Розроблена математична модель для контролю параметрів процесів прокатки. Проведена формалізація процесу контролю.

Розроблено узагальнюючу схему-алгоритм усього процесу контролю.

Розроблено функціональну схему контролю апаратно-програмного комплексу інформаційно-обчислювальної системи.

РОЗДІЛ 3

ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ СИСТЕМИ КЕРУВАННЯ ПРОЦЕСОМ

3.1. Вибір і обґрунтування апаратного забезпечення САК

Функціональна схема САК групою двох останніх клітей чистової групи, як об'єкта керування показана на рисунку 3.1

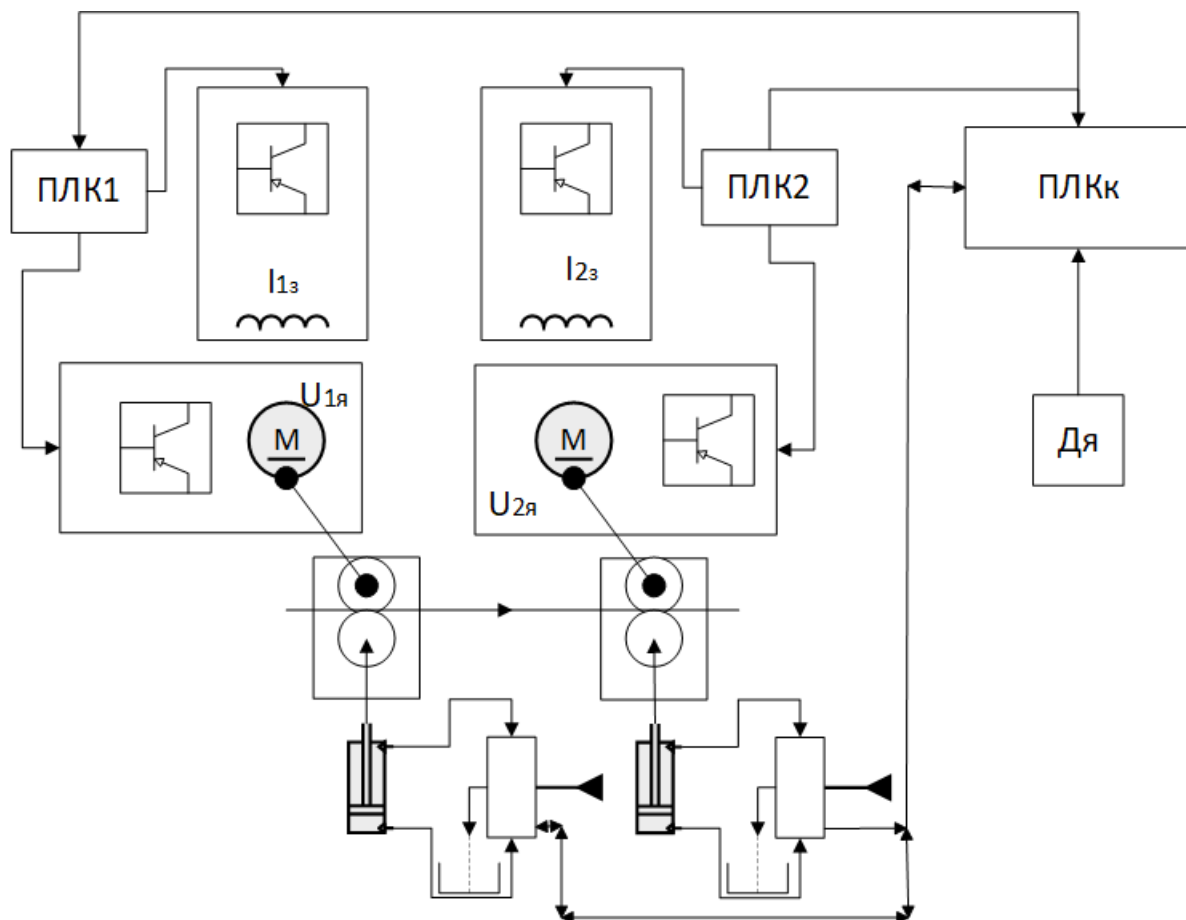


Рисунок 3.1- Функціональна схема САК групою двох останніх клітей чистової групи

Для керування і контролю якості проволоки прийнято рішення контролювати тільки дві вертикальну – передостання і останню кліті. На кожній кліті застосовується синхронні приводи, які оснащенні регульованими силовими

елементами в якірній частині і в збуджені. Також є системи стиснення валків з гідравлічними приводами циліндричного типу. На кожному привод є свій програмуєчий контролер ПЛК1, ПЛК2. Для керування групою клітей система комплектується ще одним контролером ПЛКк – концентратором.

Опис обладнання

Потужність двигунів чистової групи дротового прокатного стану (діаметр 5,5 мм, швидкість прокатки 50–100 м/с) залежить від багатьох факторів: типу кліті (горизонтальна чи вертикальна), конструкції валків, режиму прокатки, а також технологічних вимог до продукції:

Потужність двигунів чистової групи

Горизонтальні кліті:

- Потужність: 2–5 МВт (може сягати до 6 МВт для високошвидкісних станів)
- Основне навантаження при деформації припадає саме на горизонтальні валки, тому вони потребують більшої потужності.
- Часто використовуються синхронні або асинхронні двигуни з частотним регулюванням.

Вертикальні кліті:

- Потужність: 1–3 МВт
- Використовуються для контролю ширини прокату, стабілізації процесу, але не несуть основного навантаження деформації.
- Можуть бути менш потужними, оскільки їх роль — коригуюча.

Вплив швидкості прокатки

- При швидкості 50–100 м/с двигуни мають бути високошвидкісними, з точним регулюванням моменту.
- Зростання швидкості вимагає:
- Підвищеної потужності через збільшення інерційних навантажень.
- Покращеної системи охолодження.
- Точнішого контролю синхронізації між клітями.

Таблиця 3.1 - Конфігурація для дротового стану:

Кліть	Тип	Потужність двигуна	Швидкість прокатки
F1–F4	Горизонтальні	3–5 МВт	до 100 м/с
V1–V2	Вертикальні	1–2,5 МВт	до 80 м/с

Ці значення можуть варіюватися залежно від конкретного проекту, типу сталі, системи керування та вимог до продукції.

Потужності гідравлічних двигунів натискних пристроїв клітей

Потужність гідравлічних двигунів натискних пристроїв клітей залежить від типу прокатного стану, розмірів валків, сили натиску, швидкості прокатки та конструкції самої гідросистеми.

Таблиця 3.2 - Типові потужності гідравлічних двигунів натискних пристроїв

Тип кліті	Сила натиску (тонн)	Потужність гідродвигуна (кВт)	Примітки
Чистові кліті	100–300	30–75	Висока точність регулювання
Проміжні кліті	200–500	50–100	Часто з двома гідроциліндрами
Грубі кліті	500–1000+	100–250	Потужні системи з охолодженням

Особливості конструкції

- Гідравлічні натискні пристрої застосовуються для регулювання зазору між валками, забезпечення стабільного тиску на прокатуваний матеріал.

- Потужність двигуна визначається не лише силою натиску, а й швидкістю реакції системи, об'ємом гідравлічної рідини, тиском у системі (зазвичай 160–250 бар).
- У сучасних станах використовуються серво-гідравлічні системи з високою точністю позиціонування.

Розрахуємо потужність серво-гідравлічної системи з високою точністю позиціонування, виберемо насос до неї і систему керування зі зворотним зв'язком від датчика геометричних параметрів дроту на виході з останньої і перед нею клітей.

Розрахунок потужності серво-гідравлічної системи з високою точністю позиціонування — це завдання, яке поєднує гідравліку, автоматизацію та точне керування. Відійдемо до цього поетапно:

1. Розрахунок потужності гідравлічної системи

Формула:

$$P = p Q / 600$$

- P — потужність (кВт)
- p — робочий тиск (бар)
- Q — витрата рідини (л/хв)

Для серво-гідравліки важливо враховувати пікові навантаження, швидкість реакції, точність позиціонування — тому потужність може бути вищою, ніж у звичайних системах.

При тиску 200 бар і витраті 180 л/хв:

$$P = \frac{200 * 180}{600} = 60 \text{ кВт}$$

2. Вибір насоса

Тип насоса:

1) Серво-керований аксіально-поршневий насос — забезпечує змінну витрату, точне регулювання, швидку реакцію.

2) Альтернатива: зубчастий насос для менш точних систем.

Критерії вибору:

- Робочий тиск: ≥ 250 бар
- Витрата: залежить від швидкості переміщення гідроциліндра
- ККД: $\geq 90\%$
- Наявність датчика положення на виході

3. Система керування зі зворотним зв'язком

Архітектура:

- Датчики геометричних параметрів дроту (діаметр, форма, положення) — лазерні або оптичні.
- Контролер (PLC або промисловий ПК) — обробляє сигнал, порівнює з еталоном.
- ПІД-регулятор — формує керуючий сигнал для гідравлічного приводу.
- Зворотний зв'язок — забезпечує корекцію положення валків або натискного пристрою.

Принцип роботи:

1. Датчик вимірює параметри дроту після кліті.
2. Сигнал надходить до контролера.
3. Контролер порівнює з заданим значенням.
4. Якщо є відхилення — система коригує положення валків через гідропривід.

Тобто –за принципом управління по відхиленню — основа сучасних САУ (систем автоматичного управління).

Таблиця 3.3 - Рекомендації по компонентах

Компонент	Рекомендація
Насос	Rexroth A10VSO або Parker PVPlus
Серво-клапан	Moog D633 або Bosch Rexroth 4WRPE
Контролер	Siemens S7-1500 або Beckhoff CX
Датчик геометрії	ZUMBACH ODAC або Keyence LS-7000
ПІД-регулятор	Вбудований у контролер або окремий модуль

Візьмемо потужну основу — Siemens S7-1500 з CPU 1507, лазерні датчики для вимірювання геометрії дроту, і завдання: побудувати систему автоматичного керування натискними пристроями горизонтальної та вертикальної кліті через серво-клапани. Побудуємо структурну схему системи керування за принципами управління по відхиленню.

Структурна схема системи керування показана на рис. 3.2

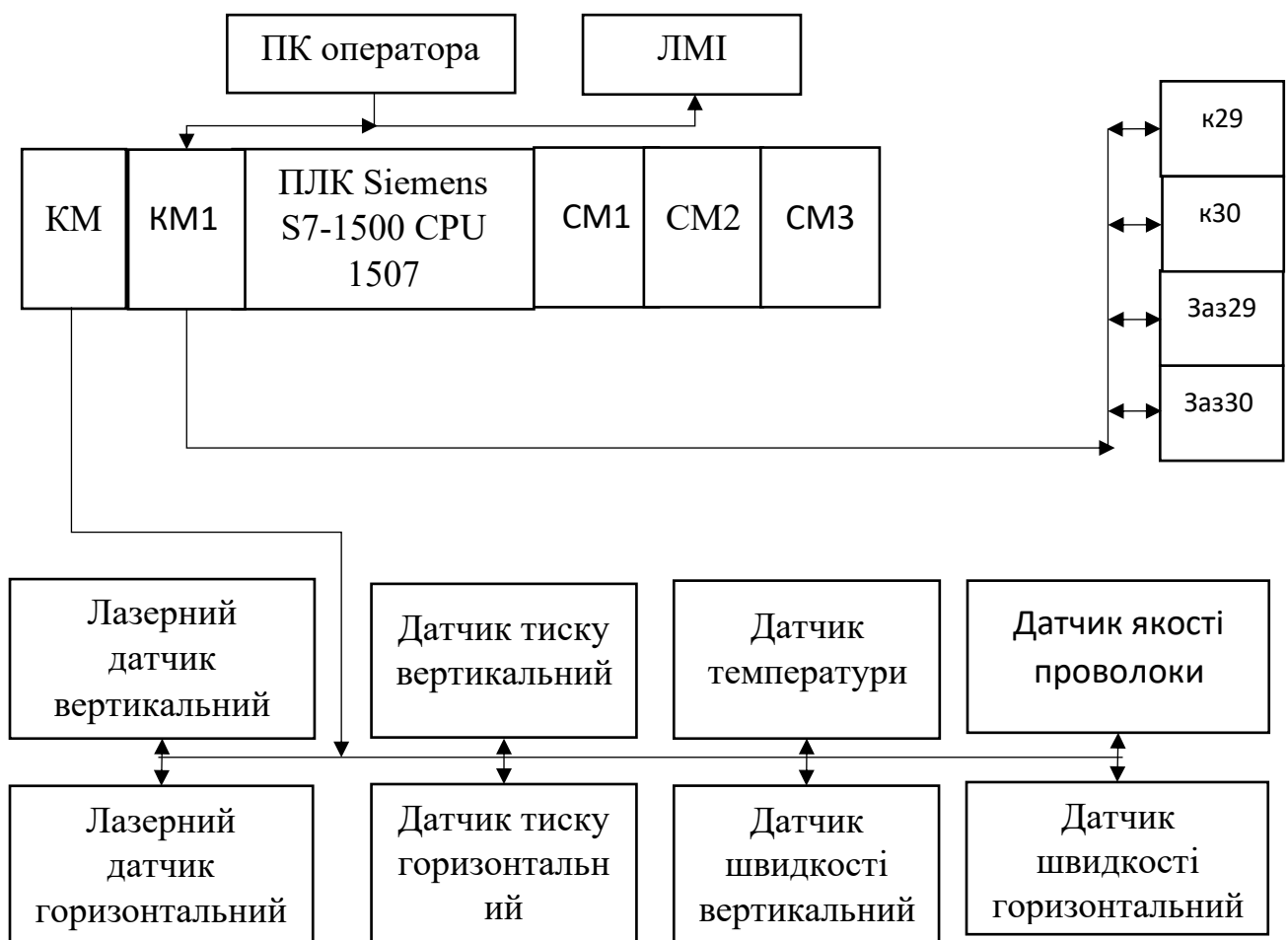


Рисунок 3.2 - Структурна схема системи керування для останньої кліті

Моделі компонентів проекту

1) Контролер

- Siemens S7-1500 CPU 1507

2) Модулі вводу/виводу:

- AI 8xU/I 2-wire: *SM 1231 AI* — для аналогових сигналів з лазерних датчиків.
- AO 4xU/I: *SM 1232 AO* — для керування серво-клапанами.
- DO 8xRelay: *SM 1223 DO* — для цифрового керування (якщо потрібно).

Датчики геометрії дроту

- ZUMBACH ODAC 14XY — лазерний двокоординатний датчик для вимірювання діаметра дроту в двох площинах.
- KEYENCE LS-7030 — високоточний лазерний сканер для швидких процесів.

Обидва мають аналоговий вихід (0–10 В або 4–20 мА), що легко інтегрується в AI-модулі Siemens.

Серво-клапани

- Moog D633 Series — високоточні серво-клапани для гідравлічних систем, з аналоговим керуванням ± 10 В.
- Bosch Rexroth 4WRPEH — електрогідравлічні пропорційні клапани з вбудованим датчиком положення.

Обираємо залежно від тиску, витрати та точності. Обидва підтримують зворотний зв'язок і працюють з Siemens AO-модулями.

ПК та HMI

- SIMATIC WinCC Advanced — для візуалізації, налаштування параметрів, моніторингу.
- Промисловий ПК Siemens IPC — для архівації даних, інтеграції з ERP/MES.

Логіка керування

1. Зчитування геометрії дроту з лазерних датчиків.
2. Порівняння з еталонними значеннями у CPU.
3. Формування керуючого сигналу (аналогового) на серво-клапан.

4. Корекція положення валків у вертикальній та горизонтальній кліті.
5. Зворотний зв'язок — постійне оновлення даних і корекція.

Поставлена задача технічно досить складна — вимірювати кожен міліметр дроту при швидкості 100 м/с, тобто 100 000 мм/с, що вимагає частоти вимірювання 100 кГц (один замір кожні 10 мкс або 0,00001 с). Тому треба розібратися, чи це реально.

Перевіримо, чи здатні Siemens S7-1500 та ZUMBACH ODAC 14XY працювати на таких швидкостях?

ZUMBACH ODAC 14XY

- Частота вимірювання: до 125 000 вимірів/с (125 кГц) залежно від моделі та конфігурації
- Підтримка Profinet IO, Profibus DP, Ethernet TCP/IP — для швидкої передачі даних
- Призначений для високошвидкісних процесів, таких як волочіння дроту, екструзія, тощо

Висновок: датчик справляється з нашими вимогами — 100 кГц, це в межах його можливостей.

Siemens S7-1500 CPU 1507

- Мінімальний час циклу (scan cycle): менше 0,1 мс для високопродуктивних моделей
- Але обробка аналогових сигналів через стандартні AI-модулі — обмежена (~1 кГц)
- Для високошвидкісного збору даних потрібні HS-модулі або зовнішній процесор (наприклад, ZUMBACH USYS)

Висновок: стандартний CPU не встигатиме обробляти 100 тис. сигналів/с. Потрібна буферизація або попередня обробка на стороні датчика.

Виберемо буферизацію.

При цьому треба враховувати можливість сучасних контролерів по швидкодії.

3.2. Програмне забезпечення САК

Логіка стандартного ПІД-регулятора (STL)

Базовий фрагмент STL- коду для реалізації ПІД-регулятора:

```
// Вхідні значення
L   #SetPoint      // Задане значення
L   #MeasuredValue // Виміряне значення
-I
T   #Error

// Пропорційна частина
L   #Error
L   #Kp
*R
T   #P_Out

// Інтегральна частина
L   #Error
L   #Ki
*R
L   #I_Out
+R
T   #I_Out

// Диференціальна частина
L   #Error
L   #PrevError
-R
```

```

L   #Kd
*R
T   #D_Out

// Сума
L   #P_Out
L   #I_Out
+R
L   #D_Out
+R
T   #PID_Output

```

```

// Зберігаємо попередню помилку

```

```

L   #Error
T   #PrevError

```

Цей код — базовий. Для реального застосування треба врахувати фільтрацію, обмеження, антиwindup, таймінг.

Альтернатива: зовнішній процесор

Оскільки S7-1500 не здатен обробляти 100 кГц в реальному часі, оберемо:

- Використовуємо ZUMBACH USYS IPC — обробляє дані з ODAC, виконує ПД-регуляцію
- Передає результат на S7-1500 через Profinet/Profibus
- S7-1500 керує клапанами, а не обробляє сирі дані

Адаптуємо STL-код під процес і створимо модель у TIA Portal для керування клітями на основі лазерних вимірювань. Наша задача — порівнювати фактичні розміри дроту з заданими і формувати керуючий сигнал на сервоклапани вертикальної та горизонтальної кліті. Почнемо з логіки, а потім — структура проєкту в TIA Portal.

Адаптований STL-код ПІД-регулятора для однієї осі (наприклад, вертикальної кліті)

```
// Вхідні дані
L   #SetPoint_Vert    // Задане значення вертикального розміру
L   #Measured_Vert    // Виміряне значення з лазерного датчика
-R
T   #Error_Vert

// Пропорційна частина
L   #Error_Vert
L   #Kp_Vert
*R
T   #P_Vert

// Інтегральна частина
L   #Error_Vert
L   #Ki_Vert
*R
L   #I_Vert
+R
T   #I_Vert

// Диференціальна частина
L   #Error_Vert
L   #PrevError_Vert
-R
L   #Kd_Vert
*R
T   #D_Vert
```

```

// Сума
L   #P_Vert
L   #I_Vert
+R
L   #D_Vert
+R
T   #PID_Vert

// Зберігаємо попередню помилку
L   #Error_Vert
T   #PrevError_Vert

// Обмеження виходу (наприклад,  $\pm 10$  В)
L   #PID_Vert
L   10.0
>R
JC  LIMIT_HIGH
L   #PID_Vert
L   -10.0
<R
JC  LIMIT_LOW
JU  END_LIMIT

LIMIT_HIGH:
L   10.0
T   #PID_Vert
JU  END_LIMIT

```

LIMIT_LOW:

L -10.0

T #PID_Vert

END_LIMIT:

Аналогічно створюється регулятор для горизонтальної кліті (#SetPoint_Horiz, #Measured_Horiz, тощо).

Структура проєкту в TIA Portal

Організація

1. Program blocks:
 - Main [OB1]: виклик регуляторів
 - FB_PID_Vert, FB_PID_Horiz: окремі функціональні блоки для ПІД-регуляторів
2. Data blocks:
 - DB_PID_Vert, DB_PID_Horiz: зберігання параметрів (Kp, Ki, Kd, Error, Output)
3. Hardware configuration:
 - CPU 1507
 - AI-модулі для лазерних датчиків
 - АО-модулі для серво-клапанів

Таблиця 3.4 - Налаштування параметрів ПІД-регулятора

Параметр	Початкове значення	Коментар
Kp	1.5	Пропорційне посилення
Ki	0.01	Інтегральне посилення
Kd	0.1	Диференціальне посилення
SetPoint	5.00 мм	Заданий діаметр дроту

Параметр	Початкове значення	Коментар
Measured	з AI-модуля	Вхідний аналоговий сигнал
PID_Output	± 10 В	Вихід на серво-клапан

Рекомендації для високошвидкісної обробки

- Використовуємо OB35 (циклічний таймер) для виклику ПІД-регулятора з фіксованим інтервалом (наприклад, 1 мс)
- Якщо датчик має цифровий інтерфейс (Profinet/Profibus) — краще використовувати Data blocks для швидкого обміну
- Для надшвидких процесів — буферизація даних у зовнішньому пристрої (наприклад, ZUMBACH USYS)

Створимо модель у TIA Portal для процесу керування клітями з використанням лазерних датчиків і ПІД-регуляторів. Покажемо особливості, як організувати проєкт, налаштувати обмін даними, створити функціональні блоки та інтегрувати все в апаратну конфігурацію, для цієї задачі.

1. Структура проєкту в TIA Portal

Таблиця 3.5 - Організація блоків

Тип блоку	Назва	Призначення
OB	OB1	Головний цикл програми
OB	OB35	Циклічний таймер для ПІД-регулятора (наприклад, кожні 1 мс)
FB	FB_PID_Vert	ПІД-регулятор вертикальної кліті
FB	FB_PID_Horiz	ПІД-регулятор горизонтальної кліті
DB	DB_PID_Vert	Дані для вертикального регулятора
DB	DB_PID_Horiz	Дані для горизонтального регулятора

2. Апаратна конфігурація

CPU

- CPU 1507 — додаєм у Hardware Catalog

Модулі

- AI модуль: SM 1231 AI (для лазерних датчиків)
- AO модуль: SM 1232 AO (для серво-клапанів)
- Profinet Device: ZUMBACH ODAC (через Ethernet або Profinet)

У Hardware Configuration додаємо ці модулі, з прив'язкою адреси каналів (наприклад, AIW0 — вертикальний датчик, AIW2 — горизонтальний)

3. Створення FB_PID_Vert

У FB створюємо інтерфейс:

Input:

- SetPoint : Real
- Measured : Real
- Kp : Real
- Ki : Real
- Kd : Real

Output:

- PID_Out : Real

Static:

- Error : Real
- PrevError : Real
- I_Accum : Real

Основна логіка (в LAD або STL):

```
// Обчислення помилки
```

```
L #SetPoint
```

```
L #Measured
```

-R

T #Error

// Пропорційна частина

L #Error

L #Kp

*R

T #P

// Інтегральна частина

L #Error

L #Ki

*R

L #I_Accum

+R

T #I_Accum

// Диференціальна частина

L #Error

L #PrevError

-R

L #Kd

*R

T #D

// Сума

L #P

L #I_Accum

+R


```

L   #D
+R
T   #PID_Out

// Зберігаємо попередню помилку
L   #Error
T   #PrevError

```

4. Виклик у OB35

```

CALL FB_PID_Vert, DB_PID_Vert
SetPoint := 1.00
Measured := REAL_FROM_WORD(AIW0)
Kp := 1.5
Ki := 0.01
Kd := 0.1
PID_Out := PID_Vert_Output
Аналогічно викликається FB_PID_Horiz з AIW2

```

5. Обмін даними з лазерним датчиком ODAC

Через Profinet:

1. У Hardware Configuration додаємо ODAC як Profinet Device
2. Призначаємо IP-адресу
3. Встановлюємо Input/Output адреси (наприклад, IW100 — вертикальний, IW102 — горизонтальний)
4. У програмі використовуєм REAL_FROM_WORD(IW100) для отримання значення

6. Вивід на серво-клапан

```

WORD := REAL_TO_WORD(PID_Vert_Output)

```

MOVE WORD TO QW0 // АО канал

Перетворення Real у Word для аналогового виходу ± 10 В

7. Налаштування OB35

- Встановлюємо OB35 з інтервалом 1 мс
- Використовуємо його для виклику ПІД-регуляторів — це забезпечить стабільну частоту обробки

Створимо повний шаблон проєкту для Siemens S7-1500 у TIA Portal, адаптований під задачу з лазерними датчиками, ПІД-регуляторами та серво-клапанами. А потім — протестуємо все в PLCSIM.

Структура шаблону проєкту

Зміст проєкту:

Таблиця 3.6. - Блоки

Тип	Назва	Призначення
OB	OB1	Головний цикл
OB	OB35	Циклічний таймер (1 мс)
FB	FB_PID_Vert	ПІД-регулятор вертикальної кліті
FB	FB_PID_Horiz	ПІД-регулятор горизонтальної кліті
DB	DB_PID_Vert	Дані вертикального регулятора
DB	DB_PID_Horiz	Дані горизонтального регулятора

Апаратна конфігурація

- CPU 1507 (наприклад, 1515-2 PN)
- SM 1231 AI — аналоговий ввід (для лазерних датчиків)
- SM 1232 AO — аналоговий вивід (для серво-клапанів)
- Profinet Device (опціонально — ODAC або USYS)

FB_PID логіка (в LAD або STL)

- Вхід: SetPoint, Measured, Kp, Ki, Kd

- Вихід: PID_Out
- Статичні змінні: Error, PrevError, I_Accum

Реалізація — як у попередньому STL-кодi, з обмеженням виходу ± 10 В

Тестування в PLCSIM

Крок 1: Створення симуляції

1. Відкриємо TIA Portal
2. Створим новий проект або відкрий шаблон
3. У Hardware Configuration виберемо CPU 1515-2 PN
4. Додамо AI/AO модулі (можна віртуальні)
5. Увімкнемо PLCSIM (встановлений окремо)

Крок 2: Завантаження в симулятор

1. У TIA Portal натисни "Start Simulation"
2. Виберемо PLCSIM як цільовий контролер
3. Завантажимо проект у симулятор (Ctrl+L)
4. У PLCSIM — натисни RUN

Крок 3: Імітація сигналів

- Введем значення в AIW0 (наприклад, REAL := 0.95)
- Задай SetPoint := 1.00
- Перевіримо, як PID_Out змінюється
- Вивід PID_Out можна направити на QW0 (AO)

Крок 4: Візуалізація (опціонально)

- Створимо HMI screen у WinCC
- Додаємо поля для SetPoint, Measured, PID_Out
- Підключим до відповідних змінних

Структура створення XML-шаблону:

- Зробити структурований список блоків і логіки
- Вручну створити проект у TIA Portal

Створити функціональний блок (FB), блок даних (DB) і HMI-екран для моніторингу ПІД-регулятора у TIA Portal.

Створення FB (функціонального блоку) для ПІД-регулятора

Крок 1: Створити FB

1. Відкрий свій проект у TIA Portal.
2. У дереві проекту (Project Tree) клацни правою кнопкою на "Program blocks" → "Add new block".

3. Виберемо:

- Тип: Function block (FB)
- Назва: FB_PID_Vert (для вертикальної кліті)
- Мова: LAD або STL

Крок 2: Додати інтерфейсні змінні

У вкладці Interface додати ланні

Таблиця 3.7 - Склад вкладки Interface

<i>Inputs:</i>		
Ім'я	Тип	Коментар
SetPoint	Real	Задане значення
Measured	Real	Виміряне значення
Kp	Real	Пропорційний коефіцієнт
Ki	Real	Інтегральний коефіцієнт
Kd	Real	Диференціальний коефіцієнт
<i>Outputs:</i>		
PID_Out	Real	Вихідний сигнал
<i>Static:</i>		

<i>Inputs:</i>		
Ім'я	Тип	Коментар
Error	Real	Поточна помилка
PrevError	Real	Попередня помилка
I_Accum	Real	Накопичена інтегральна частина

Створення DB (блоку даних)

Крок 1: Створим DB

1. Клацни правою кнопкою на "Program blocks" → "Add new block".
2. Виберемо:
 - Тип: Instance DB
 - Назва: DB_PID_Vert
 - FB: виберемо щойно створений FB_PID_Vert

Цей DB буде зберігати всі змінні, які FB використовує під час виконання.

Виклик FB у OB35 (циклічний таймер)

1. Додай OB35: Add new block → Organization block (OB) → вибери OB35.

2. У тілі OB35 вставимо виклик:

CALL FB_PID_Vert, DB_PID_Vert

SetPoint := 1.00

Measured := REAL_FROM_WORD(AIW0)

Kp := 1.5

Ki := 0.01

Kd := 0.1

PID_Out := PID_Vert_Output

AIW0 — адреса аналогового входу з лазерного датчика. PID_Vert_Output — змінна, яку можна передати на АО.

3.3. Візуалізація процесів з адаптацією до збурень

Створення HMI-екрану для моніторингу

Крок 1: Додати HMI

1. У дереві проекту клацнімо правою кнопкою на "Devices & Networks"
→ Add new device.

2. Виберемо HMI Basic Panel або Comfort Panel (наприклад, KTP700).

3. Підключим HMI до CPU через Profinet.

Крок 2: Створити екран

1. У HMI → Screens → Add new screen → Назви: PID Monitor.

2. Додаємо елементи:

- IO Field для SetPoint
- IO Field для Measured
- IO Field для PID_Out
- Slider або IO Field для Kp, Ki, Kd

Крок 3: Прив'язати змінні

1. Для кожного елемента → Properties → Process → вибери змінну з PLC.

2. Наприклад:

- SetPoint → DB_PID_Vert.SetPoint
- Measured → DB_PID_Vert.Measured
- PID_Out → DB_PID_Vert.PID_Out

Тестування

1. Запусти PLCSIM → завантаж програму → переведи CPU в RUN.

2. Запусти HMI Runtime (або симулятор HMI).

3. Введи значення SetPoint, змінюй Measured, спостерігай за PID_Out.

Абсолютно слушне питання — зміна температури та хімічного складу сталі справді суттєво впливає на роботу регуляторів тиску, особливо в системах автоматичного керування прокатними клітьми. Зробимо аналіз, як саме ці фактори впливають на алгоритми та налаштування ПД-регуляторів.

Вплив температури заготовки

- Зміна пластичності: при вищій температурі сталь легше деформується, що зменшує необхідний тиск на валки.
- Зсув точки оптимального тиску: регулятор має адаптуватися до меншої сили натискання при високій температурі.
- Інерційність процесу: при охолодженні заготовки змінюється її реакція на деформацію, що потребує корекції коефіцієнтів K_p , K_i , K_d .

Наприклад, при зниженні температури на 100 °C може знадобитися збільшення K_p на 10–20% для компенсації жорсткості матеріалу.

Вплив хімічного складу сталі

1. Вміст вуглецю, марганцю, кремнію змінює механічні властивості:
 - Високовуглецеві сталі — твердіші, потребують більшого тиску.
 - Низьколеговані — м'якші, але чутливіші до температури.
2. Зміна структури при охолодженні: утворення фериту, перліту, мартенситу — впливає на реакцію матеріалу на тиск.

Дослідження показують, що сталі з вмістом $C \geq 0,5\%$, $Mn \geq 0,75\%$, $Si \geq 0,45\%$ мають пригнічення δ -фериту та потребують точнішого керування тиском.

Адаптування алгоритми регуляторів

Динамічне переналаштування ПД-регулятора

- Введення таблиці корекції коефіцієнтів залежно від температури та марки сталі.
- Використання модуля Recipe Management у TIA Portal для автоматичного вибору параметрів.

- Додавання датчика температури заготовки (наприклад, IR-пірометра) → сигнал на PLC → корекція K_p , K_i , K_d .

Приклад логіки:

IF Температура < 950 THEN

$K_p := 2.0$

$K_i := 0.02$

$K_d := 0.2$

ELSE

$K_p := 1.5$

$K_i := 0.01$

$K_d := 0.1$

END_IF

Таблиця 3.8 - Рекомендації для реалізації

Компонент	Пропозиція
Температурний датчик	Optris CTlaser або Raytek MI3
Recipe Management	Створити DB з наборами параметрів для різних марок сталі
PLC логіка	ФВ з адаптивним ПІД-регулятором, що враховує температуру та склад
HMI	Вибір марки сталі, відображення температури, тренди тиску

Побудуємо адаптивний ПІД-регулятор у TIA Portal, який враховує температуру та хімічний склад сталі.

Структура рішення

1. Вхідні параметри

- Температура заготовки — з IR-пірометра або симуляції
- Марка сталі — вибір з HMI (наприклад, "C45", "S235", "X70")
- Поточний тиск — з датчика або розрахунку

2. Таблиця параметрів ПІД-регулятора

Створимо DB_Rescipe_PID, де зберігатимуться коефіцієнти для кожної марки сталі та температурного діапазону:

Таблиця 3.9 - Параметри ПІД-регулятора

Марка сталі	Темп. діапазон	Kp	Ki	Kd
C45	< 950°C	2.0	0.02	0.2
C45	≥ 950°C	1.5	0.01	0.1
S235	< 950°C	1.8	0.015	0.15
S235	≥ 950°C	1.3	0.008	0.08
X70	< 950°C	2.2	0.025	0.25
X70	≥ 950°C	1.6	0.012	0.12

3. FB: Адаптивний ПІД-регулятор

У Function Block FB_PID_Adaptive реалізуємо:

- Вибір коефіцієнтів з DB_Rescipe_PID на основі марки сталі та температури
- Класичний ПІД-алгоритм з обмеженням виходу
- Можливість ручного налаштування з HMI

CASE SteelGrade OF

"C45":

IF Temp < 950 THEN

Kp := 2.0; Ki := 0.02; Kd := 0.2;

ELSE

Kp := 1.5; Ki := 0.01; Kd := 0.1;

```

    END_IF;
    "S235":
    ...
END_CASE;

Error := Setpoint - Pressure;
Integral := Integral + Error * CycleTime;
Derivative := (Error - PrevError) / CycleTime;
Output := Kp * Error + Ki * Integral + Kd * Derivative;
PrevError := Error;

```

4. HMI: Візуалізація та керування

- Вибір марки сталі (Dropdown)
- Відображення температури та тиску
- Графік тренду тиску
- Кнопка "Авто/Ручне" керування ПД
- Поля для ручного введення Kp, Ki, Kd

5. Тестування в PLCSIM

- Симуляція температури: змінювати значення вручну або через скрипт
- Перевірка реакції регулятора на зміну марки сталі
- Аналіз стабільності та перерегулювання

Шаблон для реалізації адаптивного ПД-регулятора в TIA Portal, який враховує температуру та хімічний склад сталі:

1. Шаблон Data Block (DB_Recipe_PID) з параметрами для різних сталей

2. Function Block (FB_PID_Adaptive) з логікою вибору коефіцієнтів і ПІД-алгоритмом

3. Рекомендації для інтеграції з HMI

DB: DB_Recipe_PID

STRUCT

SteelGrades : ARRAY[1..3] OF STRING := ['C45', 'S235', 'X70'];

TempThreshold : REAL := 950.0; // °C

Kp_Low : ARRAY[1..3] OF REAL := [2.0, 1.8, 2.2];

Ki_Low : ARRAY[1..3] OF REAL := [0.02, 0.015, 0.025];

Kd_Low : ARRAY[1..3] OF REAL := [0.2, 0.15, 0.25];

Kp_High : ARRAY[1..3] OF REAL := [1.5, 1.3, 1.6];

Ki_High : ARRAY[1..3] OF REAL := [0.01, 0.008, 0.012];

Kd_High : ARRAY[1..3] OF REAL := [0.1, 0.08, 0.12];

END_STRUCT

Цей DB дозволяє легко масштабувати — просто додати треба нову марку сталі в масив і відповідні коефіцієнти.

FB: FB_PID_Adaptive

VAR_INPUT

Setpoint : REAL;

ProcessValue : REAL;

Temp : REAL;

SteelGrade : STRING;

CycleTime : REAL;

END_VAR

VAR_OUTPUT

```

ControlOutput : REAL;
END_VAR

```

```

VAR
    Error      : REAL;
    PrevError   : REAL;
    Integral    : REAL;
    Derivative  : REAL;
    Kp          : REAL;
    Ki          : REAL;
    Kd          : REAL;
    GradeIndex  : INT;
END_VAR

```

```

// Знаходимо індекс марки сталі
FOR GradeIndex := 1 TO 3 DO
    IF SteelGrade = DB_Recipe_PID.SteelGrades[GradeIndex] THEN
        EXIT;
    END_IF;
END_FOR;

```

```

// Вибір коефіцієнтів залежно від температури
IF Temp < DB_Recipe_PID.TempThreshold THEN
    Kp := DB_Recipe_PID.Kp_Low[GradeIndex];
    Ki := DB_Recipe_PID.Ki_Low[GradeIndex];
    Kd := DB_Recipe_PID.Kd_Low[GradeIndex];
ELSE
    Kp := DB_Recipe_PID.Kp_High[GradeIndex];
    Ki := DB_Recipe_PID.Ki_High[GradeIndex];

```

```
Kd := DB_Recipe_PID.Kd_High[GradeIndex];
END_IF;
```

```
// ПІД-алгоритм
```

```
Error:= Setpoint - ProcessValue;
Integral := Integral + Error * CycleTime;
Derivative := (Error - PrevError) / CycleTime;
```

```
ControlOutput := Kp * Error + Ki * Integral + Kd * Derivative;
```

```
PrevError := Error;
```

HMI інтеграція

- Dropdown для вибору марки сталі → SteelGrade
- Поле для введення температури → Temp
- Відображення Setpoint, ProcessValue, ControlOutput
- Графік тренду тиску
- Кнопка "Ручне налаштування" → дозволити змінювати Kp, Ki, Kd

вручну

Розробимо готовий набір для симуляції адаптивного ПІД-регулятора в TIA Portal + PLCSIM, включаючи HMI інтеграцію. Розбив усе на чіткі блоки, щоб одразу вставити в проєкт і протестувати.

1. DB: DB_Recipe_PID — параметри для адаптації

STRUCT

```
SteelGrades : ARRAY[1..3] OF STRING := ['C45', 'S235', 'X70'];
```

```
TempThreshold : REAL := 950.0;
```

```
Kp_Low : ARRAY[1..3] OF REAL := [2.0, 1.8, 2.2];
```

```
Ki_Low : ARRAY[1..3] OF REAL := [0.02, 0.015, 0.025];
```

```
Kd_Low : ARRAY[1..3] OF REAL := [0.2, 0.15, 0.25];
```

```

Kp_High : ARRAY[1..3] OF REAL := [1.5, 1.3, 1.6];
Ki_High : ARRAY[1..3] OF REAL := [0.01, 0.008, 0.012];
Kd_High : ARRAY[1..3] OF REAL := [0.1, 0.08, 0.12];
END_STRUCT

```

Створюємо як Global DB, доступний для FB. Назви марок сталі мають відповідати введенням у HMI.

2. FB: FB_PID_Adaptive — логіка регулятора

```

VAR_INPUT
    Setpoint    : REAL;
    ProcessValue: REAL;
    Temp: REAL;
    SteelGrade: STRING;
    CycleTime: REAL;
END_VAR

```

```

VAR_OUTPUT
    ControlOutput: REAL;
END_VAR

```

```

VAR
    Error: REAL;
    PrevError: REAL;
    Integral: REAL;
    Derivative: REAL;
    Kp: REAL;
    Ki: REAL;
    Kd: REAL;
    GradeIndex: INT;
END_VAR

```

```
// Визначення індексу марки сталі
GradeIndex:= 0;
FOR GradeIndex:= 1 TO 3 DO
    IF SteelGrade = DB_Recipe_PID.SteelGrades[GradeIndex] THEN
        EXIT;
    END_IF;
END_FOR;
```

```
// Вибір коефіцієнтів
IF Temp < DB_Recipe_PID.TempThreshold THEN
    Kp:= DB_Recipe_PID.Kp_Low[GradeIndex];
    Ki:= DB_Recipe_PID.Ki_Low[GradeIndex];
    Kd:= DB_Recipe_PID.Kd_Low[GradeIndex];
ELSE
    Kp:= DB_Recipe_PID.Kp_High[GradeIndex];
    Ki:= DB_Recipe_PID.Ki_High[GradeIndex];
    Kd:= DB_Recipe_PID.Kd_High[GradeIndex];
END_IF;
```

```
// ПД-алгоритм
Error := Setpoint - ProcessValue;
Integral := Integral + Error * CycleTime;
Derivative := (Error - PrevError) / CycleTime;

ControlOutput := Kp * Error + Ki * Integral + Kd * Derivative;
PrevError := Error;
```

3. HMI:

Таблиця 3.10 - Елементи для візуалізації

Елемент	Тип	Прив'язка до змінної
Dropdown марки сталі	ComboBox	SteelGrade (STRING)
Температура	Input Field	Temp (REAL)
Заданий тиск	Input Field	Setpoint (REAL)
Поточний тиск	Output Field	ProcessValue (REAL)
Вихід регулятора	Output Field	ControlOutput (REAL)
Графік тренду	Trend View	ControlOutput, ProcessValue

Можна додавати кнопку "Ручне налаштування" для введення $K_p/K_i/K_d$ вручну — просто створити альтернативний режим у FB.

4. Симуляція в PLCSIM

- Створи симулятор температури: $Temp := 900 + \sin(t) * 100$
- Змініть SteelGrade вручну через HMI
- Перевір реакцію ControlOutput на зміну температури та марки сталі
- Додай тренди для аналізу стабільності

Створюємо логіку перемикання між автоматичним і ручним режимом ПІД-регулятора, або додати обмеження на вихід.

Доповнимо цей адаптивний ПІД-регулятор двома важливими функціями:

1. Перемикання між автоматичним і ручним режимом
2. Обмеження виходу регулятора (мінімум/максимум)

1. Перемикання режиму: Авто / Ручне

Додамо до FB FB_PID_Adaptive:

VAR_INPUT

ManualMode : BOOL; // TRUE = ручне керування


```
ManualOutput : REAL;    // Значення виходу в ручному режимі
END_VAR
```

Логіка перемикавання:

```
IF ManualMode THEN
```

```
    ControlOutput := ManualOutput;
```

```
ELSE
```

```
    // ПД-алгоритм
```

```
    Error := Setpoint - ProcessValue;
```

```
    Integral := Integral + Error * CycleTime;
```

```
    Derivative := (Error - PrevError) / CycleTime;
```

```
    ControlOutput := Kp * Error + Ki * Integral + Kd * Derivative;
```

```
    PrevError := Error;
```

```
END_IF;
```

У HMI додай перемикач "Авто/Ручне" та поле для введення ManualOutput.

2. Обмеження виходу регулятора

Додамо до FB:

```
VAR_INPUT
```

```
    OutputMin : REAL := 0.0;    // Мінімальне значення
```

```
    OutputMax : REAL := 100.0; // Максимальне значення
```

```
END_VAR
```

Логіка обмеження:

```
// Після обчислення ControlOutput
```

```
IF ControlOutput > OutputMax THEN
```

```
    ControlOutput := OutputMax;
```

```
ELSIF ControlOutput < OutputMin THEN
```

```
    ControlOutput := OutputMin;
```

```
END_IF;
```

Це захистить систему від перенавантаження або некоректного керування.

НМІ інтеграція

Таблиця 3.11. - НМІ інтеграція

Елемент	Тип	Прив'язка до змінної
Перемикач режиму	Toggle	ManualMode (BOOL)
Ручне значення виходу	Input Field	ManualOutput (REAL)
Мін/Макс вихід	Input Field	OutputMin, OutputMax

Створимо шаблон НМІ-екрану для тестування адаптивного ПД-регулятора з перемиканням режимів і обмеженням виходу.

Структура НМІ-екрану: «Регулятор тиску»

1. Вибір марки сталі

- Елемент: ComboBox
- Змінна: SteelGrade (STRING)
- Опції: "C45", "S235", "X70"
- Примітка: зв'язати з PLC через Tag, що передається у FB

2. Введення температури

- Елемент: Numeric Input
- Змінна: Temp (REAL)
- Діапазон: 800–1200 °C
- Опис: Температура заготовки з пірометра або симуляції

3. Заданий тиск та поточне значення

Таблиця 3.12 - Заданий тиск та поточне значення

Назва	Тип	Змінна	Примітка
Заданий тиск	Numeric Input	Setpoint	Встановлюється вручну

Назва	Тип	Змінна	Примітка
Поточний тиск	Numeric Output	ProcessValue	Зчитується з датчика

4. Перемикач режиму: Авто / Ручне

- Елемент: Toggle Button
- Змінна: ManualMode (BOOL)
- Текст: "Авто" / "Ручне"
- Примітка: при TRUE активується ручне керування

5. Ручне керування виходом

- Елемент: Numeric Input
- Змінна: ManualOutput (REAL)
- Умова: активне лише при ManualMode = TRUE

Таблиця 3.13 - Обмеження виходу

Назва	Тип	Змінна	Діапазон
Мін. вихід	Numeric Input	OutputMin	0–100
Макс. вихід	Numeric Input	OutputMax	0–100

7. Вихід регулятора

- Елемент: Numeric Output
- Змінна: ControlOutput (REAL)
- Опис: Значення, що йде на виконавчий механізм

8. Графік тренду

- Елемент: Trend View
- Змінні: ControlOutput, ProcessValue

- Опис: Візуалізація стабільності регулятора

Рекомендації для тестування в PLCSIM

- Створити симулятор температури:
- $Temp := 900 + SIN(TIME()/1000.0) * 100;$
- Змінюємо SteelGrade вручну через HMI
- Перевірю реакцію ControlOutput на зміну температури та режиму
- Встановим $OutputMin := 10, OutputMax := 90$ для перевірки обмежень

Шаблон HMI-екрану: «Регулятор тиску»

Розміщення елементів (рекомендована структура)

Верхній блок: Вхідні параметри

- ComboBox: SteelGrade
- Numeric Input: Temp
- Numeric Input: Setpoint
- Numeric Output: ProcessValue

Центральний блок: Режими керування

- Toggle Button: ManualMode (текст: "Авто"/"Ручне")
- Numeric Input: ManualOutput (активний лише при ManualMode = TRUE)

- Numeric Input: OutputMin, OutputMax

Нижній блок: Вихід та тренди

1. Numeric Output: ControlOutput
 2. Trend View: ControlOutput, ProcessValue
- Оновлення: кожні 500 мс
 - Діапазон: 0–100
 - Колір: синій для ControlOutput, зелений для ProcessValue

Інструкції для тестування

- Створи симулятор температури в PLC:
 - $\text{Temp} := 900.0 + \sin(\text{TIME}()/1000.0) * 100.0;$
 - Змінюй SteelGrade через ComboBox → перевір адаптацію коефіцієнтів
 - Встанови ManualMode := TRUE → перевір ручне керування
 - Введи OutputMin := 10, OutputMax := 90 → перевір обмеження
 - Перевір стабільність ControlOutput на тренді при зміні температур
- Структура Tags для HMI та шаблон екрану в WinCC (TIA Portal), який дозволить швидко протестувати адаптивний ПІД-регулятор з усіма режимами.

Таблиця 3.14 - Структура Tags для HMI

Tag Name	Data Type	PLC Address / Interface	Опис
SteelGrade	String	PLC → FB Input	Марка сталі (C45, S235, X70)
Temp	Real	PLC → FB Input	Температура заготовки
Setpoint	Real	PLC → FB Input	Заданий тиск
ProcessValue	Real	PLC → FB Input	Поточний тиск
ControlOutput	Real	PLC → FB Output	Вихід регулятора
ManualMode	Bool	PLC → FB Input	Перемикач режиму
ManualOutput	Real	PLC → FB Input	Значення виходу в ручному режимі

Tag Name	Data Type	PLC Address / Interface	Опис
OutputMin	Real	PLC → FB Input	Мінімальне значення виходу
OutputMax	Real	PLC → FB Input	Максимальне значення виходу

Усі теги прив'язуємо до відповідних змінних у PLC, через структуру або інтерфейс DB.

Шаблон HMI-екрану: «Регулятор тиску»

Розміщення елементів (рекомендована структура)

Верхній блок: Вхідні параметри

- ComboBox: SteelGrade
- Numeric Input: Temp
- Numeric Input: Setpoint
- Numeric Output: ProcessValue

Центральний блок: Режими керування

- Toggle Button: ManualMode (текст: "Авто"/"Ручне")
- Numeric Input: ManualOutput (активний лише при ManualMode = TRUE)
- Numeric Input: OutputMin, OutputMax

Нижній блок: Вихід та тренди

1. Numeric Output: ControlOutput
 2. Trend View: ControlOutput, ProcessValue
- Оновлення: кожні 500 мс
 - Діапазон: 0–100
 - Колір: синій для ControlOutput, зелений для ProcessValue

Поради для тестування

- Створи симулятор температури в PLC:
- $Temp := 900.0 + SIN(TIME()/1000.0) * 100.0;$
- Змінюй SteelGrade через ComboBox → перевір адаптацію коефіцієнтів
- Встанови ManualMode := TRUE → перевір ручне керування
- Введи OutputMin := 10, OutputMax := 90 → перевір обмеження
- Перевір стабільність ControlOutput на тренді при зміні температури

Створимо повну структуру PLC Tags у TIA Portal та шаблон HMI-екрану у WinCC Comfort/Advanced. Це буде максимально практично для інтеграції в проект.

Структура PLC Tags у TIA Portal

Створимо структуру STRUCT_PID_Control у Global DB, щоб зручно передавати всі параметри між PLC і HMI:

STRUCT

```

SteelGrade  : STRING[10]; // Марка сталі
Temp        : REAL;      // Температура заготовки
Setpoint     : REAL;      // Заданий тиск
ProcessValue : REAL;      // Поточний тиск
ControlOutput : REAL;     // Вихід регулятора

ManualMode   : BOOL;      // TRUE = ручне керування
ManualOutput : REAL;      // Значення виходу вручну

OutputMin    : REAL;      // Мінімальне значення виходу
OutputMax    : REAL;      // Максимальне значення виходу

```

END_STRUCT

Назви змінних узгоджені з FB FB_PID_Adaptive. Структура дозволяє легко передавати дані між блоками та HMI.

Шаблон HMI-екрану у WinCC Comfort/Advanced

Екран: «Регулятор тиску»

Група «Параметри заготовки»

1. ComboBox: SteelGrade
 - Джерело: STRUCT_PID_Control.SteelGrade
 - Опції: "C45", "S235", "X70"
2. Numeric Input: Temp
 - Джерело: STRUCT_PID_Control.Temp
 - Діапазон: 800–1200 °C

Група «Тиск»

1. Numeric Input: Setpoint
 - Джерело: STRUCT_PID_Control.Setpoint
2. Numeric Output: ProcessValue
 - Джерело: STRUCT_PID_Control.ProcessValue

Група «Режим керування»

1. Toggle Button: ManualMode
 - Джерело: STRUCT_PID_Control.ManualMode
 - Текст: "Авто"/"Ручне"
2. Numeric Input: ManualOutput
 - Джерело: STRUCT_PID_Control.ManualOutput
 - Умова видимості: ManualMode = TRUE

Група «Обмеження виходу»

1. Numeric Input: OutputMin
 - Джерело: STRUCT_PID_Control.OutputMin
2. Numeric Input: OutputMax

- Джерело: STRUCT_PID_Control.OutputMax

Група «Вихід регулятора»

1. Numeric Output: ControlOutput

- Джерело: STRUCT_PID_Control.ControlOutput

Графік тренду

1. Trend View:

- Канали: ControlOutput, ProcessValue

- Оновлення: кожні 500 мс

- Діапазон: 0–100

- Колір: синій (Control), зелений (Process)

Тестування

- У PLCSIM змінюй Temp та SteelGrade → перевір адаптацію коефіцієнтів

- Активуй ManualMode → перевір ручне керування

- Встанови OutputMin := 10, OutputMax := 90 → перевір обмеження

- Аналізуй тренди для стабільності та перерегулювання

Створюємо макет HMI-екрану для мобільної панелі (наприклад, Siemens KTP700) та додати функцію Recipe Management для збереження налаштувань регулятора. Це дозволить оператору швидко перемикатися між типами сталі та температурними режимами без ручного введення кожного параметра.

Макет HMI для мобільної панелі (KTP700)

Екран: «ПД-регулятор тиску»

Таблиця 3.15 - Розміщення елементів (адаптовано для 7" дисплея)

Зона	Елементи
Верхня частина	Назва екрану, кнопка «Головне меню»
Ліва колонка	Права колонка
ComboBox: SteelGrade	Numeric Output: ProcessValue
Numeric Input: Temp	Numeric Output: ControlOutput

Зона	Елементи
Numeric Input: Setpoint	Numeric Input: OutputMin, OutputMax
Toggle: ManualMode	Кнопка «Зберегти рецепт»
Numeric Input: ManualOutput (активний при ручному режимі)	Кнопка «Завантажити рецепт»
Нижня частина	Trend View: ControlOutput, ProcessValue

Всі елементи мають бути прив'язані до структури STRUCT_PID_Control у PLC.

Recipe Management: збереження налаштувань

Створення Recipe в WinCC

1. Створити Recipe View:
 - Назва: PID_Recipes
 - Структура: SteelGrade, Temp, Setpoint, OutputMin, OutputMax
2. Додати Recipe Control:
 - Кнопки: «Зберегти», «Завантажити», «Створити новий»
 - Зв'язати з PLC DB: STRUCT_PID_Control
3. Налаштувати Recipe Storage:
 - Локальне збереження на HMI
 - Можливість експорту через USB (опціонально)

Таблиця 3.16 - Приклад рецепту

Назва рецепту	SteelGrade	Temp	Setpoint	OutputMin	OutputMax
C45_950	C45	950	75.0	10.0	90.0
S235_900	S235	900	65.0	15.0	85.0

Оператор може швидко перемикатися між рецептами залежно від типу заготовки

Тестування Recipe Management

- Створи 2–3 рецепти для різних сталей
- Завантажуй їх через HMI → перевір, чи правильно оновлюються параметри
- Перевір, чи адаптується ПІД-регулятор до нових умов без перезапуску FB

Створюємо шаблон Recipe DB у PLC або додати функцію автоматичного вибору рецепту за кодом заготовки.

Створюємо макет HMI-екрану для мобільної панелі (наприклад, Siemens KTP700) та додаємо функцію Recipe Management для збереження налаштувань регулятора. Це дозволить оператору швидко перемикатися між типами сталі та температурними режимами без ручного введення кожного параметра.

Макет HMI для мобільної панелі (KTP700)

Екран: «ПІД-регулятор тиску»

Таблиця 3.17 - Розміщення елементів (адаптовано для 7" дисплея)

Зона	Елементи
Верхня частина	Назва екрану, кнопка «Головне меню»
Ліва колонка	Права колонка
ComboBox: SteelGrade	Numeric Output: ProcessValue
Numeric Input: Temp	Numeric Output: ControlOutput
Numeric Input: Setpoint	Numeric Input: OutputMin, OutputMax
Toggle: ManualMode	Кнопка «Зберегти рецепт»

Зона	Елементи
Numeric Input: ManualOutput (<i>активний при ручному режимі</i>)	Кнопка «Завантажити рецепт»
Нижня частина	Trend View: ControlOutput, ProcessValue

Всі елементи мають бути прив'язані до структури STRUCT_PID_Control у PLC.

Recipe Management: збереження налаштувань

Створення Recipe в WinCC

1. Створити Recipe View:
 - Назва: PID_Recipes
 - Структура: SteelGrade, Temp, Setpoint, OutputMin, OutputMax
2. Додати Recipe Control:
 - Кнопки: «Зберегти», «Завантажити», «Створити новий»
 - Зв'язати з PLC DB: STRUCT_PID_Control
3. Налаштувати Recipe Storage:
 - Локальне збереження на HMI
 - Можливість експорту через USB (опціонально)

Таблиця 3.18 - Приклад рецепту

Назва рецепту	SteelGrade	Temp	Setpoint	OutputMin	OutputMax
C45_950	C45	950	75.0	10.0	90.0
S235_900	S235	900	65.0	15.0	85.0

Оператор може швидко перемикатися між рецептами залежно від типу заготовки.

Враховуючи розроблені вище положення, проводимо налаштування проекту

1) Створення проекту Rolling_Mill_Control

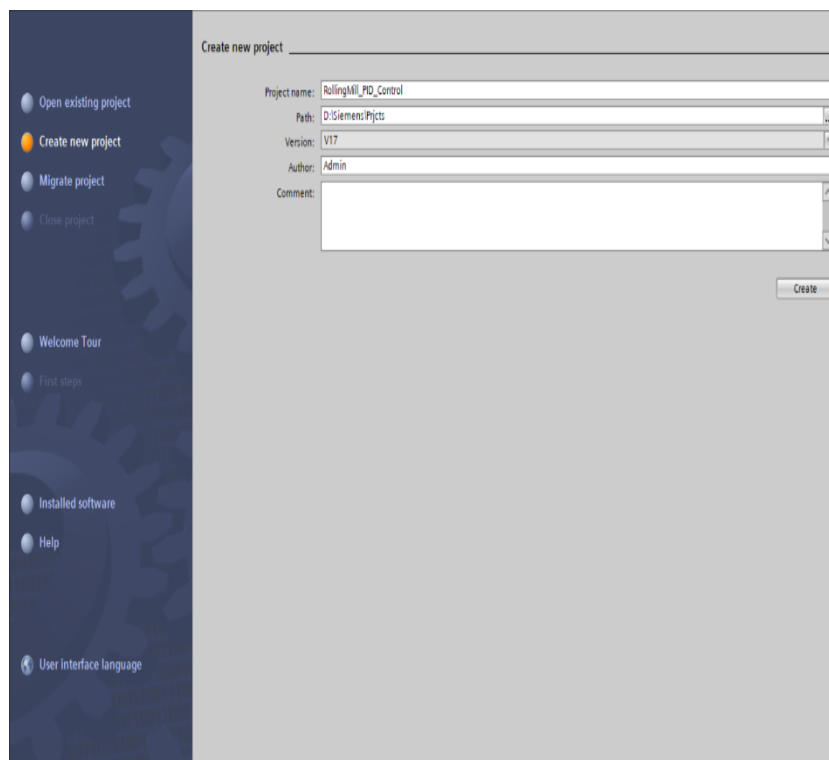


Рисунок 3.3 – Початок проекту

2) Вибір CPU та апаратної частини

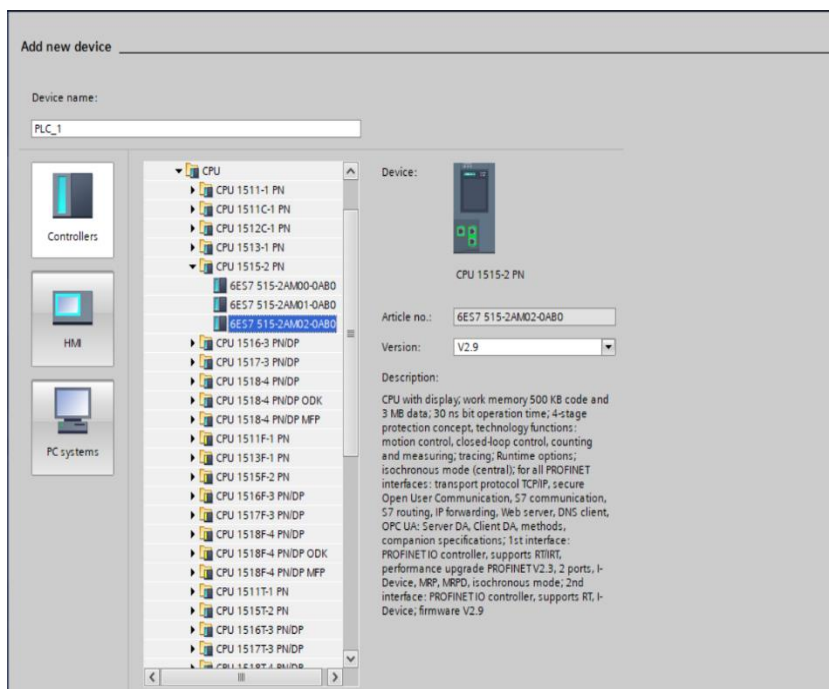


Рисунок 3.4 – Обрано контролер SIMATIC S7-1500 з CPU 1515-2 PN (6ES7 515-2AM02-0AB0)

3) Вибір HMI

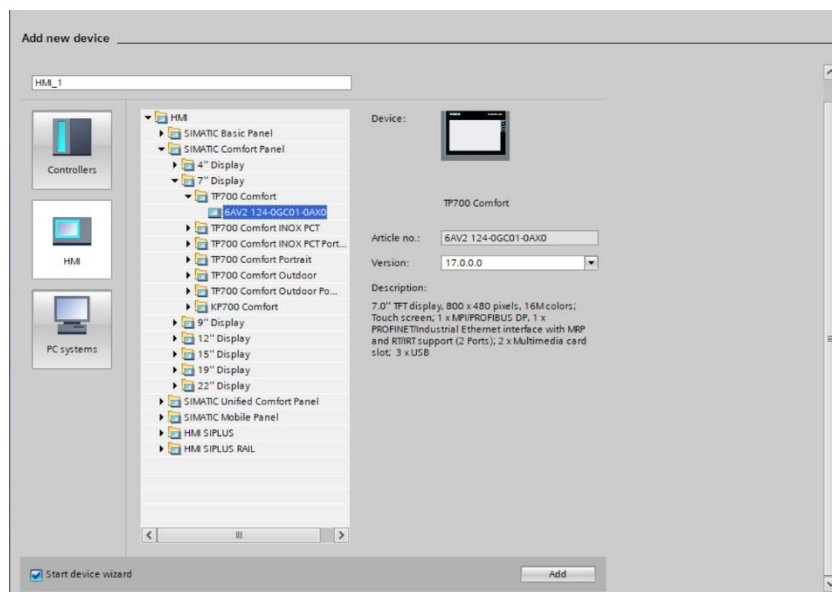


Рисунок 3.5 - Обрано панель TP700 Comfort Panel (6AV2 124-0GC01-0AX0)

4) Створення Data Blocks (DB)

DB_Recipe_PID										
	Name	a type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervision	Comment
1	Static									
2	TempThreshold	il	950.0	☐	☒	☒	☒	☐		Поріг температури °C
3	Kp_Low_C45	il	2.0	☐	☒	☒	☒	☐		Кр для C45 < 950°C
4	Ki_Low_C45	il	0.02	☐	☒	☒	☒	☐		Кі для C45 < 950°C
5	Kd_Low_C45	il	0.2	☐	☒	☒	☒	☐		Кд для C45 < 950°C
6	Kp_High_C45	il	1.5	☐	☒	☒	☒	☐		Кр для C45 ≥ 950°C
7	Ki_High_C45	il	0.01	☐	☒	☒	☒	☐		Кі для C45 ≥ 950°C
8	Kd_High_C45	il	0.1	☐	☒	☒	☒	☐		Кд для C45 ≥ 950°C
9	Kp_Low_S235	il	1.8	☐	☒	☒	☒	☐		Кр для S235 < 950°C
10	Ki_Low_S235	il	0.015	☐	☒	☒	☒	☐		Кі для S235 < 950°C
11	Kd_Low_S235	il	0.15	☐	☒	☒	☒	☐		Кд для S235 < 950°C
12	Kp_High_S235	il	1.3	☐	☒	☒	☒	☐		Кр для S235 ≥ 950°C
13	Ki_High_S235	il	0.008	☐	☒	☒	☒	☐		Кі для S235 ≥ 950°C
14	Kd_High_S235	il	0.08	☐	☒	☒	☒	☐		Кд для S235 ≥ 950°C

Рисунок 3.6 - DB для параметрів адаптації (DB1)

DB_Process										
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervision	Comment
1	Static									
2	Setpoint	Real	5.5	☐	☒	☒	☒	☐		Заданий діаметр мм
3	ProcessValue	Real	5.5	☐	☒	☒	☒	☐		Вимірний діаметр мм
4	Temperature	Real	950.0	☐	☒	☒	☒	☐		Температура °C
5	SteelGradeIndex	Int	1	☐	☒	☒	☒	☐		1=C45, 2=S235
6	ControlOutput	Real	0.0	☐	☒	☒	☒	☐		Вихід регулятора
7	Error	Real	0.0	☐	☒	☒	☒	☐		Поточна похибка
8	SimulationMode	Bool	TRUE	☐	☒	☒	☒	☐		Режим симуляції
9	ManualMode	Bool	FALSE	☐	☒	☒	☒	☐		Ручний режим
10	ManualOutput	Real	50.0	☐	☒	☒	☒	☐		Ручне значення виходу
11	OutputMin	Real	0.0	☐	☒	☒	☒	☐		Мін. обмеження
12	OutputMax	Real	100.0	☐	☒	☒	☒	☐		Макс. обмеження

Рисунок 3.7 - DB для параметрів процесу (DB2)

DB_Simulator										
	Name	Data type	Start value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervision	Comment
1	Static									
2	NominalDiameter	Real	5.5	☐	☒	☒	☒	☐		Базовий діаметр мм
3	Amplitude	Real	0.2	☐	☒	☒	☒	☐		Амплітуда коливань мм
4	NoiseLevel	Real	0.05	☐	☒	☒	☒	☐		Рівень шуму мм
5	TempNominal	Real	950.0	☐	☒	☒	☒	☐		Базова температура
6	TempAmplitude	Real	50.0	☐	☒	☒	☒	☐		Амплітуда температури
7	TimeCounter	Real	0.0	☐	☒	☒	☒	☐		Лічильник часу
8	Seed	DInt	12345	☐	☒	☒	☒	☐		Зерно генератора
9	AutoChangeGrade	Bool	TRUE	☐	☒	☒	☒	☐		Авто-зміна марки сталі

Рисунок 3.8 - DB для параметрів симулятора (DB3)

5) Створення Function Blocks (FB)

FB_Simulator										
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Writa...	Visible in ...	Setpoint	Supervision	Comment
2	Enable	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
3	NominalDiameter	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
4	Amplitude	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
5	NoiseLevel	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
6	TempNominal	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
7	TempAmplitude	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
8	AutoChangeGrade	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
9	<Add new>									
10	Output									
11	SimDiameter	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
12	SimTemperature	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
13	SimGradeIndex	Int	0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
14	<Add new>									
15	InOut									
16	<Add new>									
17	Static									
18	Seed	DInt	12345	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
19	TimeCounter	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
20	Noise	Real	0.0	Non-ret...	☒	☒	☒	☐		
21	GradeTimer	Int	0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		

Рисунок 3.9 - FB для симулятора (FB1)

Таблиця 3.19 – Коди блоків симуляції

1. <pre> IF #Enable THEN // Інкремент часу (припускаємо виклик кожні 100 мс) #TimeCounter := #TimeCounter + 0.1; // Генератор псевдовипадкових чисел #Seed := (#Seed * 1103515245 + 12345) MOD 2147483647; #RandomVal := DINT_TO_REAL(ABS(#Seed) MOD 10000) / 10000.0; #Noise := (#RandomVal - 0.5) * 2.0 * #NoiseLevel; // Симуляція діаметра: синусоїда + шум #SimDiameter := #NominalDiameter + #Amplitude * SIN(#TimeCounter * 0.5) + #Noise; // Симуляція температури: повільна синусоїда + шум #Seed := (#Seed * 1103515245 + 12345) MOD 2147483647; #RandomVal := DINT_TO_REAL(ABS(#Seed) MOD 10000) / 10000.0; </pre>	2. <pre> #SimTemperature := #TempNominal + #TempAmplitude * SIN(#TimeCounter * 0.1) + (#RandomVal - 0.5) * 20.0; // Автоматична зміна марки сталі кожні ~10 секунд IF #AutoChangeGrade THEN #GradeTimer := #GradeTimer + 1; IF #GradeTimer >= 100 THEN // 100 * 100ms = 10s #GradeTimer := 0; #SimGradeIndex := (#SimGradeIndex MOD 2) + 1; // Перемикання 1-2 END_IF; END_IF; ELSE #TimeCounter := 0.0; #SimDiameter := #NominalDiameter; #SimTemperature := #TempNominal; #SimGradeIndex := 1; #GradeTimer := 0; END_IF; </pre>
---	--

FB_PID_Adaptive										
	Name	Data type	Default value	Retain	Accessible f...	Write...	Visible in ...	Setpoint	Supervision	Comment
1	Input									
2	Setpoint	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
3	ProcessValue	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
4	Temperature	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
5	SteelGradeIndex	Int	0	Non-ret...	☒	☒	☒	☐		
6	CycleTime	Real	0.1	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
7	ManualMode	Bool	false	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
8	ManualOutput	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
9	OutputMin	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
10	OutputMax	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
11	TempThreshold	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
12	Kp_Low_C45	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
13	Ki_Low_C45	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
14	Kd_Low_C45	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
15	Kp_High_C45	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
16	Ki_High_C45	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
17	Kd_High_C45	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
18	Kp_Low_S235	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
19	Ki_Low_S235	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
20	Kd_Low_S235	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
21	Kp_High_S235	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
22	Ki_High_S235	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
23	Kd_High_S235	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
24	Output									
25	ControlOutput	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
26	CurrentError	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
27	CurrentKp	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
28	CurrentKi	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
29	CurrentKd	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
30	InOut									
31	PrevError	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
32	Integral	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
33	Derivative	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
34	Kp	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
35	Ki	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		
36	Kd	Real	0.0	Non-retain	☒	☒	☒	☐		

Рисунок 3.10 – ФВ адаптивного ПД (FB2)

Таблиця 3.20 – Коди адаптивного ПД

<pre> 1. CASE #SteelGradeIndex OF 1: // C45 IF #Temperature < #TempThreshold THEN #Kp := #Kp_Low_C45; #Ki := #Ki_Low_C45; #Kd := #Kd_Low_C45; ELSE #Kp := #Kp_High_C45; #Ki := #Ki_High_C45; #Kd := #Kd_High_C45; END_IF; 2: // S235 IF #Temperature < #TempThreshold THEN #Kp := #Kp_Low_S235; #Ki := #Ki_Low_S235; #Kd := #Kd_Low_S235; ELSE #Kp := #Kp_High_S235; #Ki := #Ki_High_S235; #Kd := #Kd_High_S235; END_IF; ELSE #Kp := 1.5; #Ki := 0.01; #Kd := 0.1; END_CASE; </pre>	<pre> 2. // Виведення поточних коефіцієнтів для НМІ #CurrentKp := #Kp; #CurrentKi := #Ki; #CurrentKd := #Kd; IF #ManualMode THEN // Ручний режим #ControlOutput := #ManualOutput; #Integral := 0.0; // Скидаємо інтеграл ELSE // Автоматичний режим - ПІД алгоритм #CurrentError := #Setpoint - #ProcessValue; // Інтегральна частина з anti-windup #Integral := #Integral + #CurrentError * #CycleTime; // Обмеження інтегральної частини IF #Integral > 50.0 THEN #Integral := 50.0; ELSIF #Integral < -50.0 THEN #Integral := -50.0; END_IF; // Диференціальна частина #Derivative := (#CurrentError - #PrevError) / #CycleTime; // ПІД вихід #ControlOutput := #Kp * #CurrentError + #Ki * #Integral + #Kd * #Derivative; // Зберігаємо попередню похибку #PrevError := #CurrentError; END_IF; // Обмеження виходу IF #ControlOutput > #OutputMax THEN #ControlOutput := #OutputMax; ELSIF #ControlOutput < #OutputMin THEN #ControlOutput := #OutputMin; END_IF; </pre>
---	---

6) Створення організаційних блоків (ОВ)

Вставимо обидва функціональних блоки у Main [OB1]

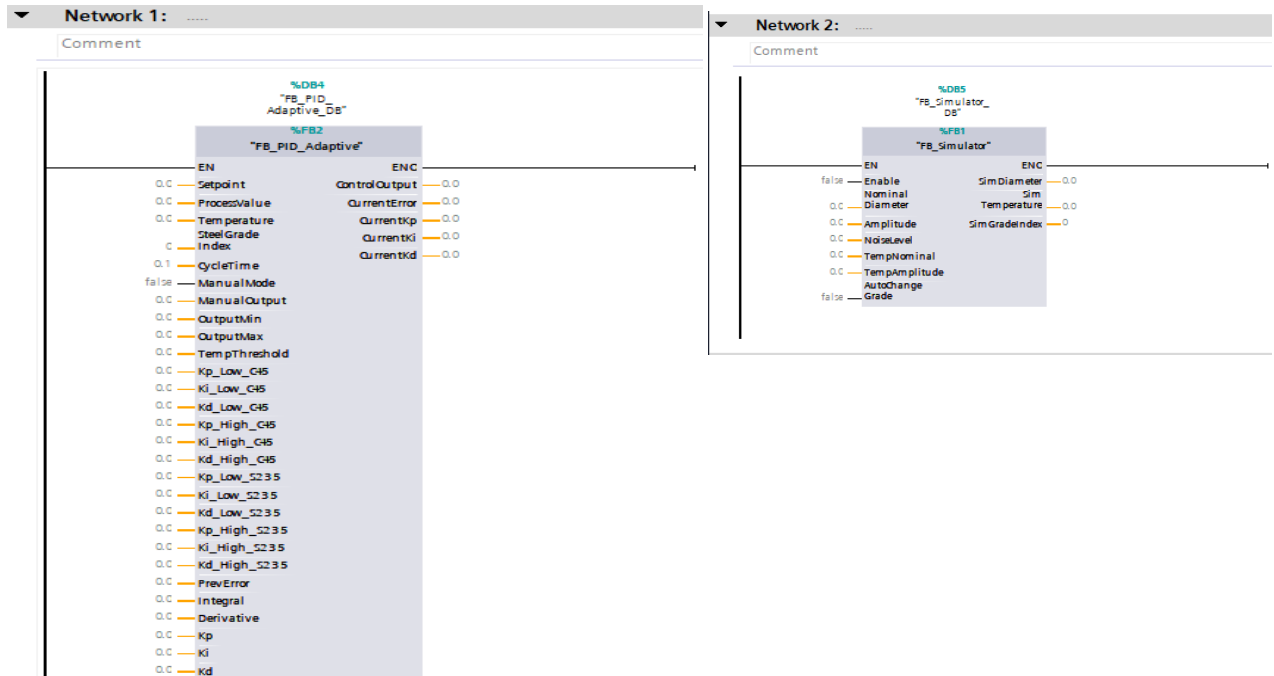


Рисунок 3.11 – Функціональні блоки у Main [OB1]

Таблиця 3.21 – Коди блоків

1. "FB_Simulator_DB"(Enable := "DB_Process".SimulationMode, NominalDiameter := "DB_Simulator".NominalDiameter, Amplitude := "DB_Simulator".Amplitude, NoiseLevel := "DB_Simulator".NoiseLevel, TempNominal := "DB_Simulator".TempNominal, TempAmplitude := "DB_Simulator".TempAmplitude, AutoChangeGrade := "DB_Simulator".AutoChangeGrade, SimDiameter => "DB_Process".ProcessValue, SimTemperature => "DB_Process".Temperature, SimGradeIndex => "DB_Process".SteelGradeIndex);	2. "FB_PID_Adaptive_DB"(Setpoint := "DB_Process".Setpoint, ProcessValue := "DB_Process".ProcessValue, Temperature := "DB_Process".Temperature, SteelGradeIndex := "DB_Process".SteelGradeIndex, CycleTime := 0.1, ManualMode := "DB_Process".ManualMode, ManualOutput := "DB_Process".ManualOutput, OutputMin := "DB_Process".OutputMin, OutputMax := "DB_Process".OutputMax, TempThreshold := "DB_Recipe_PID".TempThreshold, Kp_Low_C45 := "DB_Recipe_PID".Kp_Low_C45, Ki_Low_C45 := "DB_Recipe_PID".Ki_Low_C45, Kd_Low_C45 := "DB_Recipe_PID".Kd_Low_C45, Kp_High_C45 := "DB_Recipe_PID".Kp_High_C45, Ki_High_C45 := "DB_Recipe_PID".Ki_High_C45, Kd_High_C45 := "DB_Recipe_PID".Kd_High_C45, Kp_Low_S235 := "DB_Recipe_PID".Kp_Low_S235, Ki_Low_S235 := "DB_Recipe_PID".Ki_Low_S235, Kd_Low_S235 := "DB_Recipe_PID".Kd_Low_S235, Kp_High_S235 := "DB_Recipe_PID".Kp_High_S235, Ki_High_S235 := "DB_Recipe_PID".Ki_High_S235, Kd_High_S235 := "DB_Recipe_PID".Kd_High_S235, ControlOutput => "DB_Process".ControlOutput, CurrentError => "DB_Process".Error);
--	---

7) Конфігурація

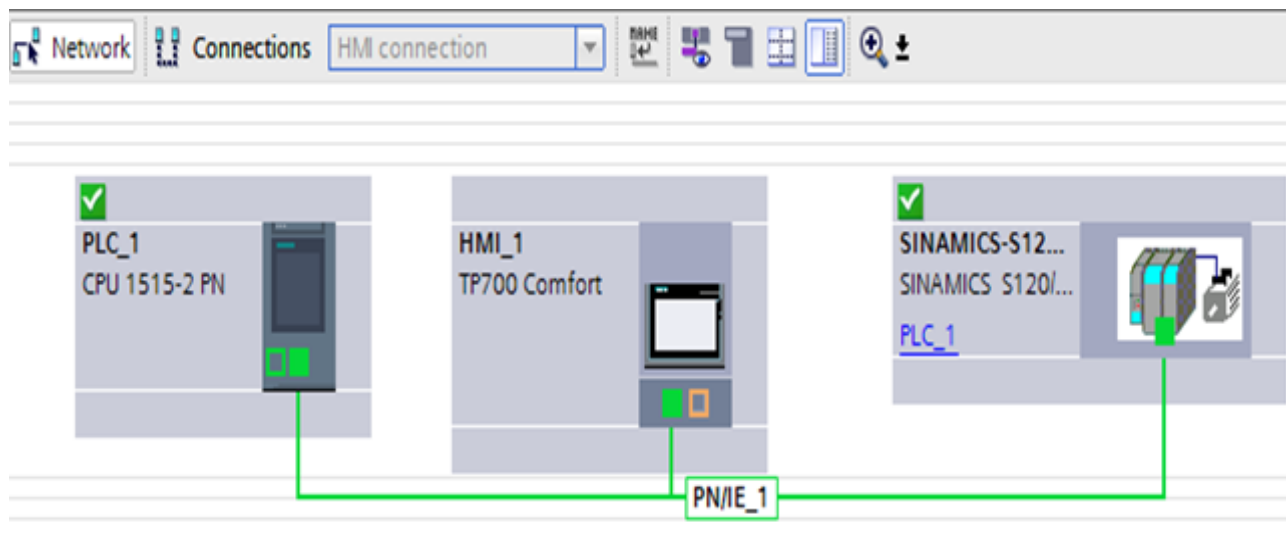


Рисунок 3.12 – Комунікація апаратури

7) Робота HMI

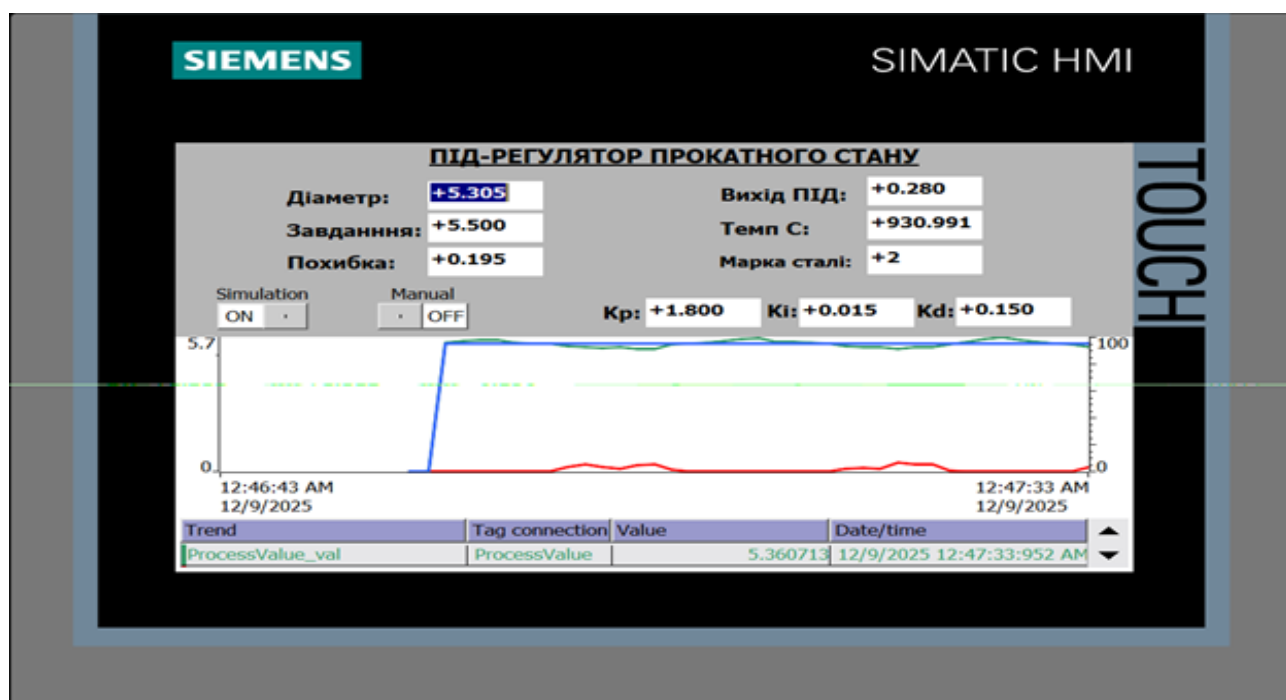


Рисунок 3.13 – Процес зміни діаметра

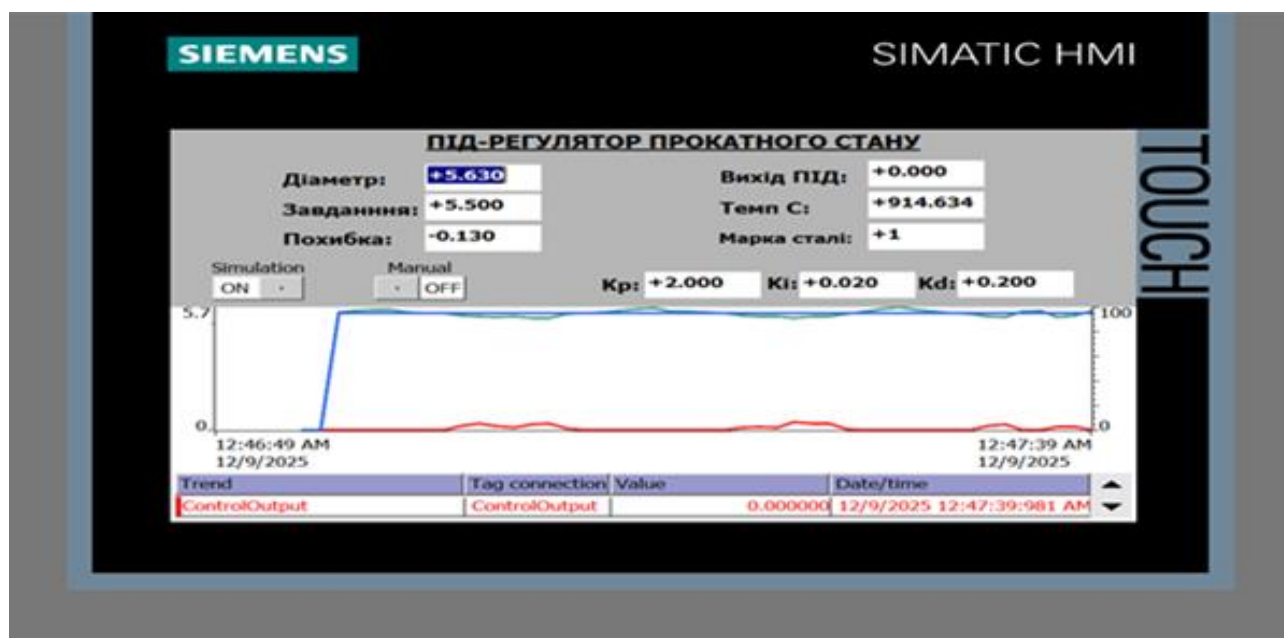


Рисунок 3.14 – Процес зміни виходу ПІД

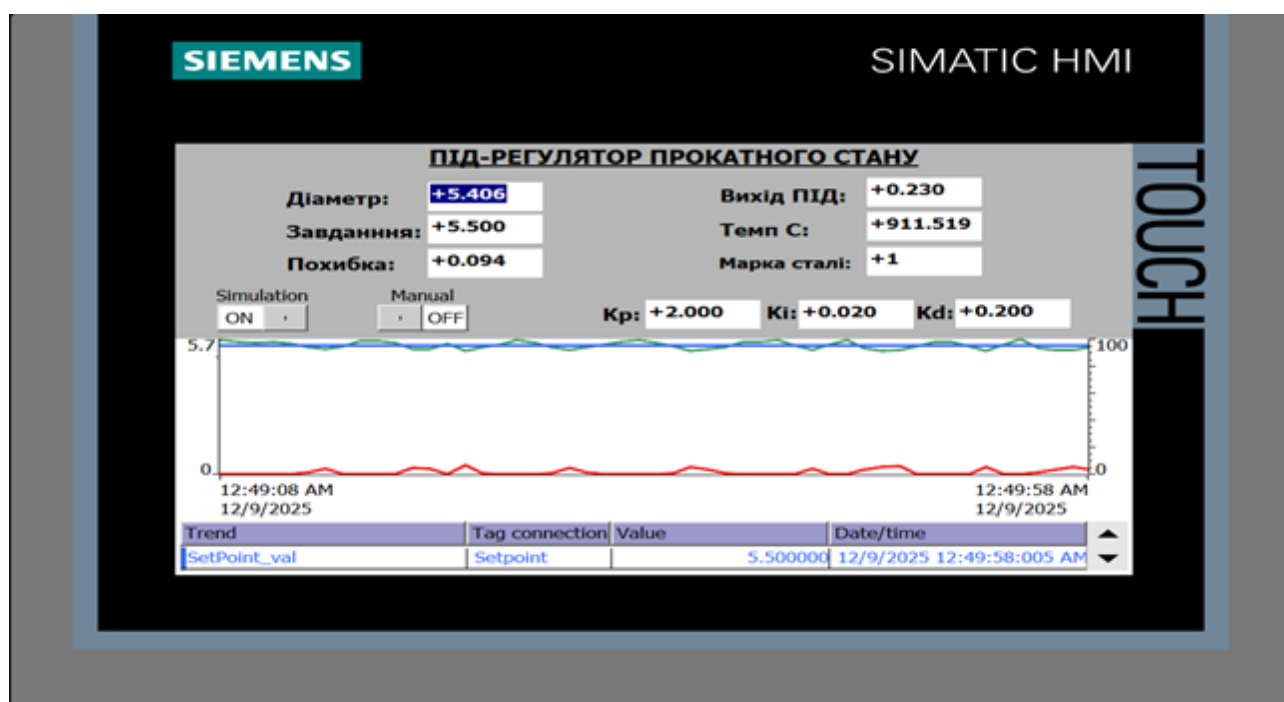


Рисунок 3.15 – Процес зміни завдання

Інтерфейс ЛМІ може змінитися під час впровадження, тому що поки обраний датчик може бути підприємством замінений на більш дешевий, або прийнятий для експлуатації в цілому по корпорації, наприклад Арселор Мітал. Але основна тенденція формування відображення параметрів контролю буде в основному подібна проектній.

ВИСНОВКИ

Об'єктом дослідження була автоматизована система управління технологічним процесом прокатки у функції якості готової продукції.

У першому розділі розглянуті аналогічні системи керування. Зроблено висновок про неефективну роботу системи керування і контролю якістю готової продукції та намічені задачі для виконання нової системи керування.

В другому розділі розроблено модель роботи двох і алгоритм керування приводів останніх клітей чистової групи, як взаємо пов'язаної системи, зроблено висновок про доцільність розробки системи автоматичного керування.

В третьому розділі показано варіант впровадження системи автоматичного керування роботою приводів останніх клітей чистової групи на базі контролера і програмного забезпечення Siemens.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. О.С.Бешта, О.В. Балахонцев, В.А. Бородай. АВТОМАТИЗОВАНИЙ ЕЛЕКТРОПРИВОД У ПРОКАТНОМУ ВИРОБНИЦТВІ. Дніпропетровськ 2010. https://elprivod.nmu.org.ua/ua/student/disciplines/epmm/Automatic_ED_rolling_mill_s.pdf. С.224
2. Проць Я. І. Автоматизація виробничих процесів : навч. посіб. для технічних спеціальностей вищих навчальних закладів / Я. І. Проць , В. Б. Савків, О. К. Шкодзінський , О. Л. Ляшук. .2011. С. 344.
3. Середа Б. П. Теорія прокатки: навчально-методичний посібник для студентів ЗДІА спеціальності 6.05040104 «Обробка металів тиском» / Середа Б. П., Белоконь Ю. О.; Запоріж. держ. інж. акад. – Запоріжжя: ЗДІА, 2013. – 105 с.
4. Датчик положення гарячого металу Rota-Sonde TS5500. . https://www.delta-usa.com/images/documents/eGB/TS5500/ts5500_e1550_0117.pdf
5. Коритін А.М., Петров Н.К., Радимов С.Н., Шапарев Н.К., Автоматизація типових технологічних процесів і промислових установок: Навчальний посібник К.,- Одеса: Вища школа, 1980. С. 372.
6. Кузьменко Т. М. Роль вхідного контролю в управлінні якістю продукції під час виготовлення спецтехніки. Вчені записки ТНУ імені В. І. Вернадського. Серія: Технічні науки. Том 32(71). Ч. 2 № 1. 2021. С. 7–12. DOI: <https://doi.org/10.32838/2663-5941/2021.1-2/02>.
7. 6 ДСТУ ISO 9001:2018. Система управління якістю. Вимоги ((EN ISO 9001:2015, IDT; ISO 9001:2015, IDT). [Чинний від 2018-12-15]. ДП «Український науководослідний і навчальний центр проблем стандартизації, сертифікації та якості» (ДП «УкрНДНЦ»), 2018. 30 с.
8. Тимофєєв Б.Б., Бобраницкий Ю.П., Богатеєнко И.Н. Процесорне керування листовими прокатними станами. К., Техніка 1982. 167 с.

9. Бомко А.С. Мікро-ЕОМ у системах керування виробництвом. – К., Техніка 1984. – 127 с.
10. Бойко Н.П., Стеклов В.К., Системи автоматичного керування на базі мікро-ЕОМ.– К. Техніка, 1989. – 182 с.
11. Драгобецкий В. В., Мосьпан Д. В., Невлюдов І. Ш. До визначення параметрів системи автоматичного керування технологічним процесом вільного формоутворення. Наукововиробничий журнал «Електромеханічні і енергозберігаючі системи». Кременчук : КрНУ, 2022. Випуск 3-4(59). С. 64–69. DOI 10.30929/2072-2052.2022.3-4.59.64-69
12. Методичні вказівки по самостійному вивченню дисципліни АСУ ТП (роздязнула «Автоматизація безупинних дрібно сортових станів»). А.П. Егоров, В.С. Ткачев, О.Е. Потап. Дніпропетровськ. Дмети. 1990. 64 с.
13. Єгоров А.П., Єгоров В.С., Ханін М.Н. і ін.: Моделювання системи керування товщиною смуги безупинного широкополосного стану гарячої прокатки: Навчальний посібник для студентів ІПК МК спеціальностей 7.092501, 7.092203 і 7.090404. Дніпропетровськ. ІПК МК, 2000. 76 с.
14. Денис Мосьпан. Вхідний контроль параметрів матеріалу системи автоматизованого виготовлення товстостінних деталей із рифтами. Електромеханічні і енергозберігаючі системи № 2/2023 (61). Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології.С.17-22.
15. Сусліков Л.М., Студеняк І.П. Неруйнівні методи контролю: Навчальний посібник. – Ужгород: Видавництво УжНУ, 2019. 192 с.
16. Метрологія та вимірювальна техніка: Підручник/ Є.С. Поліщук, М.М. Дорожовець, В.О. Яцук, В.М. Ванько, Т.Г. Бойко; За ред. Проф. Є.С. Поліщука. – 2-е вид., доповн. і перероб. – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 544 с.
17. Галимханов К.Г., Соколов Н.В., Голомазов В.А. Обзорная информация института “Черметинформация”, 1975. 46 с.

18. Савицький В. К., Федоришин Р. М. Технічні засоби автоматизації : навч. посіб. / В. К. Савицький, Р. М. Федоришин – Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2018. 292 с.
19. Стіпура А.П., Малінка А.В.: Досвід застосування методів контролю, що не руйнують у металургійній промисловості. К., “Знання”, 1979, 28 с.
20. Антілогов Г.А., Бобраницький Ю.П., Богаєнко И.Н. Автоматизація виробничих процесів в прокатному виробництві. М. “Металургія”.1979. 176 с.
21. Бобраницький Ю.П., Болдірєва Д.Ф., Гриненко А.В.: Цели та критерії операції керування чистовою групою клітей стана гарячої прокатки. - К. “Наукова думка”. 1977. 135 с.
22. Рябова Л.Д., Сбінєв А.І., Сантоцкая Я.Ю., Федюрко Н.В.: Математичне програмне та інформаційне забезпечення АСУ технологічними процесами. Чернівці, ЧФКИА, 1977, 189 с.
23. Ліпаєв В.В.: Технологічні проблеми проектування складних програмних комплексів систем керування реального часу, К., Ін-т кібернетики АН УССР, 1977, 354 с.
24. Сидоренко В.В., Константинова Л.В., Смірнов С.А. ТЗ8 Організація баз даних: Навчальний посібник. Кропивницький: ЦНТУ, 2018. 274 с
25. Автоматизація виробничих процесів: підручник. І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. Вид. 2-ге, виправлене. К.: Вид. Ліра-К, 2015. 378 с.
26. Пупена О.М. Розроблення людино-машинних інтерфейсів та систем збирання даних з використанням програмних засобів SCADA/HMI. Навч. посіб. Київ: Ліра.К.2020. 594с.
27. Пупена О.М., Ельперін І.В. Програмування промислових контролерів у середовищі UnityPro: Навч.посібник.- К.: Видавництво Ліра. К, 2013.-376с

28. Дубовой, В. М. Ідентифікація та моделювання технологічних об'єктів і систем керування : навчальний посібник / В. М. Дубовой. – Вінниця : ВНТУ, 2012. 308 с

29. Шефнер Д.Д., Броннер Л.Р.: Програмне забезпечення систем контролю в управлінні виробничими процесами з використанням мови ЕОМ, - "Мир", 1975, 190 с.

30. Моркун Н. В., Маринич І. А. Методичні вказівки до виконання кваліфікаційної роботи бакалавру для студентів спеціальності 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології". Кривий Ріг : Видавничий центр КНУ, 2019. 50 с.

31. ДСТУ 3008:2015. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, ДП «УкрННЦ», 2015. 26с. (Інформація та документація).

32. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання Київ, ДП «УкрННЦ», 2016. 16 с. (Інформація та документація).

33. ДСТУ 3582:2013. Бібліографічний опис. Скорочення слів і словосполучень в українській мові. Загальні вимоги та правила. Київ, ДП «УкрННЦ», 2013. 23 с. (Інформація та документація).

34. ДСТУ 3651.0-97 Метрологія. Одиниці фізичних величин. Основні одиниці фізичних величин Міжнародної системи одиниць. Основні положення, назви та позначення. Київ, Держстандарт України, 1998. 27с. (Інформація та документація).