

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 – бакалавр
за освітньо-професійною програмою
«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
тема роботи:
**«Автоматизована система керування порізом металопрокату на
двобарабанних ножицях»**

Виконав студент гр. АКІТ-22ск	_____	Харитоненко Г.О.
Нормоконтроль	_____	Маринич І. А.
Керівник	_____	Тиханський М.П.
Завідувач кафедри	_____	Рубан С.А.

КРИВОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

Факультет: інформаційних технологій

Кафедра: автоматизації, комп'ютерних наук і технологій

Ступінь вищої освіти: бакалавр

Спеціальність: 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Зав. кафедрой: к.т.н. Рубан С. А.

« »_____2025p.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра

студентові групи АКТ – 22ск Харитоненко Гліб Олегович

1. Тема кваліфікаційної роботи: «Автоматизована система управління порізом металопрокату на двобарабанних ножицях»

затверджено наказом по університету № 106с від «31» січня 2025р.

2. Термін здачі кваліфікаційної роботи «06» червня 2025 р.

3. Склад кваліфікаційної роботи: Пояснювальна записка, презентація у Microsoft PowerPoint в електронному та друкованому вигляді

4 Консультанти кваліфікаційної роботи:

Розділ 1-2

доц. Тиханський М. П.

Нормоконтроль

доц. Маринич І. А.

5. Календарний план:

№	Етапи роботи	Термін виконання
1	<i>Вступ</i>	<i>01.04.25</i>
2	<i>Розділ 1</i>	<i>05.04.25</i>
3	<i>Розділ 2</i>	<i>01.05.25</i>
4	<i>Висновки</i>	<i>25.05.25</i>
5	<i>Оформлення кваліфікаційної роботи</i>	<i>28.05.25</i>
6	<i>Підготовка презентації та графічного матеріалу</i>	<i>30.05.25</i>
7	<i>Підготовка доповіді до захисту</i>	<i>03.06.25</i>

6. Дата видачі завдання: « » 2025 р.

Керівник _____ **/Тиханський М.П./**

7. Запевнення: Я, Харитоненко Гліб Олегович, 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.

Студент _____ **/Харитоненко Г.О./**

АНОТАЦІЯ

Харитоненко Г.О. Автоматизована система керування порізом металопрокату на двобарабанних ножицях: кваліфікаційна робота бакалавра: 151 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології. Кривий Ріг. Криворізький національний університет, 2025. 82 с.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення економічної ефективності порізу металопрокату, якості керування процесом порізу на двобарабанних ножицях, зменшення втрат металу у немірні відходи за рахунок модернізації автоматизованої системи управління ножицями.

Були розглянуті питання стосовно проблем економічного порізу металопрокату на двобарабанних ножицях, наведена характеристика об'єкта керування та принцип роботи, розглянуто технологічний процес порізу металопрокату. Запропоновано технічні вимоги для модернізованої системи.

Представлено математичний опис двобарабанних ножиць, як об'єкта керування, представлена математична модель процесу керування, наведено загальний алгоритм роботи системи. Розроблена модель об'єкта управління дозволила розробити структурну схему керування порізом металопрокату та досліджувати динамічні процеси з урахуванням діючих технологічних збурень.

Розроблено інформаційне забезпечення системи автоматизованого керування, обґрунтовано та вибрано технічне забезпечення системи керування і необхідне програмне забезпечення САК.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, КЕРУВАННЯ, ДВОБАРАБАННІ НОЖИЦІ, ПОРІЗ, МЕТАЛОПРОКАТ, МОДЕЛЮВАННЯ, РЕГУЛЯТОРИ

					КНУ.КРБ.151.25.05.00.ПЗ						
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	АНОТАЦІЯ			Літера	Аркуш	Аркушів	
Розробив	Харитоненко										
Перевірів	Тиханський М.П.									4	1
Н.контроль	Маринич І.А.							КНУ АКИТ–22ск			
Затвердив											

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	7
ВСТУП.....	8
РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	11
1.1 Технологічний процес порізу гарячого металу на летючих ножицях ..	11
1.2 Принцип роботи двобарабанных ножиць, як об'єкта автоматизації	13
1.3 Огляд і аналіз типів ножиць, що використовують у системах порізу металу	16
1.4 Аналіз існуючих систем та пристроїв автоматичного управління розкриєм прокату	23
Висновки до розділу.....	33
РОЗДІЛ 2. РОЗРОБКА САК ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ТА ЇЇ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ.....	35
2.1 Обґрунтування модернізації автоматизованої системи керування порізом металопрокату	35
2.2 Математичний опис барабанных ножиць, як об'єкта керування	37
2.3 Удосконалювання принципів керування технологічним процесом порізу металопрокату за обраним критерієм ефективності	44
2.4 Синтез системи автоматизованого керування електродвигуном двобарабанных ножиць	48
2.5 Розробка та аналіз структури автоматизованої системи керування порізом металопрокату	55
2.6 Функціональна схема автоматичної системи керування порізом металопрокату	59
2.7 Алгоритми порізу металопрокату	62

					<i>КНУ.КРБ.151.25.05.00.ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	ЗМІСТ		
Разробив	Харитоненко						
Перевірів	Тиханський М.П.						
Н.контроль	Маринич І.А.						
Затвердив					<i>КНУ АКИТ–22ск</i>		
					Літера	Аркуш	Аркушів
						5	2

2.8 Інформаційне забезпечення системи автоматизованого керування ...	63
2.9 Технічне забезпечення системи керування.....	66
2.10 Програмне забезпечення САК	71
Висновки до розділу	76
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ.....	80

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АСК – автоматизована система керування;

САМС – система автоматичного мірного різання смуги;

СУРП – система управління розкриття прокату;

АСУ ТП – автоматична система управління технологічним процесом;

ОК – об'єкт керування;

САК – система автоматичного керування;

БЗС – безперервно-заготівельний стан;

ПФ – передавальна функція;

ПЛК – програмований логічний контролер;

АС – автоматизовані системи;

ПТК – програмно-технічні комплекси.

					КНУ.КРБ.151.25.05.00.ПЗ				
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					
Разробив	Харитоненко				ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	Літера	Аркуш	Аркушів	
Перевірів	Тиханський М.П.						7	1	
Н.контроль	Маринич І.А.								
Затвердив						КНУ АКІТ–22ск			

ВСТУП

Рациональне використання сировинних ресурсів є актуальним завданням для багатьох сфер промисловості. Надто актуальною проблема постає перед підприємствами металургійної галузі, зважаючи на прогнозовану кризову ситуацію в найближче десятиліття. В умовах дефіциту ресурсів ключовим чинником підвищення загальної ефективності виробництва стає економне використання матеріалів. Це безпосередньо впливає на зниження витрат на виготовлення продукції. Значна частка собівартості пов'язана саме з виробничими відходами, тому зменшення їх обсягів є пріоритетним напрямом оптимізації виробничих процесів.

Одним із провідних способів зниження втрат чорного металопрокату є впровадження ефективних методів його раціонального розкрою. Серед заходів цього напрямку автоматизація процесу порізу дозволяє підвищити коефіцієнт розкрою прокату на 2 - 6%, листового на 3 - 8% [1] з урахуванням централізованого методу порізу та забезпечити оптимальність норм витрати металоресурсів.

Значні втрати кондиційного прокату, які не є технологічно неминучими, обумовлені труднощами оптимального рішення задачі управління розкриємо прокату з урахуванням імовірнісного характеру фактичних розмірів і маси заготовок і готового профілю. Втрати металу при нераціональному розкрою складають 2 - 3% від загальної кількості прокату. Ефективним засобом зниження втрат металу є впровадження автоматизованих систем керування розкром прокату.

В кваліфікаційній бакалаврській роботі розглядається управління летючими ножицями, які використовують для різання розкату прокатного стану (СПЦ - 2) на заготовки заданих довжин.

					КНУ.КРБ.151.25.05.00.ПЗ				
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					
Разробив		Харитоненко			ВСТУП	Літера		Аркуш	Аркушів
Перевірів		Тиханський М.П.						8	2
						КНУ АКІТ–22ск			
Н.контроль		Маринич І.А.							
Затвердив									

Летючі ножиці використовуються для розрізання металу без зупинки його руху, тобто безперервно, під час його швидкісного переміщення.

У багатьох виробничих процесах саме ефективність роботи цього обладнання суттєво впливає на загальну продуктивність прокатного стану.

Продукція стану - розкат певного перерізу підлягає розкрою на заготовки заданої мірної довжини. Необхідно знайти оптимальний варіант порізу. Зазвичай планування розкрою сировини або виконується вибором з декількох варіантів, або за допомогою найпростіших методів оптимізації. Метал в такій ситуації витрачається не оптимально, залишаються великі кінцеві залишки, які потім необхідно транспортувати і використовувати.

Метою кваліфікаційної роботи є підвищення економічної ефективності порізу металопрокату, якості керування процесом порізу на двобарабанних ножицях, зменшення втрат металу у немірні відходи за рахунок модернізації автоматизованої системи управління ножицями.

Об'єктом керування у роботі є процес порізу металопрокату на двобарабанних ножицях.

З урахуванням реалій світового ринку споживання металу, зростаючих вимог до якості й службових властивостей металопрокату на комбінаті проводиться планомірна, цілеспрямована робота з технічного переозброєння, впровадженню нової техніки й технологій.

Тому тема випускової роботи «Автоматизована система управління порізом металопрокату на двобарабанних ножицях» актуальна для розвитку підприємства й реалізації планів модернізації обладнання в прокатному виробництві.

Автоматизована система керування великогабаритними прокатними станами складається з комплексу взаємопов'язаних локальних підсистем, що забезпечують контроль і регулювання всіх етапів технологічного процесу — від подачі сировини зі складу до відвантаження готової продукції у транспортні засоби.

					КНУ.КРБ.151.25.05.00.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		9

Кожна з таких локальних підсистем оснащена широким набором сенсорів та вимірювальних приладів, які фіксують ключові параметри виробництва: температуру металу, тиск, що чиниться ним на валки, геометричні характеристики профілю, що проходить обробку, його положення та динаміку руху.

Зібрані дані надходять до обчислювальних модулів локальних підсистем, де відбувається їх аналіз і формування керуючих команд для відповідних виконавчих механізмів.

Окрім того, узагальнена інформація передається в центральну обчислювальну систему, яка координує взаємодію між окремими локальними підсистемами, забезпечуючи злагоджену роботу всього прокатного комплексу.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити наступні завдання:

- розглянути процес порізу металу на летючих ножицях в умовах цеху;
- виконати аналіз існуючих систем та патентний огляд способів та приладів автоматизації управління порізом металопрокату;
- обґрунтувати необхідність модернізації системи порізу металопрокату;
- виконати математичний опис процесу порізу металу з урахуванням зменшення немірних відходів;
- розробити математичну модель та виконати моделювання та аналіз процесу управління порізом;
- вибрати технічні засоби автоматичного керування, розробити систему керування.

					КНУ.КРБ.151.25.05.00.ПЗ	Арк.
						10
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1

АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ТА ОГЛЯД ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Технологічний процес порізу гарячого металу на летючих ножицях

Для одержання товарної продукції необхідної якості для порізу гарячого металу у металургійній промисловості на блюмінгах та прокатних станах використовують ножиці.

Летючі ножиці призначаються для порізу «на ходу» гарячих розкатів блюмів з вуглецевої сталі на заготівлі мірної довжини, які призначені для перекату блюмів у заготівлі для дротових і мілкосортних станів, а також для подальшої прокатки на прокатних станах та випуску товарної продукції.

Схема розташування обладнання сортного стану наведена на рис.1.1, де вказано також основні датчики та прилади автоматизації, як самого процесу прокатки так і процесу порізу прокату на ножицях.

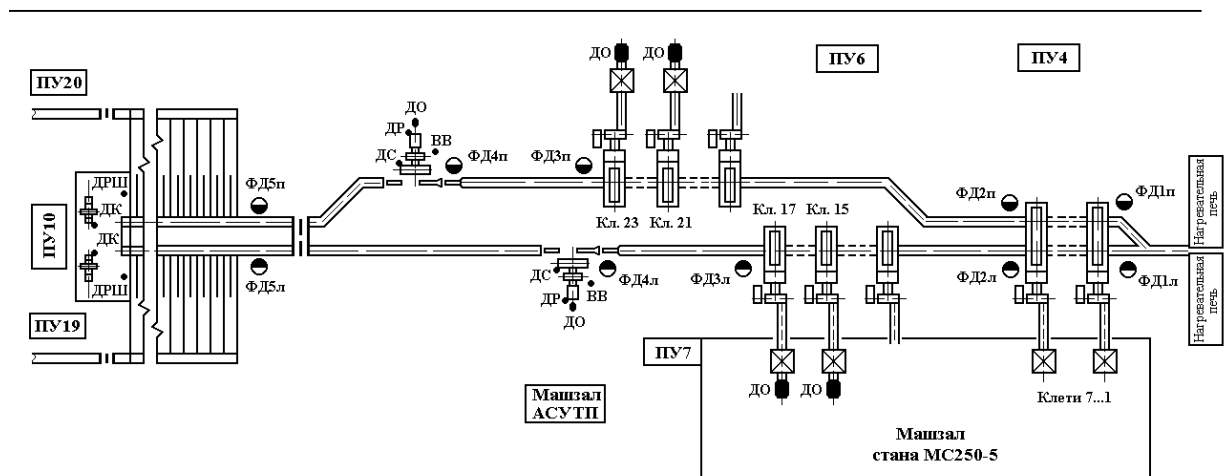


Рисунок 1.1 – Схема розташування обладнання дрібно сортного стану та датчики і засобів автоматизації

					<i>КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата			
Разробив	Харитоненко				<i>РОЗДІЛ 1</i>		
Перевірів	Тиханський М.П.						
Н.контроль	Маринич І.А.				<i>КНУ АКІТ-22ск</i>		
Затвердив							

На рисунку 1.1 прийняті наступні позначення: *ФД1- ФД5* – фотодатчики, *ДО* – датчик швидкості обертання, *ДР* – датчик різку, *ВВ* – електропневматичний розподільник, *ДС* – датчик зведення, *ДК* – датчик клапана, *ДРШ* – датчик решітки.

Прокатні стани складаються з трьох груп клітей: чорнова (кліті 1-7), проміжна (кліті 8, 9), чистова (кліті 12-17 (18-23) по лівій і відповідно правій стороні. Кліті відрізняються діаметром валків: 360...400 мм; 345÷...400 мм; 340÷380 мм та швидкістю обертання валків вихідної кліті кожної групи: 22,4...114 об/хв.; 106÷430 об/хв.; 417÷1665 об/хв.

За чистовими клітями встановлені двобарабанні («летючі») ножиці для різання готового прокату: швидкість переміщення розкату – 4,5÷20 м/с; максимальне зусилля різку – 15000 т; швидкість різку – 4,5÷22 м/с.

По призначенню ножиці належать до механізмів різання металу, по режимах роботи – до повторно - короткочасного режиму. Летучі ножиці залежно від призначення мають різну конструкцію. Найбільше часто зустрічаються барабанні й кривошипні ножиці.

На блюмінгу поріз розкатів відбувається після другої групи стана, видалення переднього й заднього кінців здійснюють на летучих кривошипних ножицях зусиллям 1,5 МН у лінії рольганга, що відводить. Максимальний перетин, що розрізають: 100 х 150 мм при $t = 850 - 900^{\circ}\text{C}$ і швидкості прокату, що ріжуть – 3,3 - 7,0 м/с. Довжина заготівель, що відрізають – 5 - 6 м (із припуском різку) або 10 - 12 м. Привод від двох 1,2 МВт електродвигунів (400 об/хв).

Недоліком барабанних ножиць є непаралельність ножів при різанні, що впливає на якість поверхні металу в місці розрізу. Тому для порізу товстих блюмів звичайно застосовують кривошипні летучі ножиці з ножами, що рухаються поступально.

Летучі барабанні ножиці призначаються для поперечного різання дрібного сортового прокату на ходу.

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						12
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Прокат переміщується по холодильнику та охолоджується. Потім його збирають в пакети і подають до ножиць для різання на мірні довжини відповідно до виробничого завдання.

1.2 Принцип роботи двобарабанних ножиць, як об'єкта автоматизації

Для забезпечення безперервності технологічного процесу прокатки металу, безперебійної роботи стану та дотримання заданого виробництва технологія порізу металопрокату повинна виконувати основні вимоги, а саме:

- початкова синхронізація положень ножів і швидкості руху смуги металу;
- оцінка довжини поточного розкату на кожному ітераційному кроці розкреду за параметрами технологічного процесу.

Усі види летючих ножиць належать до обладнання, що використовується в агрегатних лініях прокатного виробництва. Такі технологічні лінії призначені для обробки та різання прокатного матеріалу на підприємствах чорної та кольорової металургії.

Принцип роботи двобарабанних летючих ножиць полягає у безперервному обертанні барабанів, на яких закріплено ножі, при тому що самі барабани перебувають у розведеному положенні. Після отримання сигналу про початок різання барабани швидко зближуються, щоб ножі перетнулися між собою та розрізали прокат. Летючі ножиці цього типу застосовуються на дрібносортних прокатних станах, оскільки здатні різати метал на дуже високій швидкості [1].

Різновиди летючих ножиць призначені для поділу рухомої металевої смуги на частини без зупинки її руху. На рисунку 1.2 наведено ілюстрацію принципу дії летючих ножиць.

Перед початком різання така установка перебуває у початковому положенні. Металева смуга підходить до зони ножів. Після отримання сигналу про початок різання ножі починають розганятися до швидкості поступального руху, що приблизно на 5–10% перевищує швидкість переміщення смуги.

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

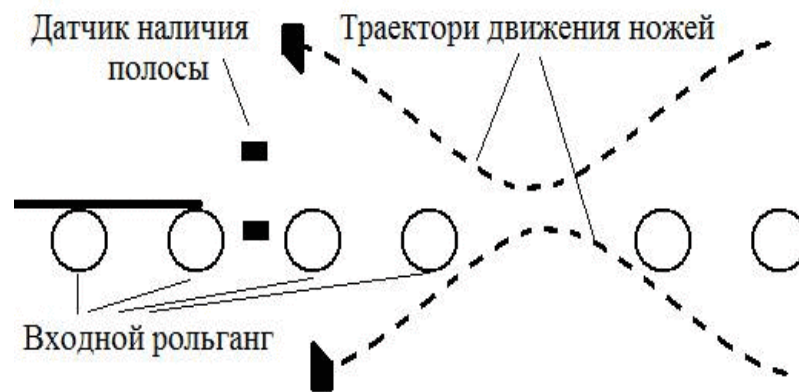


Рисунок 1.2 – Принцип роботи летючих ножиць

У процесі різання ножі переміщуються вздовж траєкторії, обумовленої кінематикою механізму відповідного типу ножиць. Ножі зближуються, торкаються матеріалу, і відбувається розріз смуги «на ходу», після чого ножі розходяться та повертаються у початкове положення.

Двобарабанні летючі ножиці являють собою механізм для різання рухомого металу на відрізки, довжина яких відповідає довжині холодильника. Конструктивно такі ножиці складаються з двох барабанів, що обертаються у протилежних напрямках (або з двох важелів із радіально закріпленими на них ножами). Швидкість руху металевої смуги при різанні дорівнює окружній швидкості ножів. Смуга прокату проходить між барабанами, і при кожному схрещенні ножів відбувається черговий різ.

У вихідному положенні барабани розведені таким чином, що траєкторії, описувані ріжучими кромками ножів, не перетинаються і метал вільно проходить через ножиці. Для виконання різку осі барабанів зводяться (включення різку) за допомогою нижнього пневмоциліндра, а розведення (виключення різку) здійснюється верхнім пневмоциліндром. Для забезпечення надійного різку час спрацьовування кожного з циліндрів не повинен перевищувати часу одного обороту барабанів. Ця умова має бути покладена в основу розрахунку швидкодії двобарабанних ножиць.

Основними вузлами двобарабанних ножиць, встановлених на основній лінії, є механізм різання, механізм пропуску різку і його включення, і головний

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						14
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

привод (електродвигун). Механізм різання складається з двох несучих барабанів (верхнього і нижнього), змонтованих в станині на підшипниках кочення. Барабани пов'язані між собою замикаючими шестернями.

Двобарабанні ножиці розташовані після групи чистових клітей і використовуються для різки готового прокату на мірні довжини.

Кінематична схема двобарабанних ножиць наведена на рис.1.3.

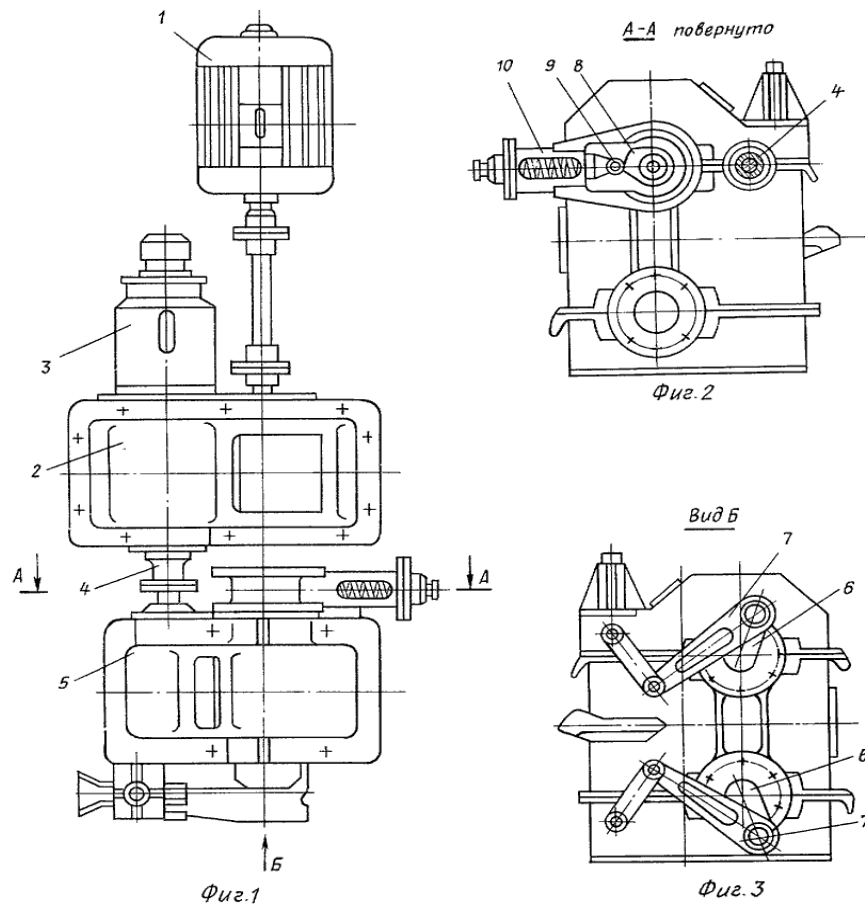


Рисунок 1.3 – Кінематична схема двобарабанних ножиць

Принцип роботи двобарабанних ножиць: від електродвигуна 1 через редуктор з маховиком 2 наводяться в постійний рух приводні диски фрикційної муфти 3. При запуску на поріз спочатку включається приводна частина муфти 3, яка через приводний вал 4 здійснює обертання кривошипних валів 6 та за допомогою механізмів паралельного зведення ножів 7 – поріз, а потім

включається гальмівна частина, яка зупиняє кривошипи в початковому положенні.

При цьому на фазі гальмування кінетична енергія рухомих мас через профільований елемент 8 і контактує ролик 9 акумулюється в силовому акумуляторі 10 за рахунок деформації робочої пружини, тобто в даному випадку вказаний механізм виконує роль додаткового програмного гальма; на фазі ж розгону зазначених мас накопичена енергія акумулятора 10 через профільований елемент повідомляє додаткове прискорення їм, тобто тепер ця система відіграє роль додаткової приводної ланки [2].

Розглянемо умови експлуатації об'єкта автоматизації та характеристику навколишнього середовища. Електроприміщення машинного залу, в якому встановлені привод ножиць, імпульсні датчики повороту клітей, ножиць і датчики струму клітей, є закритим неопалюваним приміщенням категорії «В».

Датчики наявності металу встановлюються безпосередньо у виробничому приміщенні, з наступними умовами експлуатації:

- запиленість: 8,0 мг/м³; шум: 85 Дб;
- відносна вологість повітря: 67%;
- інфрачервоне випромінювання: 700 Вт/м²
- максимальна температура поверхні кожуха датчиків в місцях прямого інфрачервоного випромінювання: +75°C [1].

1.3 Огляд і аналіз типів ножиць, що використовують у системах порізу металу

1.3.1 Принцип дії основних типів ножиць для порізу прокату

Різка прокату і злитків є найпоширенішою операцією металообробки на прокатному стані. Виконується порізка відповідними ножицями. Розглянемо принцип дії деяких з них.

Кривошипні ножиці виконують різання зрушенням однієї частини заготовки щодо іншої. Сутність такого способу різання (рис. 1.4, а) полягає в тому, що у верхньому положенні рухомого ножа 4 і притиску 3 прутки 2

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

подається до упору 6, після чого притиск опускається і притискає пруток до нерухомого ножа 1, потім рухомий ніж 4 відрізає заготовку 5. Довжину заготовки змінюють, регулюючи упор. Така різка називається неповною відкритою.

Різка на кривошипних ножицях високопродуктивна і відбувається без відходів (викликаних самим процесом різання).

Недоліком є спотворення заготовки: косина C_p (неперпендикулярність) форми торців утворює заготовки), зім'ятість C і утяжинність $У$. Не завжди задовільна і точність різання.

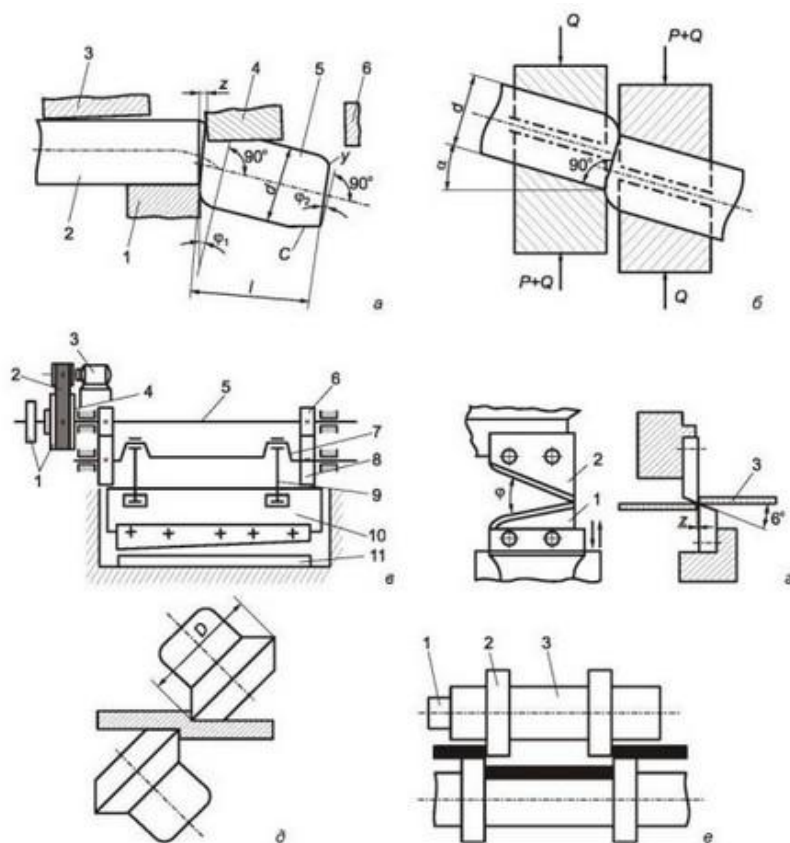


Рисунок 1.4 – Схеми різки металопрокату на ножицях

Є кривошипні ножиці для різання сортового прокату (круглого, квадратного, профільного), листового прокату і комбіновані.

Ножиці сортові кривошипні з номінальним зусиллям до 40 МН можуть різати круглі штанги діаметром до 320 мм, квадрат зі стороною до 300 мм, смугу шириною до 450 мм і роблять 12 ходів в хвилину. Дрібні сортові ножиці можуть здійснювати до 50 ходів в хвилину. Випускаються також ножиці сортові гідравлічні.

Для зменшення спотворень форми заготовки випускаються ножиці для неповного закритого різання з диференційованим затиском заготовки, при якому прутки і заготівля, що відрізається, затискаються силою Q , пропорційною зусиллю різання P , що обмежує величину вигину заготовки.

Щоб уникнути косини торців, застосовують різання з нахилом прутка (рис. 1.4, б). Розрізання в штампах на пресах дозволяє домогтися більш високої (ніж на ножицях) точності розмірів і форми, особливо при різанні з осьовим підпиранням (закрита різка), що створює в зоні різку напружений стан всебічного стиснення.

При різанні пластичним зрушенням поперечний зсув здійснюється тільки після того, як метал буде переведений в пластичний стан. Розрізається пруток 1 (рис. 1.5) за допомогою затискного пристрою 5 отримує поздовжнє осьове зусилля, достатнє для того, щоб в зоні різання було досягнуто пластичний стан металу. Профілі нерухомого 2 та рухомого 4 ножів виготовляються за формою прутка з урахуванням верхніх відхилень поперечних розмірів. Рухомий ніж, переміщаючись вниз щодо нерухомого ножа, здійснює пластичний зсув металу. Штовхач 3 після відрізки заготовки виштовхує її з рухомого ножа. Цей метод підходить для різання прутків з алюмінію, міді та їх сплавів.

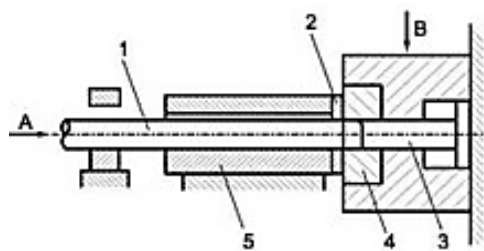


Рисунок 1.5 – Різка пластичним зсувом

1.3.2 Аналіз типів ножиць, що використовують у системах порізу прокату

Летючі ножиці є надзвичайно важливою складовою системи розкрою металу на безперервнодіючих заготівельних станах. Існує декілька різновидів летючих ножиць, зокрема планетарні, важільно-кривошипні, барабанні тощо. Кожен із цих типів має свою конструкцію і притаманні їй недоліки.

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						18
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Одним із поширених різновидів є конструкція летючих ножиць, у якій ножі разом із тримачами здійснюють плоскопаралельний коливальний рух на двох балансирних важелях однакової довжини, що утворюють паралелограмний механізм. Нижні шарніри цих балансирів з'єднані з двома кривошипними механізмами з однаковим ексцентриситетом (рис. 1.6).

Привод такої системи забезпечує одночасно зворотно-поступальний рух ножів уздовж напрямку подачі матеріалу та їх переміщення в перпендикулярному напрямку. Зближення ножів при різанні забезпечується як виходом осей балансирів у вертикальне положення, так і підніманням нижніх балансирів за допомогою кривошипних механізмів. Під час зворотного ходу, для пропускання металу, нижній утримувач ножа опускається шляхом повороту кривошипних механізмів у нижнє положення.

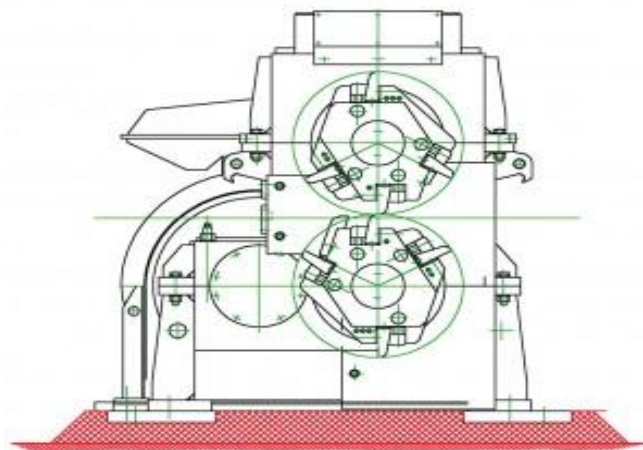


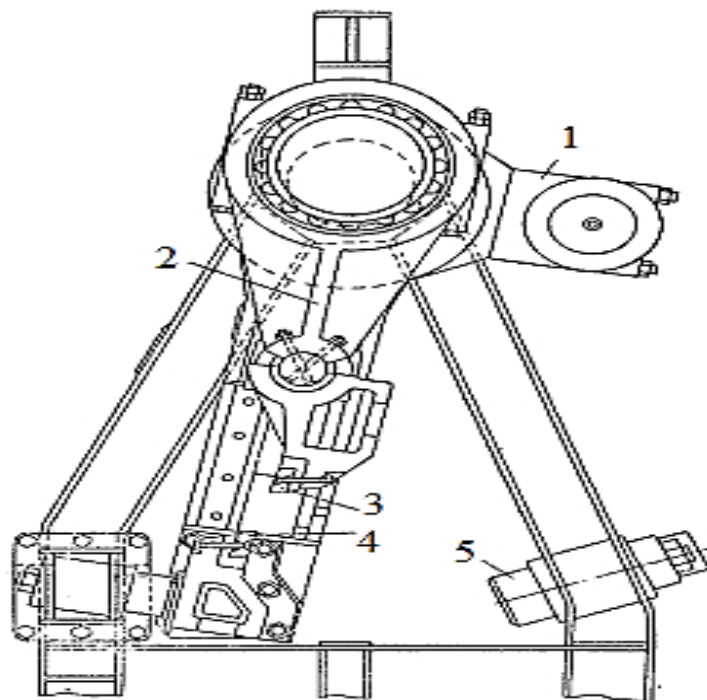
Рисунок 1.6 – Кривошипні летючі ножиці

Недоліками описаної конструкції є декілька факторів. По-перше, розмикання ножів здійснюється опусканням нижнього ножа, що неприпустимо при різанні високопрофільного металу. По-друге, робота механізму вимагає суворо синхронізованого зворотно-поступального коливання нижнього утримувача ножа одночасно з обертанням кривошипів. Крім того, через розміщення балансирів над і під лінією руху металу такий пристрій має значно збільшені габарити по висоті.

Маятникові летючі ножиці (рис. 1.8) функціонують наступним чином. При увімкненні привода починає обертатися ексцентриковий вал, поступово зближуючи ножі. У момент, коли ножі стикаються з металом, на ексцентриковому валу різко зростає обертальний момент. Під дією цього моменту всі вузли, підвішені на валу, прагнуть повернутися у напрямку його дії.

До основних недоліків маятникових ножиць належать такі чинники. По-перше, якість різку цим обладнанням є незадовільною, оскільки лінія відрізу виходить неперпендикулярною до осі прокату. По-друге, маятниковий механізм характеризується низькою швидкістю (тихохідністю). Крім того, такі ножиці практично неможливо застосовувати для різання коротких листів через значний. Останнім суттєвим недоліком є неможливість ефективно різати високопрофільний прокат за допомогою маятникового типу ножиць.

Окремо слід відзначити можливість застосування ножиць барабанного типу (рис. 1.7). У такій конструкції в паз верхнього барабана нерухомо встановлено ніж за допомогою клинної колодки, а в пазу нижнього барабана закріплено П-подібну рамку з ножем.



1-противаг, 2 – шатун, 3 і 4 – верхній та нижній ножі відповідно,
5 – задній амортизатор

Рисунок 1.7 – Конструкція маятникових летючих ножиць

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		20

Барабанні ножиці є однією з перших конструкцій летючих ножиць (рис.1.8).

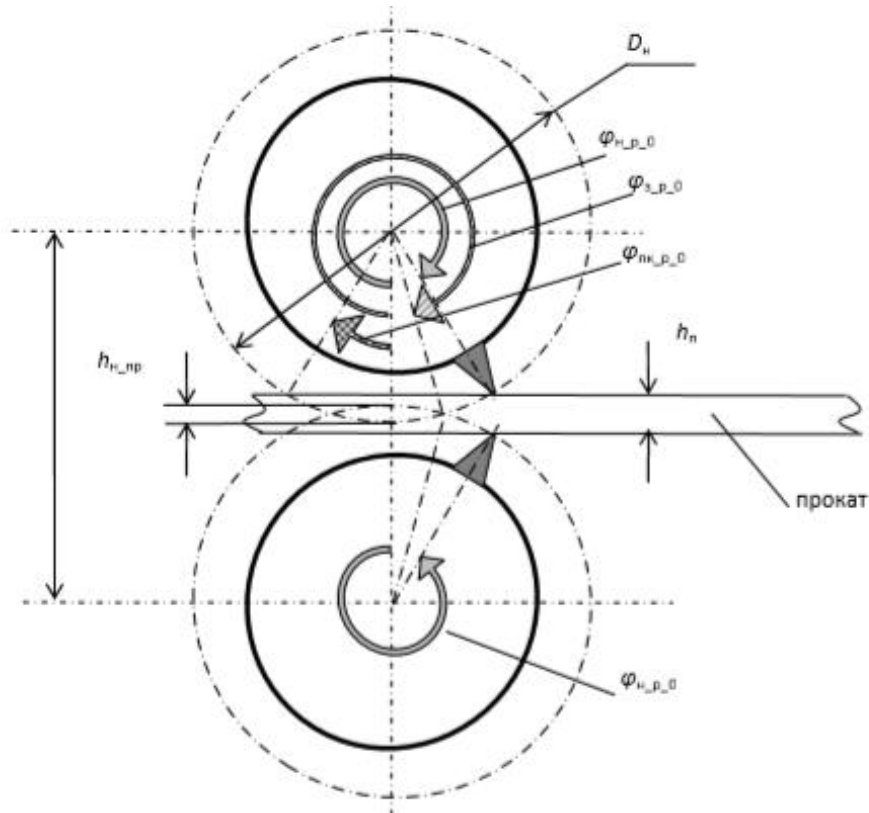


Рисунок 1.8 – Схематичний вид вузла ножів барабанних летючих ножиць при різанні прокату

На рисунку 1.8 прийняті наступні позначення: D_n – діаметр барабана по кромці ножів; h_n – висота прокату, що розрізається; $h_{н пр}$ – перекриття ножів; $\varphi_{нр о}$ – кут початку різання; $\varphi_{зр о}$ – кут завершення різання; $\varphi_{нкр о}$ – кут втрати контакту ножів з прокатом; N_p , T_p – повздовжня (горизонтальна) і поперечна (вертикальна) складові зусилля, що діє при різі.

Прості по пристрою і надійні в експлуатації. Широко застосовуються для гарячого різання смуг товщиною до 12мм, холодної різання смуг товщиною до 3 мм і гарячого різання сортового прокату

Складаються з двох барабанів циліндричної форми, уздовж утворюючих яких закріплені ножі. Ролики, що подають розкат (або валки останньої кліті безперервного стану), направляють смугу в зазор між барабанами. При зустрічі верхнього і нижнього ножів відбувається процес різання

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						21
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Оскільки окружна швидкість барабанів встановлюється рівною швидкості руху смуги, то при різанні горизонтальна складова швидкості ножів дорівнює швидкості смуги і відносно неї на деякій ділянці вони нерухомі. Тут використовується той факт, що мала дуга окружності великого радіуса практично не відрізняється від прямої лінії.

Для створення відриву між відрізними шматками і рештою смуги швидкість рольганга за ножицями встановлюють дещо більшою швидкості смуги перед ножицями. Окружна швидкість барабанів повинна приблизно дорівнювати швидкості смуги через те, що при випередженні смугою ножів вони будуть згинатися, а при відставанні виникатиме підвищене навантаження на ножах через напругу, що розтягують смугу. Проте для невеликої зміни довжини відрізуваних шматків співвідношення швидкості смуги V_n і ножиць $V_{\text{н}}$ змінюють в інтервалі

$$V_{\text{н}} = (0,75 \div 1,5) V_n.$$

Для більшої зміни довжини відрізуваних шматків встановлюють барабани різного діаметру і з різним числом ножів, в результаті чого різ відбувається не при кожному оберті.

Число обертів барабанів за час між двома послідовними різаними називається коефіцієнтом пропуску різку k . Якщо барабани мають по два ножа, то різ відбуватиметься через кожні півоберта барабанів і коефіцієнт k дорівнюватиме 0,5. Довжина шматка, що відрізають, дорівнюватиме:

$$L = k \times D_0 = 0.5 D_0$$

Аналогічний результат виходить при 4-х ножах на верхньому барабані і 2-х на нижньому, якщо діаметр нижнього барабана в два рази менше верхнього. Таким чином змінюючи співвідношення між діаметрами барабанів і числом ножів, можна змінювати довжину відрізуваних шматків в широких межах.

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Оскільки барабани обертаються з постійною швидкістю і обертові маси повністю врівноважені, то ці ножиці дозволяють різати метал, що рухається зі швидкістю до 15 м/с і вище.

Але у них є принциповий недолік: оскільки траєкторія руху різальних крайок ножів є колом, то різання відбувається при змінному куті зустрічі з смугою і площа різання не буде вертикальною.

Летючі ножиці розташовані після останньої кліті і використовуються для різки готового **прокату** на мірні довжини та обрізки передніх або задніх кінців прокату.

1.4 Аналіз існуючих систем та пристроїв автоматичного управління розкрієм прокату

Розглянемо існуючі системи управління порізом металу, які в даний час функціонують на підприємствах. У різних системах управління використовуються різні методи, датчики та алгоритми.

Можливість отримання заготовки необхідних розмірів для сортових станів пов'язана з технологічним процесом обтиснення на неперервному стані. У зв'язку з коливанням маси блюмів і величин передньої і задньої обрізі, непостійністю температурних умов обтиснення і натягнення смуги між клітками безперервного стану, геометричні розміри заготовок для сортових станів відрізняються від номінальних.

Для зменшення втрат в обрізі на станах застосовуються різні системи порізу та розкрою, зокрема із застосуванням сучасного обладнання та можливостей ЕОМ.

Розглянемо функціонування діючої системи оптимального розкрою металу на заготівельному прокатному стані. Основний принцип її роботи полягає у визначенні довжини заготовки при оптимальній масі Q_{Zopt} з урахуванням заданих статистичних характеристик. Розрахунок цієї оптимальної ваги

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

здійснюється за допомогою обчислювальної техніки відповідно до алгоритму оптимізації розкрою.

Значення довжини заготовки обчислюється за формулою: $L_{opt} = Q_{zopt} / \rho S_z$.

Система керування, яка відповідає за роботу приводу рольгангів і ріжучого механізму, реалізує визначений розкрійний план, використовуючи дані з оптичного пристрою, що фіксує довжину заготовки в реальному часі. Відрізання виконується шляхом переміщення заготовки в зону різку на відстань, яка дорівнює довжині розрахованої заготовки L_p , через відповідне керування приводами рольгангів на ділянці ножиць.

Особливістю застосованого алгоритму є врахування актуальної ринкової вартості металу при визначенні оптимальної ваги заготовки. Однак ця ж особливість може стати і недоліком системи, оскільки зміни цін на ринку відбуваються доволі часто, що впливає на стабільність і точність розрахунків.

Найбільше поширення набули системи розкрою штанг на заготовки однакової довжини (рівномірний розкрій) і системи, що передбачають розподіл головної частини штанги на заготівлі заданої довжини і рівномірний розкрій хвостової частини штанги в межах поля допуску (ступінчастий розкрій).

За допомогою ЕОМ розраховується і встановлюється довжина відрізуваної ділянки, а також досягається безвідходне різання металу, що прокатують. Розрахунок заснований на вимірі довжини прокату і готового виробу і на допустимій величині відхилень довжини відрізків, в межах якої вона може варіюватися. Помилки розкрою, обумовлені погрішностями вимірювань і зносом валів, коректуються автоматично.

На рис. 1.9 показана блок-схема системи оптимального розкрою прокату на безперервно – заготівельному стані.

Ножиці обрізають заготівлю, прокату на безперервно – заготівельному стані. На шляху до чистової групи клітей заготовка проходить вимірювальну ділянку, на якій визначається її довжина. На ділянці встановлені три фотоелементи. Між двома першими фотоелементами розміщений роликівий зонд, який притиснуто до смуги, що прокатують, пневматичним пристроєм.

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

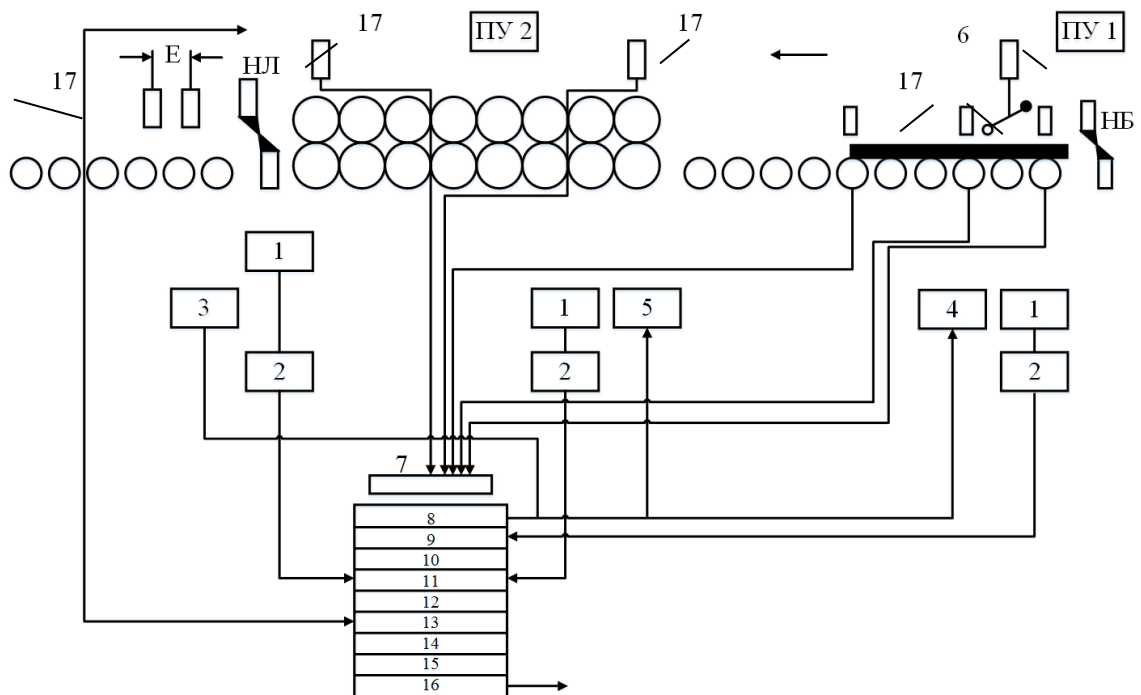


Рисунок 1.9 - Блок-схема системи оптимального розкрою прокату на безперервно-заготівельному стані

З роликівим зондом пов'язаний імпульсний датчик довжини ЕОМ, що визначає довжину заготівки по числу імпульсів і сигналам від фотоелементів, встановлених на фіксованих відстанях.

На рисунку 1.9 прийняті наступні позначення: 1 - імпульсний датчик; 2 - рахунковий регістр; 3 - ділянка летючих ножиць; 4 - ділянка ножиць для заготівель; 5 - очікування; 6 - роликівий зонд; 7 - аварійні входи; 8 - стеження за металом; 9 - вимірювання довжини підкату; 10 - введення даних; 11 - вимірювання швидкості і довжини смуги; 12 - визначення довжини відрізаного куска; 13 - позиціонування фотоелементів у летючих ножиць; 14 - визначення коефіцієнта корекції зазору між валками; 15 - корекція моменту спрацьовування летючих ножиць; 16 - видача протоколу; 17 - фотоелементи; НБ - ножиці для блюмів; ПУ1 - пост управління ножицями; ПУ2 - пост управління чистовою групою клітей; НЛ - летючі ножиці; Е - котирувальний відрізок.

Недоліком цієї системи є те, що вона не враховує фактичну довжину розкату, при цьому утворюються короткі залишки, що порушують нормальну роботу холодильника і збільшують відходи металу.

Існує система автоматичного мірного різання смуги "САМС", розглянемо особливості її роботи (рис.1.10).

Система САМС призначена для автоматичного мірного розкрою прокату на агрегатах поперечного різання смугового і сортопрокатного металургійного виробництва. Система САМС вимірює швидкість і довжину прокату, поточний стан і лінійну швидкість ножів ножиць, і видає в регулятор швидкості електроприводу ножиць керуючий сигнал на завдання швидкості в функції заданої довжини порізу.

В алгоритмі системи передбачений режим "підрубки" передньої і задньої частин смуги. До складу системи входять два імпульсних датчика ДІФ11, або ДІФ12, які призначені для вимірювання шляху, швидкості смуги, положення і лінійної швидкості ножів ножиць, фотодатчика ФШ46, який визначає положення головної і хвостової частин смуги щодо осі різу, блоку управління БУ189, реалізованого на мікроконтролері MicroPC 6040 фірми Octagon Systems.

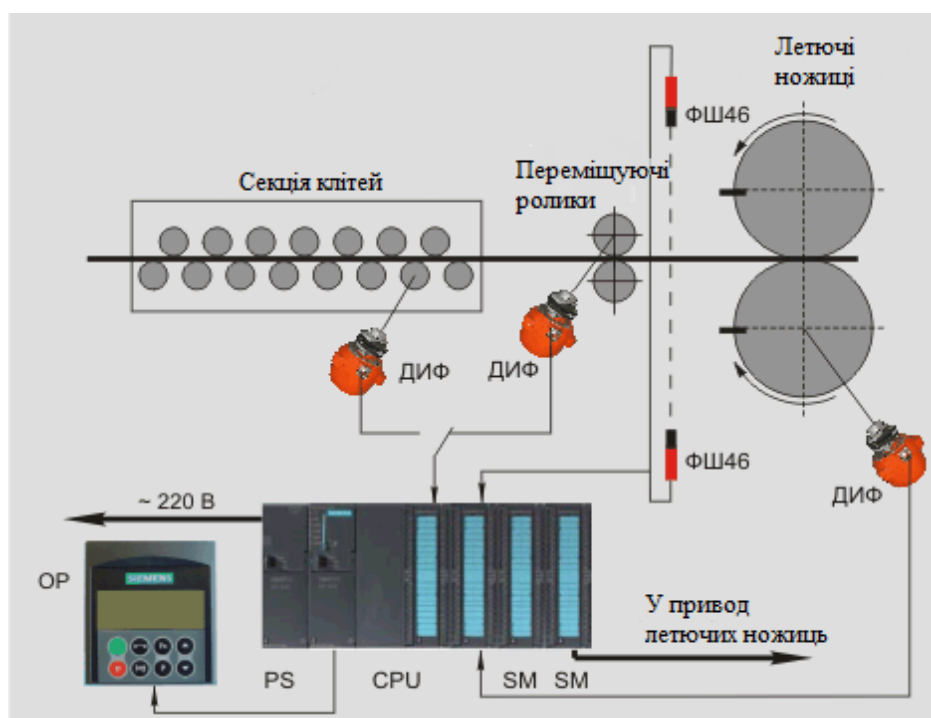


Рисунок 1.10 – Приклад САМС на модулях фірми Siemens

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		26

Межа допустимого значення абсолютної похибки довжини порізу в сталому режимі - 2 мм. у всьому діапазоні завдань довжини порізу і швидкостей смуги.

Дана система порізу дозволяє виконувати поріз металу з великою точністю, але для цього потребує новітнього обладнання (датчики, контролери, пункти управління), що при модернізації або повній заміні системи представляє собою складну і дорогую операцію.

На рисунку 1.11 представлено структурну схему системи оптимального розкрою металу, яка застосовується на заготовочному прокатному стані. У схемі використано такі позначення: 1 – металопрокат; 2 – сенсор контролю висоти прокату; 3 – температурний датчик металу; 4 – електронно-обчислювальна машина; 5 – пристрій для вимірювання довжини заготовки; 6 – пульт керування системою; 7 – виконавчий блок; 8 – датчик ширини заготовки.

Функціонування системи базується на обчисленні довжини заготовки, що дозволяє досягти її оптимальної ваги Q_{Zopt} з урахуванням заданих статистичних параметрів.

Розрахунок значення Q_{Zopt} виконується на ЕОМ згідно з алгоритмом оптимального розкрою металу.

Довжину заготовки визначають за наступною формулою:

$$L_{opt} = Q_{Zopt} / \rho S_Z ,$$

де ρ – густина металу, кг/мм³; L_{opt} – оптимальна довжина заготовки, мм; S_Z – фактична площа поперечного перерізу заготовки, мм².

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

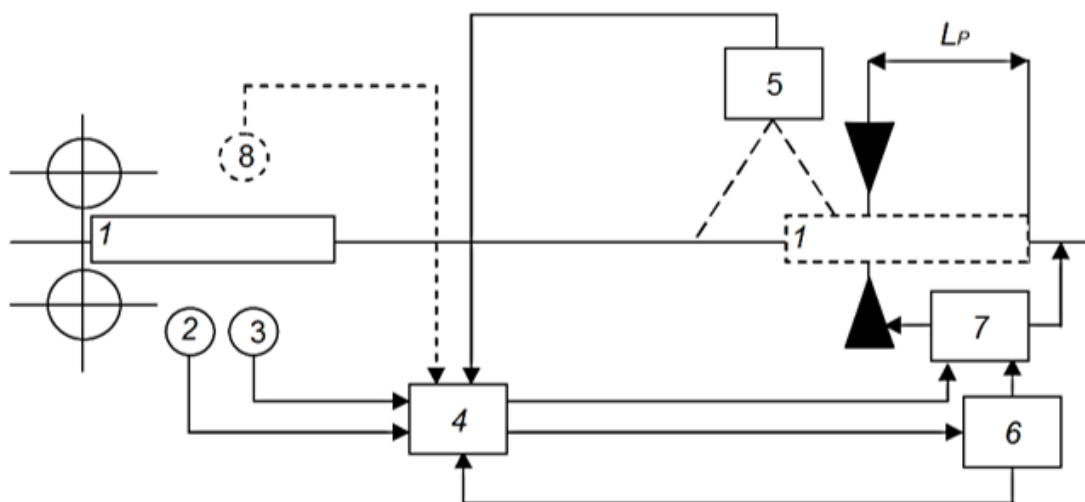


Рисунок 1.11 – Структурна схема системи оптимального розкрою металу на заготовчому обтискному стані МБЛЗ

Оскільки на заготовчому обтискному стані металевий розкат перед фінальним проходом зазнає кантування, площа його поперечного перерізу S_Z визначається за формулою: $S_Z = H_N \times H_{(N-1)}$, де H_N і $H_{(N-1)}$ – висоти розкату відповідно в останньому та передостанньому проходах, які фіксуються датчиком висоти (елемент 2 на схемі).

У разі використання машини безперервного лиття заготовок (МБЛЗ), де кантування не відбувається, необхідне додаткове встановлення датчика ширини заготовки (елемент 8). Для вимірювання як висоти, так і ширини доцільно застосовувати систему технічного зору (СТЗ) [6], яка забезпечує точне, надійне та безконтактне зчитування параметрів у режимі реального часу, без зупинки прокатного процесу.

Крім того, частина заготовки, що відрізається, коригується відповідно до її температури T_Z , яка фіксується температурним сенсором (блок 3). Остаточна довжина заготовки L_p визначається за формулою:

$$L_p = \Delta L_t + L_{opt},$$

де ΔL_t – температурна поправка, яку обчислюють за рівнянням:

$$\Delta L_t = \alpha L_{opt} (T_Z - T_0),$$

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		28

де α – коефіцієнт температурного розширення металу, T_0 – номінальна температура прокату.

Виконавча частина системи (блок 7) керує приводами рольгангів та ножиць згідно з планом розкрою, який формується на підставі даних з оптичного датчика довжини заготовки (блок 5). Розріз здійснюється шляхом точного переміщення розкату на розраховану довжину L_p , за лінію різу.

Відомий пристрій до прокатного стану для безвідходного різання прокату на заготовки летючими ножицями, що містить лічильно-обчислювальний блок, привод летючих ножиць, блок корекції, вимірювач довжини прокату, встановлений на вході чистової групи клітей, три базових датчика, два з яких встановлені відповідно по осі вхідної і вихідної клітей, а третій встановлено перед чистовою групою клітей на відстані від площини різу, що дорівнює умовній довжині розкату після прокатки [2].

Недоліками даного пристрою є неможливість отримання безвідходного розкрою прокату з першої заготовки, неможливість корекції довжини відрізуваної заготовки в процесі різання і незручність обслуговування системи.

Найбільш близьким за своєю технічної сутністю і досягненими результатами до пропонованого винаходу є пристрій для безвідходного розкрою прокату, що містить обчислювальний блок з інформаційними та командними виходами, стежачий привод летючих ножиць, датчик сходження ножів летючих ножиць і два датчика наявності прокату, встановлені відповідно по осі вхідної кліті чистової групи прокатного стану і в площині різу ножиць і підключені до командних входів обчислювального блоку, а також оптичної системи з фотоелектричним перетворювачем на приладах із зарядним зв'язком, встановленої на вході чистової групи клітей прокатного стану, що забезпечує безперервне стеження за переміщенням розкату у всьому полі зору, електронного блоку обробки вихідного сигналу фотоелектричного перетворювача і вузла рахунку числа сходження ножів летючих ножиць [2].

Недоліками даного пристрою є неможливість отримання безвідходного розкрою прокату з першої заготовки і неможливість корекції довжини відрізуваної заготовки в процесі різання.

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						29
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Пропонується пристрій [23], що відноситься до металургії, зокрема до прокатного виробництва, і використовується на безперервних заготівельних станах для безвідходного різання прокату на заготовки летючими ножицями.

Технічний результат, це збільшення виходу придатного прокату шляхом безвідходного розкрою з першої заготовки.

Технічний результат досягається тим, що пристрій до ножиць прокатного стану для оптимального розкрою прокату містить вимірювач довжини розкату перед чистовою групою клітей на базі датчиків безперервного спостереження за розкатом, датчики наявності розкату по осях клітей чистової групи, приводний ролик, що стежить за процесом, датчик сходження ножів летючих ножиць, слідкуючий привод летючих ножиць і обчислювальний блок (рис. 1.12).

Пристрій додатково містить вимірювач довжини розкату на виході з чорнової групи клітей на базі датчика наявності розкату по осі останньої кліті, по крайній мірі, один датчик положення розкату, що подає сигнал про наявність розкату в обчислювальний блок. Пристрій виміру заготівлі, що відрізають на летючих ножицях, складається з блоку обробки інформації, вимірювальної камери і, по крайній мірі, одного датчика положення відрізаною заготовки.

При цьому вихід датчика з'єднаний з входом вимірювальної камери, а вихід вимірювальної камери зі входом блоку обробки інформації, вихід якого з'єднаний з входом обчислювального блоку, камеру перед чистовою групою клітей, посиляє сигнал про величину зачистки «голови» розкату в блок обробки інформації, при цьому обчислювальний блок виконаний на базі програмованого контролера.

Технічний результат - збільшення виходу придатного прокату шляхом безвідходного розкрою з першої заготовки.

Пристрій (рис.1.12) містить вимірювач 1 довжини розкату 2 на виході з чорнової групи клітей 3 на базі датчика наявності розкату по осі останньої кліті, датчик 4 положення розкату, вимірювач 5 довжини розкату перед чистовою групою клітей 6 на базі датчиків безперервного спостереження за розкатом, вимірювальна камера 7, призначена для визначення величини зачистки на

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

маятникових ножицях 8, датчики 9 наявності розкату по осях клітей чистової групи, обчислювальний блок 10 на базі програмованого контролера, датчик 11 швидкості приводного ролика 12, що стежить, датчик 13 сходження ножів, слідкуючий привод 14 летючих ножиць 15, пристрій виміру відрізаємої заготовки 16 після летючих ножиць, що складається з вимірювальної камери 17, датчика 18 положення заготовки і блоку 19 обробки інформації.

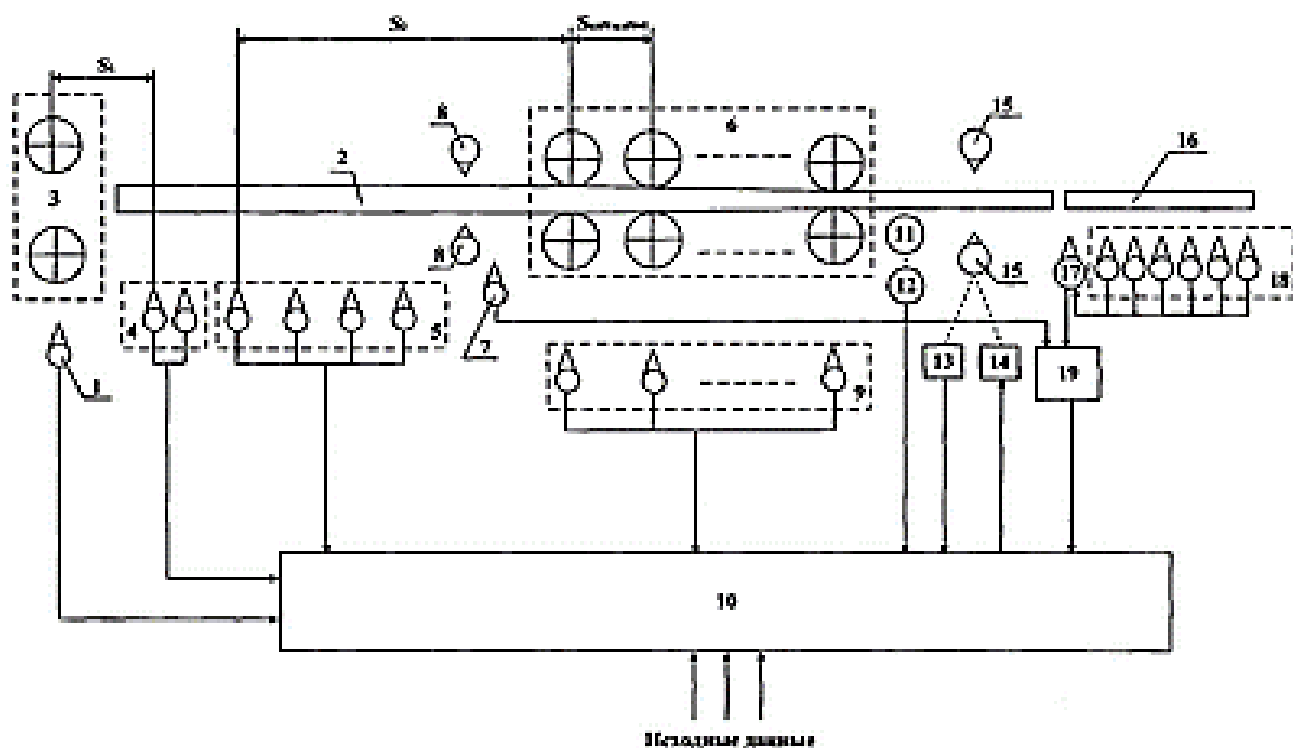


Рисунок 1.12 – Блок - схема пристрою автоматизації ножиць прокатного стану для розкрою прокату

Відома система АСУТП розкрою прокату виконана на базі контролера МСКУ 1995р. випуску (рис.1.13).

При необхідності виробництва заготовки іншого сортаменту (100×100, 125×125. і т.д.) забезпечення розрахункової продуктивності стану (6 млн. т/рік) не представляється можливим. Робочим місцем оператора ножиць є пульт керування.

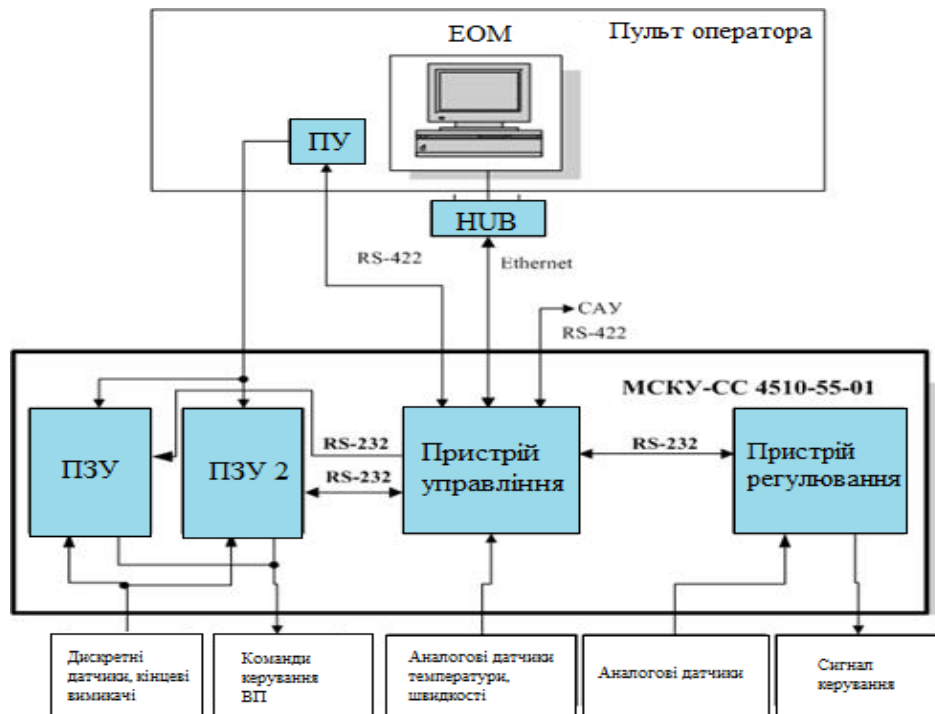


Рисунок 1.13 – Структурна схема АСУ ТП порізу прокату з контроллером МСКУ

Загальні кліматичні умови території ділянки:

- максимальна (річна) температура, °С плюс 55;
- мінімальна (зимова) температура, °С мінус 34;
- середня річна відносна вологість, % 73.

Дана ділянка цеху забезпечена об'єктами інфраструктури, має для зв'язку доступні телефонні послуги та послуги електронної пошти.

До недоліків даної системи можна віднести застарілість її обладнання. Застарілість обладнання збільшує похибку різку, а також аварійність, що може призвести до браку і простоям усього стану. Також дана система автоматичного порізу металу веде архівування процесу в незручній формі, що ускладнює пошук потрібних даних.

Існує система управління розкрієм прокату (СУРП). Основна мета використання СУРП досягається виконанням нею таких функцій:

- вимірювання довжини розкатів на виході з групи клітей 700;
- контроль і облік замірів швидкості розкатів на виході клітей 700;

- розрахунок розкрійного плану для порізу розкатів на ножицях обвідної лінії;
- облік параметрів розкрою заготівель на обвідній лінії НЗС;
- заміри довжини розкатів на вході у групу клітей 500;
- контроль проходження розкату у клітях групи 500;
- вимір коефіцієнтів витяжки і швидкості розкатів у клітях групи 500;
- вимірювання та облік довжини заготівель на чистовій стороні групи клітей 500;
- вимірювання обрізі довжини розкатів при зачищенні їх кінців на ножицях обвідної лінії, маятникових та летючих ножицях групи клітей 500;
- стабілізація параметрів розкрою в не детермінованому полі варіацій параметрів розкатів і обладнання груп 700 та 500 НЗС;
- облік масових параметрів розкатів, заготівель та обрізі на основі періодичних планових вимірювань перетинів розкатів;
- поплавочний облік даних по параметрам готового прокату НЗС.
- фіксація часу відхилення параметрів процесу за припустимі межі;
- циклічне збереження даних вимірюваних параметрів та розрахованих показників у процесі роботи системи;
- виявлення критичних ситуацій (передаварійних або аварійних режимів) та подання відповідних сигналів оповіщення.

Висновки до розділу

1. Дослідження технологічного процесу прокатки металу та особливостей технологічного процесу порізу металопрокату на ножицях встановило, що найбільш доцільним є використання летючих барабанних ножиць, так як, вони прості по конструкції і надійні в експлуатації. Широко застосовуються для гарячого і холодного різання сортового прокату.

2. Аналіз існуючих систем автоматизації порізу металу, що використовуються на прокатних станах, показав, що розглянуті системи

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						33
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

оснащені застарілим обладнанням, не використовують сучасних прикладних програм, систему самодіагностики та інформаційну базу.

3. В результаті чого встановлено, що локальні системи автоматизації стану застарілі і потребують оновлення, також виконано обґрунтування модернізації системи автоматичного керування порізом металопрокату. Метою модернізації існуючої системи порізу є розширення сортаменту продукції, якості порізу заготівель та підвищення економічних показників

4. На основі аналізу сформовано вимоги до системи порізу металу на летючих ножицях, що модернізується, а саме:

- встановлення нового обладнання (контролерів, датчиків, ножиць);
- впровадження нового розкрійного плану;
- модернізації системи АСУ ТП розкрою прокату.

					КНУ.КРБ.151.25.05.01.ПЗ	Арк.
						34
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 2

РОЗРОБКА САК ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ ТА ЇЇ ПРОГРАМНО-ТЕХНІЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ

2.1 Обґрунтування модернізації автоматизованої системи керування порізом металопрокату

У даній роботі досліджується процес регулювання швидкості різання металу шляхом синхронізації швидкості маятникових ножиць зі швидкістю металу.

Регульованими параметрами є швидкість подачі розкату й швидкість ножиць, що регулюють. Регулюючим впливом – зміна керуючої напруги від регуляторів, а зовнішнім збурюванням – зміна швидкості обертання валків, розмірів розкату, температури металу, зміни опору руху й інших впливів, що збурюють.

Контролюються такі параметри, як швидкість руху розкату, ножиць і валків, температура металу, місце розташування початку й кінця розкату, його довжина.

Задача модернізації існуючої системи АСК металопрокату підвищити такі показники: насамперед, це точність і стабільність прогнозів довжини розкату щодо фактичної довжини заготовки та підвищення точності виконуваних функцій управління приводом двобарабанних ножиць. Крім того, має значення розширення функціональних та інформативних можливостей технологічного персоналу за рахунок впровадження сучасних технічних засобів автоматизації, це допоможе знизити аварійність роботи стану.

Для досягнення зазначених показників якості модернізована система повинна включати в себе наступні підсистеми:

- підсистема управління розкриттям на летючих ножицях;

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ						
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата							
Разробив	Харитоненко				РОЗДІЛ 2			Літера	Аркуш	Аркушіє	
Перевірів	Тиханський М.П.									11	
								КНУ АКІТ–22ск			
Н.контроль	Маринич І.А.										
Затвердив											

- підсистема синхронізації приводу ножиць зі швидкістю прокату;
- підсистема оперативного контролю і управління;
- підсистема формування бази даних та архівування ходу технологічного процесу.

Для визначення прогнозованої довжини металевої смуги в системі розкрою за допомогою летючих ножиць аналізується технологічний ланцюг, що послідовно включає безперервно-заготовочний стан (НЗС) типу «900/700/500» [1], середньосортний стан та подальше прокатування на дрібносортному стані (див. рис. 2.1).

Після виконання різання на летючих ножицях середньосортного стану отримані штанги можуть бути або реалізовані як заготовки, або направлені на подальше прокатування до стану готової продукції на дрібносортному стані.

Прокат заданого поперечного перерізу, що рухається зі швидкістю до 6 м/с, підлягає поділу на заготовки визначеної довжини. Ця довжина знаходиться в межах допустимого інтервалу (10,9–11,8 м для НЗС «900/700/500»). Формування плану розкрою має здійснюватися у реальному часі, оскільки на момент надходження металопрокату до зони летючих ножиць його точна довжина ще не встановлена — прокатка триває. Фактична довжина залежить наприклад від типу прокату (сортаменту), вибраного режиму прокатування, а також від випадкових варіацій ступеня обтиснення металу під час проходження крізь валки стану.

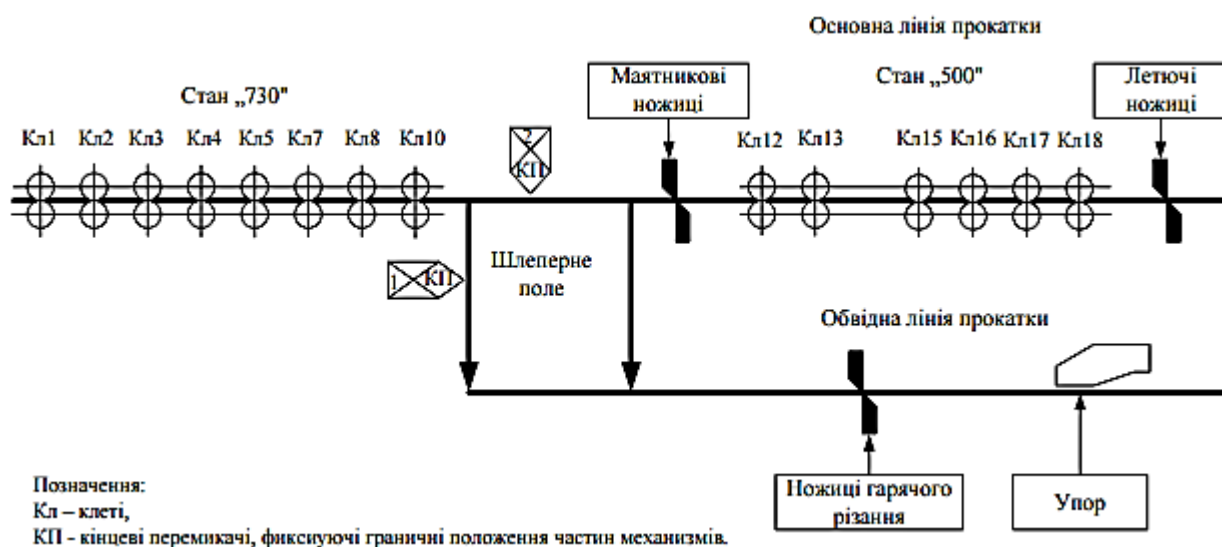


Рисунок 2.1 – Схема розташування обладнання НЗС «900/700/500»

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						36
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Сучасні прокатні комплекси, оснащені високотехнологічним обладнанням, передовими методами автоматизації та новітніми технологіями обробки металу, дозволяють значно розширити можливості оптимізації. Це, зокрема, стосується удосконалення алгоритмів прогнозування довжини металопрокату [2] та розробки динамічного плану розкрою, спрямованого на мінімізацію втрат і підвищення ефективності виробництва.

2.2 Математичний опис барабанних ножиць, як об'єкта керування

Двобарабанні летючі ножиці є ключовим елементом у системі розкрою рухомої металевої смуги. Вони відзначаються відносною простотою конструкції, високою надійністю та ефективністю в умовах безперервного виробництва.

Конструктивно ножиці складаються з двох обертових барабанів (рис. 2.2), у пазах яких по твірних розташовані ножі. Смуга металева подається до зони різання за допомогою рольгангів або прокатних валків останньої кліті стану з постійною швидкістю V_n .

Відрізання частини смуги відбувається під час співпадіння положення верхнього та нижнього ножів.

Для забезпечення технологічного зазору між відрізними елементами смуги необхідно, щоб швидкість вихідного рольганга була більша ніж швидкість подачі металу перед ножицями: $V_p > V_n$.

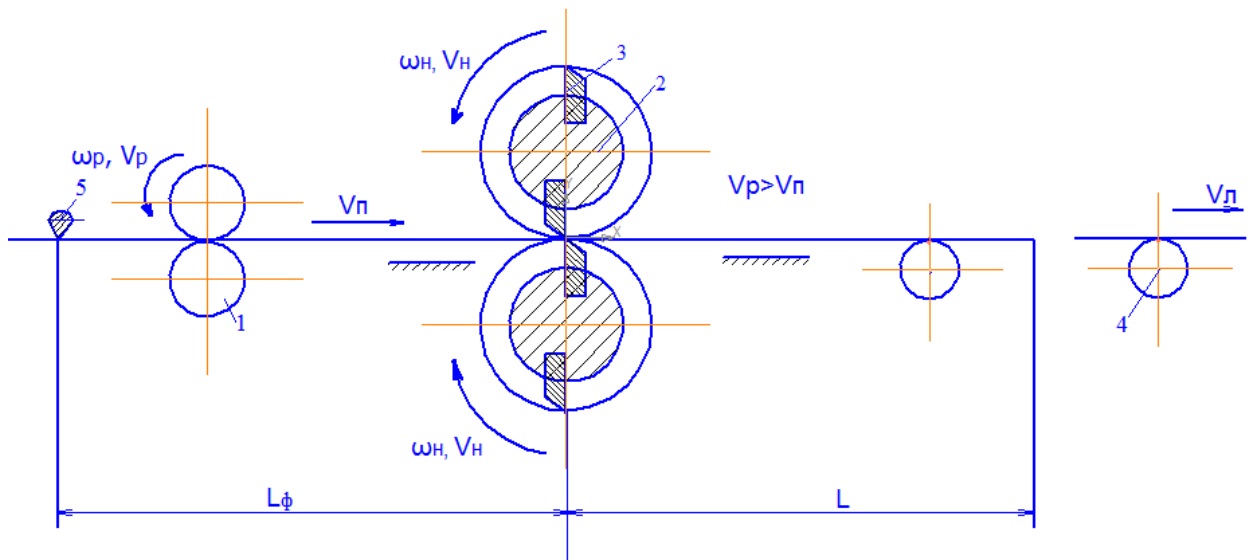
Барабанні ножиці мають 2 основних режими:

- періодичний режим (імпульсний запуск і зупинка обертання);
- безперервний режим (постійне обертання барабанів).

Періодичний режим застосовується переважно у двох випадках:

- при видаленні короткого некондиційного переднього кінця смуги;
- при розрізанні смуги на довгі заготовки за умов низької швидкості прокатки.

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		



1 – ролики подачі; 2 – барабанні ножиці; 3 – ножі; 4 – ролики рольганга;
5 – фотореле

Рисунок 2.2 – Схема принципу роботи двобарабаних ножиць

Відрізання переднього кінця ініціюється спрацюванням фотореле, встановленого перед ножицями. Необхідна довжина переднього відрізка визначається за формулою (2.1):

$$L = V_n t_{\text{розг}} - L_{\phi} \quad L = V_n t_{\text{розг}} - L_{\phi}$$

де $t_{\text{розг}}$ – час розгону ножиць від початкового положення барабанів до моменту зустрічі ножів; V_n – швидкість руху смуги.

При умові $V_n t_{\text{розг}} < L_{\phi}$, фотореле слід розміщувати за ножицями.

Безперервний режим – використовується при сталому потоці металу з $V_n = \text{const}$. У цьому випадку відрізки формуються через рівні проміжки часу t_c , і довжина відрізаних заготовок дорівнює:

$$L = V_n t L = V_n t$$

де t – час між двома послідовними різаними.

Шлях, який проходить ніж за один цикл, дорівнює:

$$L_{\Pi} = \pi D_{\text{H}} k L_n = \pi D_{\text{H}} k,$$

де D_{H} — діаметр барабана; k – коефіцієнт пропуску різу (кількість обертів барабана на одне різання).

Оскільки окружна швидкість ножа дорівнює:

$$V_{\text{H}} = \omega_{\text{H}} \frac{D_{\text{H}}}{2} V_{\text{H}} = \omega_{\text{H}} \frac{D_{\text{H}}}{2}$$

то інтервал часу між різаними:

$$t = \frac{L_{\text{H}}}{V_{\text{H}}} = 2\pi \frac{k}{D_{\text{H}}} t = \frac{L_{\text{H}}}{V_{\text{H}}} = 2\pi \frac{k}{D_{\text{H}}}$$

тоді

$$t = 2\pi V_{\text{H}} \frac{k}{\omega_{\text{H}}} \quad t = 2\pi V_{\text{H}} \frac{k}{\omega_{\text{H}}}.$$

Таким чином, при постійній швидкості смуги ($V_{\text{H}} = \cos t \quad V_{\text{H}} = \cos t$) довжина заготовки, що відрізається, залежить від k та кутової швидкості ω_{H} .

Щоб уникнути згинання металу в момент різання, горизонтальна компонента швидкості ножа повинна перевищувати швидкість смуги на 2–3%:

$$V_{x\text{n}} = V_{\text{n}} \cos \varphi \approx (1 \dots 1,03) V_{\text{n}}$$

У цьому випадку в момент різання смуга не буде згинатися.

Регулювання параметра k може здійснюватися за рахунок:

- зміни кількості ножів;
- використання барабанів різного діаметру;
- впровадження спеціальних механізмів пропуску.

Конструкція ножиць зазвичай розраховується під заданий діапазон товщин металу $h_{\text{min}} \dots h_{\text{max}}$ у співвідношенні: $h_{\text{max}} / h_{\text{min}} = 4 \dots 6$.

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						39
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Розрахунок зусилля та моменту різання

Схема дії ножів показана на рис. 2.3. Через специфіку конструкції, в якій ножі встановлено паралельно осям барабанів, їх впровадження в матеріал відбувається по зустрічній траєкторії. Максимальне зусилля різання визначається:

для паралельних ножів:

$$P_n = k_1 k_2 k_3 \sigma_B B h (1 - \varepsilon_H)$$

для похилого верхнього ножа:

$$P_n = k_1 k_2 k_3 \sigma_B \frac{2 - \varepsilon_H}{2 \tan \alpha} \varepsilon_H h^2$$

де σ_B — межа міцності на розрив; $k_1 = \tau_{\max} / \sigma_B \approx 0,6 \dots 0,7$; $k_2 = 1,2 \dots 1,4$ — враховує затуплення ножа; $k_3 = 1,1 \dots 1,3$ — враховує збільшення бокового зазору; ε_H — відносна глибина впровадження ножа; α — кут нахилу ножа; Bh — площа поперечного перерізу смуги.

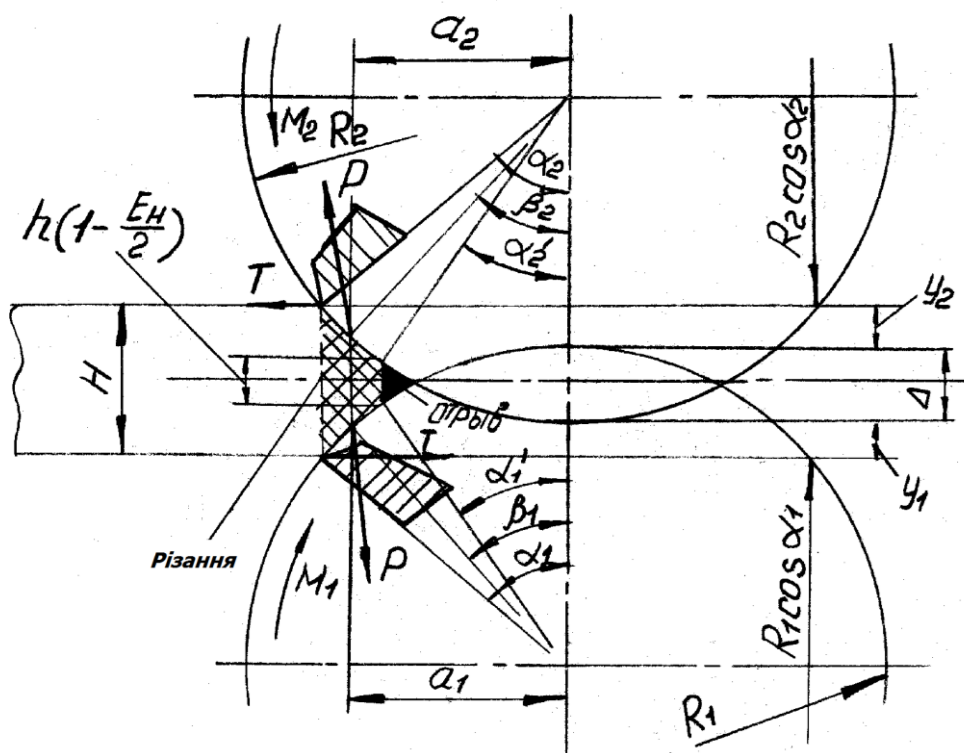


Рисунок 2.3 – Схема різання на барабанних ножицях

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ

Арк.

40

Сила розпору між ножами приблизно становить: $T = 0,2 P$, але вона враховується лише при розрахунку опорних навантажень, не впливаючи на сам момент різання

Експериментальні дані коефіцієнтів вм'ятості ε_ε і надрізу наведено у табл.2.1.

Таблиця 2.1 – Експериментальні дані коефіцієнтів вм'ятості ε_ε і надрізу

Метал	Гаряче різання		Холодне різання	
	ε_ε	ε_H	ε_ε	ε_H
Сталь 10	0,32...0,40	0,75...1,00	0,30	0,50
Сталь 50	0,25...0,30	0,70...0,95	0,20	0,30...0,40
Сталь 55С2	0,23...0,28	0,65...0,90	0,20	0,25...0,30
Мідь	0,35	0,95	0,30	0,45
Цинк	0,30	0,70	0,20	0,40
Дюралюміній	0,25	0,50	0,15	0,25

Визначимо кути початку і кінця різання і кут додання зусилля різання P .

З огляду на незначну величину цього кута приймемо, що зусилля P спрямовані вертикально і плечі їх застосування рівні, тобто

$$\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = R_1 \sin \beta_1 = R_2 \sin \beta_2$$

З рис. 2.2 виходить, що при $y_1 + y_2 = h - \Delta$:

$$R_1 = R_1 \cos \alpha_1 - (y_1 + \Delta); \quad R_1(1 - \cos \alpha_1) = y_1 + \Delta;$$

$$R_2 = R_2 \cos \alpha_2 - (y_2 + \Delta); \quad R_2(1 - \cos \alpha_2) = y_2 + \Delta$$

або

$$2R_1 \sin^2 \frac{\alpha_1}{2} + 2R_2 \sin^2 \frac{\alpha_2}{2} = h + D$$

Так як

$$\frac{\sin \alpha_1}{\sin \alpha_2} = \frac{R_1}{R_2} \approx \frac{\sin \frac{\alpha_1}{2}}{\sin \frac{\alpha_2}{2}}$$

кут початку різання на барабані меншого діаметру

$$2R_1 \sin^2 \frac{\alpha_1}{2} R_2 \left(1 + \frac{R_1}{R_2}\right) = h + \Delta$$

Аналогічно отримаємо формули для кутів закінчення різу і докладання зусилля Р:

$$\cos \alpha_1 = 1 - \frac{h(1-\varepsilon_h)+\Delta}{R_1\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)}; \quad \cos \beta_1 = 1 - \frac{h\left(1-\frac{\varepsilon_h}{2}\right)+\Delta}{R_1\left(1+\frac{R_1}{R_2}\right)}$$

Для верхнього (великого) барабана ці формули будуть мати вигляд:

$$\cos \alpha_1 = 1 - \frac{h+\Delta}{R_2\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)};$$

$$\cos \alpha_1' = 1 - \frac{h(1-\varepsilon_h)+\Delta}{R_2\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)};$$

$$\cos \beta_1 = 1 - \frac{h\left(1-\frac{\varepsilon_h}{2}\right)+\Delta}{R_2\left(1+\frac{R_2}{R_1}\right)};$$

$$\text{Очевидно що, } \beta_1 = \frac{\alpha_1+\alpha_2}{2}; \quad \beta_2 = \frac{\alpha_2+\alpha_1'}{2}.$$

Під час різання смуги зусилля прикладається до ножів, установлених на барабанах. Нижній барабан, як правило, є провідним, а верхній — відомим.

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						42
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Моменти, що виникають на цих елементах, розраховуються з урахуванням зусиль різання та сил розпору між ножами.

Момент різання на нижньому (провідному) барабані:

$$M_1 = P_a - TR_1 \cos \beta_1$$

де P_a — активне зусилля різання; T — сила розпору між ножами; R_1 — радіус нижнього барабана; β_1 — кут між вектором розпору і напрямком сили P_a на нижньому барабані.

Момент різання на верхньому (відомому) барабані

$$M_2 = P_a + TR_2 \cos \beta_2$$

де R_2 — радіус верхнього барабана; β_2 — відповідний кут дії сили розпору на верхньому барабані.

Приведення моменту M_2 до осі нижнього барабана:

Для спрощення обчислень обидва моменти можна звести до одного рівня — до осі нижнього барабана:

$$M_2 = M_1 \left(\frac{R_1}{R_2} \right) = P_a \left(\frac{R_1}{R_2} \right) = TR_2 \cos \beta_2 \left(\frac{R_1}{R_2} \right) = P_a \left(\frac{R_1}{R_2} \right) + TR_2 \cos \beta_2$$

Сумарний приведений момент різання:

Якщо прийняти, що кути $\beta_1 = \beta_2$ то сумарний момент на нижньому барабані буде:

$$M_{\text{рез}} = M_1 + M_2 = P_a + P_a \left(\frac{R_1}{R_2} \right) = P_a \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

Статичний момент на валу приводу ножиць:

З урахуванням втрат у системі (тертя в підшипниках, зачепленнях), остаточний розрахунковий момент на валу нижнього барабана буде:

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

$$M_{\text{CT}} = \frac{M_{\text{рез}}}{\eta} = \frac{P_a}{\eta} \left(1 + \frac{R_1}{R_2} \right)$$

де η – коефіцієнт, що враховує втрати в зубчастих передачах та підшипниках (звичайно $\eta=0,85\dots0,95$). [9]

2.3 Удосконалювання принципів керування технологічним процесом порізу металопрокату за обраним критерієм ефективності

2.3.1 Вибір критерію ефективності та складання розкрійного плану

Для удосконалення керування порізом розкату у якості критерія ефективності обираємо мінімальну кількість відходів металу у обрізь, для чого застосовуємо систему безвідхідного розкрою, засновану на мікропроцесорній техніці, а також систему прогнозування очікуваної довжини розкату.

У нашому випадку обмежимося розглядом розкрою розкатів на відрізки необхідної довжини. Процес такого розкрою включає:

- а) визначення довжини розкату;
- б) складання розкрійного плану;
- в) реалізацію розкрійного плану.

У випадку, якщо поріз розкату починають після закінчення прокатки, довжина розкату, що підлягає порізу, може бути обмірювана прямими методами. Якщо ж поріз розкату починають до закінчення прокатки, завдання визначення довжини розкату перетворюється в завдання її прогнозування.

Під складанням розкрійного плану розуміють визначення заданих значень для відрізка l_{k3} , при яких забезпечується досягнення мети розкрою розкату.

Реалізація розкрійного плану (властиво розкрій) полягає в порізі розкату на частини довжиною $l_k = l_{k3}$, $k = 0, n+1$ відповідно до розкрійного плану.

Визначення довжини розкату, що підлягає розкрою, і складання розкрійного плану здійснюється автоматичним пристроєм керування розкриєм. Реалізація

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

розкрійного плану може здійснюватися при ручному керуванні ножицями або автоматично за допомогою системи автоматичного керування ножицями (САУН). Пристрій керування розкриєм і система керування ножицями утворюють систему керування розкриєм прокату.

Для підвищення якості розкрою розкрійний план може коректуватися.

2.3.2 Визначення довжини розкату

Розглянемо прогнозування довжини підлягаючої розкрою частини розкату. Прогнозування здійснюється мікроконтролером по заздалегідь відомим математичним залежностям і алгоритмам. Прогнозування можна здійснити за результатами прокатки попередніх розкатів. У найпростішому випадку довжину можна визначити за результатами прокатки одного попереднього розкату.

Розглянемо можливості прогнозування довжини частини розкату, що підлягає розкрою, при непрямому вимірі цих показників.

Швидкість завжди може бути обмірювана прямим методом при виході переднього кінця розкату з відповідної кліті за допомогою двох фотодатчиків наявності металу, установлених за кліттю.

Величини площі для всіх розкатів даного поперечного перетину приймають рівними постійній величині.

Таким чином, застосовуючи математичний апарат, мікроконтролер обчислює прогнозовану довжину розкату.

2.3.3 Складання розкрійного плану

Завдання складання розкрійного плану можна сформулювати в такий спосіб: для розкату заданої довжини L визначити задані значення довжин частин, що відрізають, $l_{kз}$, $k = 0, n + 1$ таким чином, щоб при заданих обмеженнях на довжини й число частин, що відрізають, показник ефективності розкрою мав оптимальне значення.

Розглянемо можливе формулювання обмежень на довжину частин, що відрізають.

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Обмеження на довжину кінцевій обрізі встановлюють таким чином, щоб забезпечити видалення дефектних кінцевих частин розкату:

$$l_0 \geq l_0, l_{n+1} \geq l_{\tau(n+1)},$$

де $l_0, l_{\tau(n+1)}$ – мінімальна технологічно необхідна довжина передньої й задньої кінцевий обрізі. У нашому випадку задній кінець не відрізається.

Величина $L_c = L - l_0 - l_{\tau(n+1)}$ називається довжиною придатної частини розкату.

Величину

$$\delta = L - \sum l_k = (l_0 - l_0) + (l_{n+1} - l_{\tau(n+1)})$$

будемо називати залишком розкрою.

Розкрій, при якому довжина кінцевий обрізі має мінімально необхідне значення, а залишок відсутній $\delta = 0$, називається без залишковим.

У ряді випадків технологічно необхідне обрізання кінців відсутнє.

У цих випадках розкрій при $\delta = 0$ називається безвідхідним.

Залежно від виду обмежень на довжини смуг, що відрізають, розрізняють три способи розкрою:

- 1 – розкрій на нормальні довжини;
- 2 – розкрій на мірні довжини;
- 3 – комбінований розкрій.

При розкрою на нормальні довжини обмеження на довжини смуг, що відрізають, має вигляд

$$(l_j)_{\min} \leq l_k \leq (l_j)_{\max},$$

$$j = 1, m; \quad k = k_j, k_j'; \quad k_1 = 1; \quad k_m = n; \quad k_{j+1} = k_j' + 1, \quad (2.1)$$

де j – номер діапазону нормальної довжини; m – число діапазонів нормальних довжин; k_j, k_j' – номери першої й останньої смуги j -того діапазону нормальних

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						46
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

довжин; $(l_j)_{min}, (l_j)_{max}$ – мінімальне й максимальне припустимі значення довжини j - того діапазону.

При розкрою на мірні довжини обмеження на довжини смуг, що відрізають, має вигляд

$$l_k = l_{Tj},$$

$$j = 1, m; \quad k = k_j, k'_j; \quad k_1 = 1; \quad k_m = n; \quad k_{j+1} = k'_j + 1, \quad (2.2)$$

де j — номер мірної довжини; m — число мірних довжин; k_j, k'_j — номери першої й останньої смуги j -тої мірної довжини; l_{Tj} — j -т мірна довжина.

Будемо називати розкрій відповідно до умови (2.1) розкриєм на m нормальних довжин, а (2.2) - на m - мірних довжин.

Окремим випадком розкрою на мірні довжини є розкрій на кратні довжини, для якого обмеження на довжини смуг, що відрізають, має вигляд (2.2), у якому

$$l_{Tj} = i_j \cdot l,$$

де l — крок дискретизації мірних довжин; i_j — кратність j -тої мірної довжини.

При комбінованому розкрою смуги $k = 1, k'_m$ мають мірні довжини, а інші смуги – $k = k_n, n$; $k_n = k'_m + 1$ - нормальні довжини.

Відповідно, обмеження на довжини смуг $k = 1, k'_m$ мають вигляд (2.1), а смуг

$$k = k_n, n \quad (2.3).$$

Розглянемо можливі формулювання обмежень на число смуг, що відрізають.

Найпростішим обмеженням є завдання загального числа смуг, що відрізають, $n = n_m$, (n_m — необхідне число смуг, що відрізають).

У загальному випадку обмежується або задається число смуг j - тої нормальної або мірної довжини ($j = 1, m$) $n_{mj} = k'_j - k_j + 1$, або комбінації цих чисел.

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						47
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Звичайно як критерій ефективності використовується довжина залишку δ , а умова оптимальності розкрою формулюється у вигляді $\delta = \min$.

При постановці завдання складання розкрійного плану необхідно переконатися в тім, що накладені обмеження сумісні між собою й з умовою оптимальності. У конкретному завданні ті або інші обмеження або умова оптимальності.

2.4 Синтез системи автоматизованого керування електродвигуном двобарабанних ножиць

2.4.1 Структурна схема керування швидкістю двигуна ножиць. Обґрунтування вибору регулятора

Для реалізації автоматизованої системи керування було розроблено структурну схему керування швидкістю двигуна двобарабанних ножиць під час порізу розкату (рис. 2.4) та при використанні Matlab та Simulink, побудовано модель розробленої структурної схеми керування швидкістю двигуна двобарабанних ножиць під час порізу розкату (рис. 2.5).

Для покращення якості керування та одержання заданих параметрів процесу порізу металопрокату, а саме необхідного співвідношення швидкості руху металевієї смуги та ножиць, вводимо в систему регулятор ПІ (пропорційно-інтегруючий) та регулятор ПІД (пропорційно-інтегро-диференціюючий). Та виконаємо аналіз роботи системи з різними типами регуляторів: порівняння з типовим ПІ – регулятором (PI – контролером) та ПІД – регулятором (PID – контролером).

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						48
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

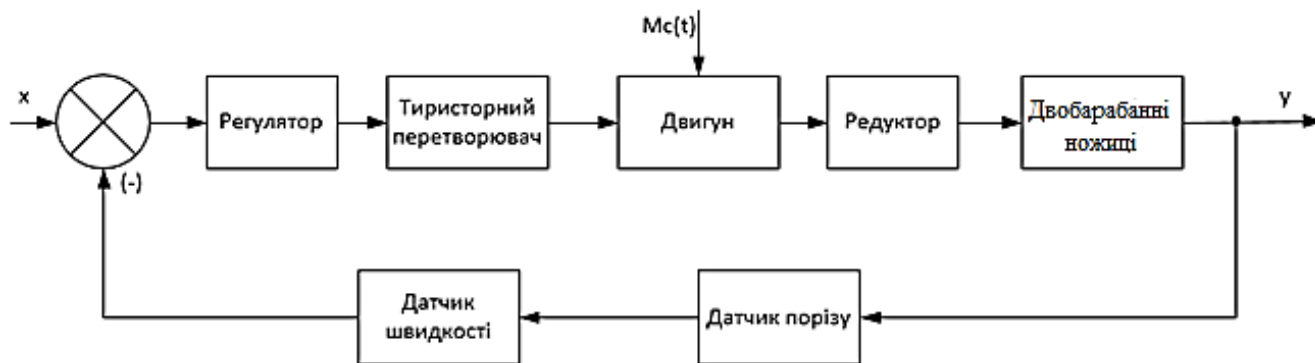


Рисунок 2.4 – Структурна схема керування швидкістю двигуна двобарабаних ножиць під час порізу розкату

За створеною структурною схемою САУ швидкістю двигуна двобарабаних ножиць під час порізу розкату була складена Simulink-модель (рис.2.5).

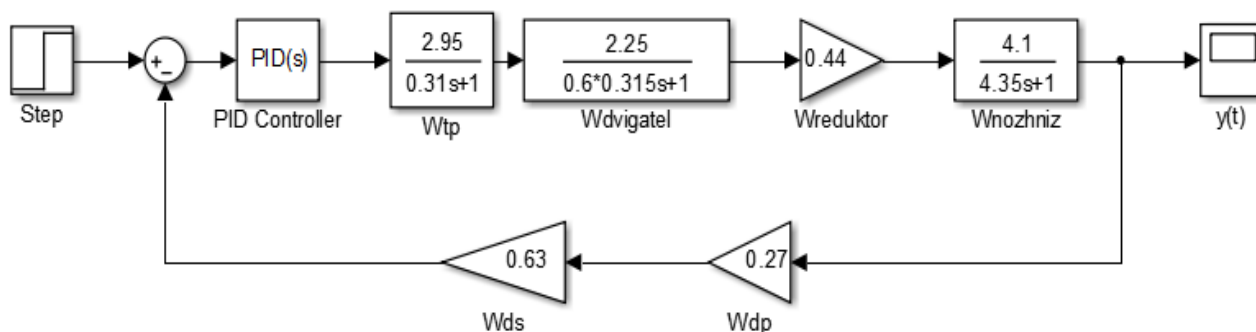


Рисунок 2.5 – Модель системи керування швидкістю двобарабаних ножиць під час порізу розкату з ПІД регулятором

2.4.2 Моделювання роботи системи керування швидкістю двобарабаних ножиць

У модель САУ був доданий ПІД-регулятор для усунення статичної помилки розрахунків і поліпшення показників якості управління. Параметри регулятора наведені на рис. 2.6, 2.7.

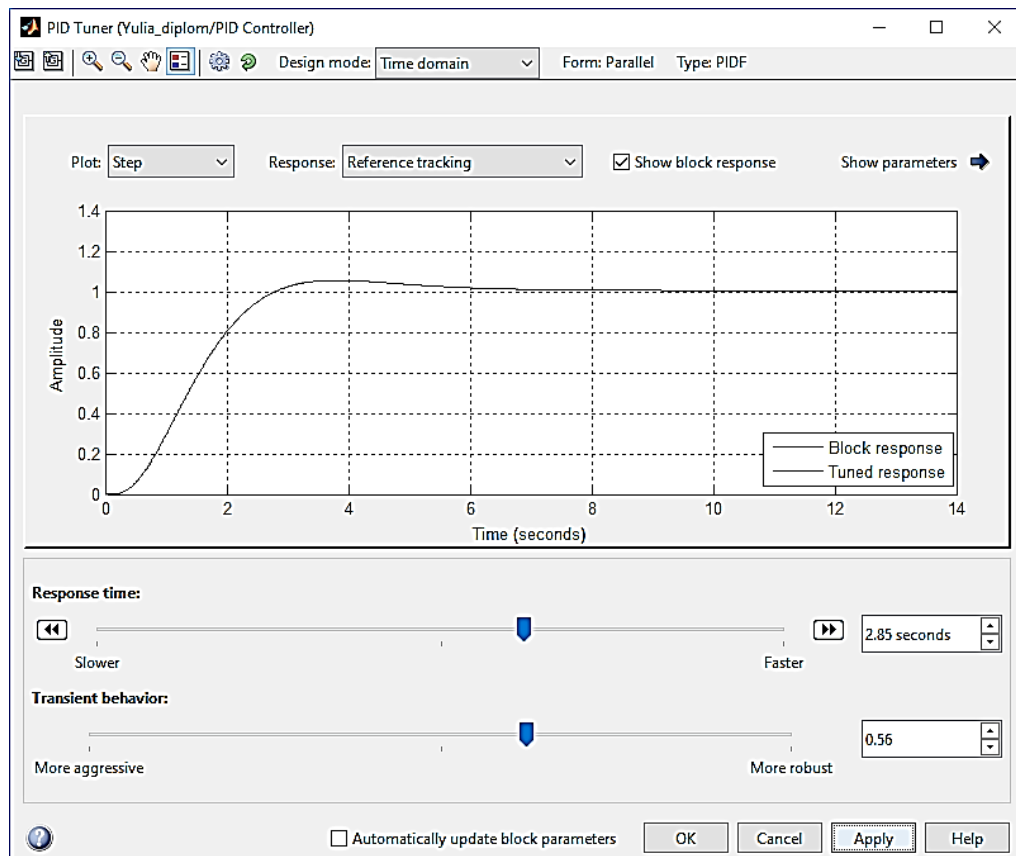


Рисунок 2.6 – Розрахунок коефіцієнтів системи з ПД-регулятором

Рисунок 2.7 – Отримані коефіцієнти ПД регулятора

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ

Арк.

50

Для порівняння роботи системи з різними регуляторами вводимо в систему регулятор ПІ (пропорційно-інтегруючий). Та виконаємо аналіз роботи системи з різними типами регуляторів: порівняння з типовим ПІ – регулятором (PI – контролером) та ПІД – регулятором (PID – контролером).

Побудуємо перехідні характеристики системи при цих регуляторах.

Побудована перехідна функція системи керування з ПІ-регулятором представлена на рис.2.8.

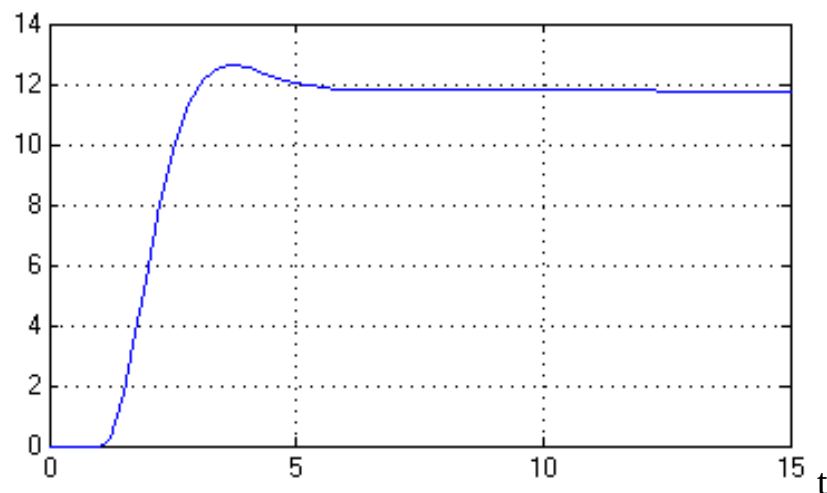


Рисунок 2.8 – Перехідна функція системи керування з ПІД-регулятором

Для аналізу показників якості системи побудуємо перехідну характеристику системи (рис. 2.9):

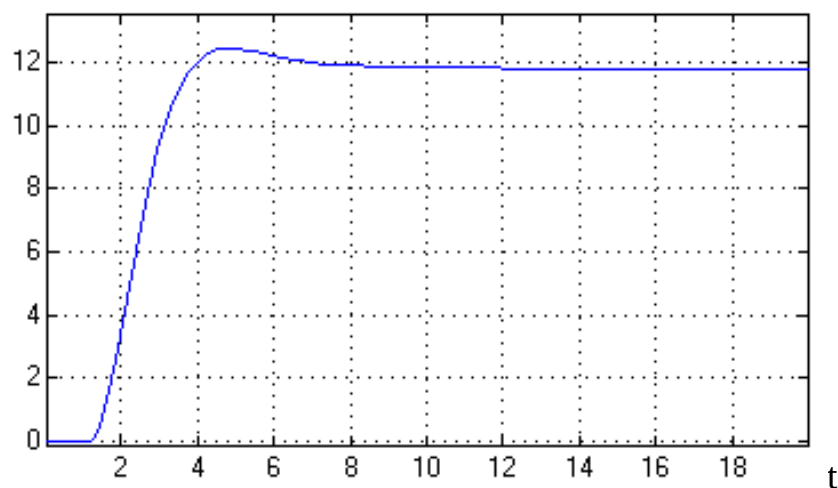


Рисунок 2.9 – Перехідна функція системи керування з ПІ регулятором

У структурі автоматичного керування доцільно застосовувати ПІД-регулятор, що забезпечує гнучке реагування системи на відхилення керованої величини від заданого значення.

Особливо важливою є D-складова (диференціальна), яка фактично прогнозує подальший характер зміни відхилення та реагує на його швидкість. Це дозволяє регулятору діяти на випередження і забезпечує максимально швидку реакцію системи на динамічні зміни.

Однак така властивість є двоякою:

Перевага: швидке реагування значно зменшує перехідні процеси та коливання;

Недолік: диференціальна складова чутлива до шумів, особливо за умов наявності високочастотних збурень або випадкових помилок у вимірюваннях, що може призвести до перенавантаження виконавчих механізмів.

Тому при практичній реалізації ПІД-регулятора важливо:

- фільтрувати сигнал перед диференціюванням;
- адаптувати коефіцієнт D-компоненти до властивостей об'єкта та зовнішніх умов;
- за потреби, використовувати модифіковані ПІД-регулятори або алгоритми з обмеженням дії D-ланки.

З графіку для розрахунку коефіцієнтів ПІД-регулятора (рис. 2.6) видно, що система має характер аперіодичної ланки другого порядку. Час наростання вихідного сигналу системи досягає усталеного значення за 2,85с.

2.4.3 Засіб модернізації існуючої системи автоматичного керування порізом

Для модернізації структурної схеми управління та контролю процесом різки прокату на двобарабанних ножицях розглянемо роботу пристрою, впровадження якого по вхідним даним швидкості прокату, регулює швидкість обертання барабанів ножиць, а також визначає момент зведення куліс барабанів і відбувається різ. Виміряні параметри надходять в мікроконтролер і загальну систему

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

управління, де наперед розробленою програмою обчислюється величина коригувальних впливів.

Керуючі та коригуючі дії виробляються за тимчасовою програмою, час контролюється таймером. Координація роботи блоків регулювання швидкості ножів ножиць і швидкості валків останньої кліті чистової групи здійснюється за допомогою мікроконтролера і зв'язків між блоками.

Для реалізації даного алгоритму роботи ножиць модернізуємо існуючу систему. Для цього введемо додатково у структурну схему системи відомий пристрій керування, блок-схема якого представлена на рисунку 2.10.

Розглянемо склад пристрою, який вводиться та зв'язки між його елементами. Пристрій містить: 1 – 4 – датчики наявності прокату; 5 – 8 – прокатні кліті; 9 – 11 – блоки виміру часу; 12 – 14 – масштабуючі блоки, 15, 16 – елементи порівняння; 17 – блок керування приводом двобарабанних ножиць; 18 – двобарабанні ножиці; 19 – прокат, що ріжуть; 20 – блок завдання режиму роботи; 21 – блок комутації датчиків; 22 – блок введення масштабних коефіцієнтів.

Робота пристрою здійснюється наступним чином: перед початком прокатки кожного профілю прокату з виходу блоку 20 завдання режиму роботи, який представляє собою, наприклад, клавішний пульт на посту управління станом, на керуючий вхід блоку 21 комутації датчиків і вхід блоку 22 введення масштабних коефіцієнтів надходить інформація про кількість і порядкові номери клітей, в яких ведеться прокатка даного профілю.

Нехай, наприклад, прокатка ведеться у всіх зображених на рис.2.10 клітях. Значення масштабних коефіцієнтів відповідно дорівнюють:

$$K_{1-2} = l_{2-3} / l_{4-2}, \quad K_{1-3} = l_{3-4} / l_{2-3}, \quad K_{1-4} = l_{4-5} / l_{3-4},$$

де l_{4-5} - відстань між кліттю 8 і наступною за нею по технологічній лінії кліттю (не показана).

Після захоплення прокату валками першої кліті спрацьовує датчик наявності прокату і своїм сигналом з виходу блоку скидає блок виміру часу на нуль і включає

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

його. Блок виміру часу починає вимірювати поточний час переміщення початку заготівлі від кліті 5 до кліті 6. Коли початок заготовки досягає кліті 6; спрацьовує датчик наявності прокату і своїм сигналом з виходу зупиняє роботу блоку виміру часу, в якому до цього моменту відраховано час переміщення початку заготівлі через перший між клітьовий проміжок. Величина T_{1-2} множиться в на коефіцієнт K_{12} і отриманий результат $T_{2-3} = K_{12} \cdot T_{1-2}$ надходить в якості уставки на вхід елемента порівняння.

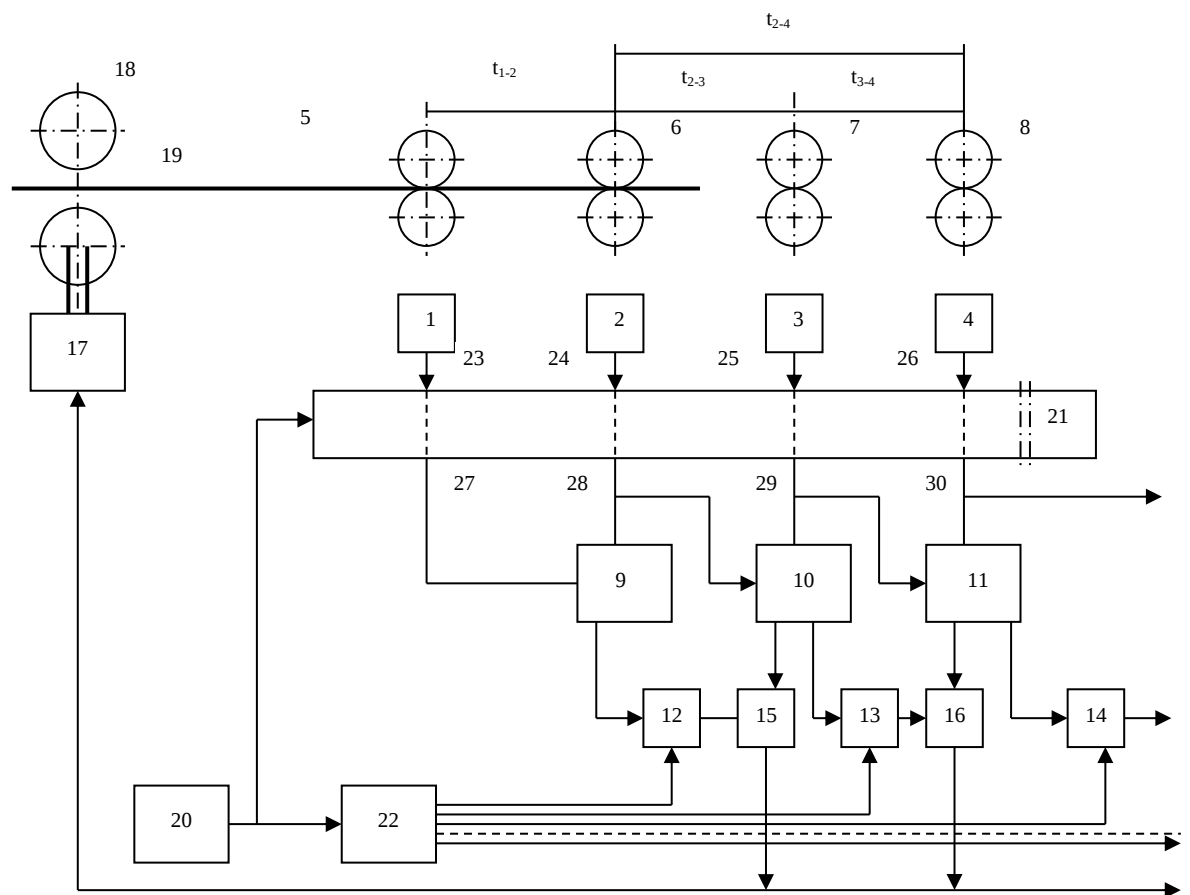


Рисунок 2.10 - Блок-схема пристрою для модернізації системи керування двобарабанными ножицями

Після надходження сигналу на блок керування приводом двобарабанных ножиць з датчика наявності металу на останній чистовій кліті, контролер, по вхідним даним швидкості прокату, регулює швидкість обертання барабанів ножиць, а також визначає момент зведення куліс барабанів і відбувається різ.

2.5 Розробка та аналіз структури автоматизованої системи керування порізом металопрокату

Для реалізації автоматизованої системи керування було розроблено функціональну схему (рис. 2.11) керування порізом металопрокату двобарабанными ножицями.

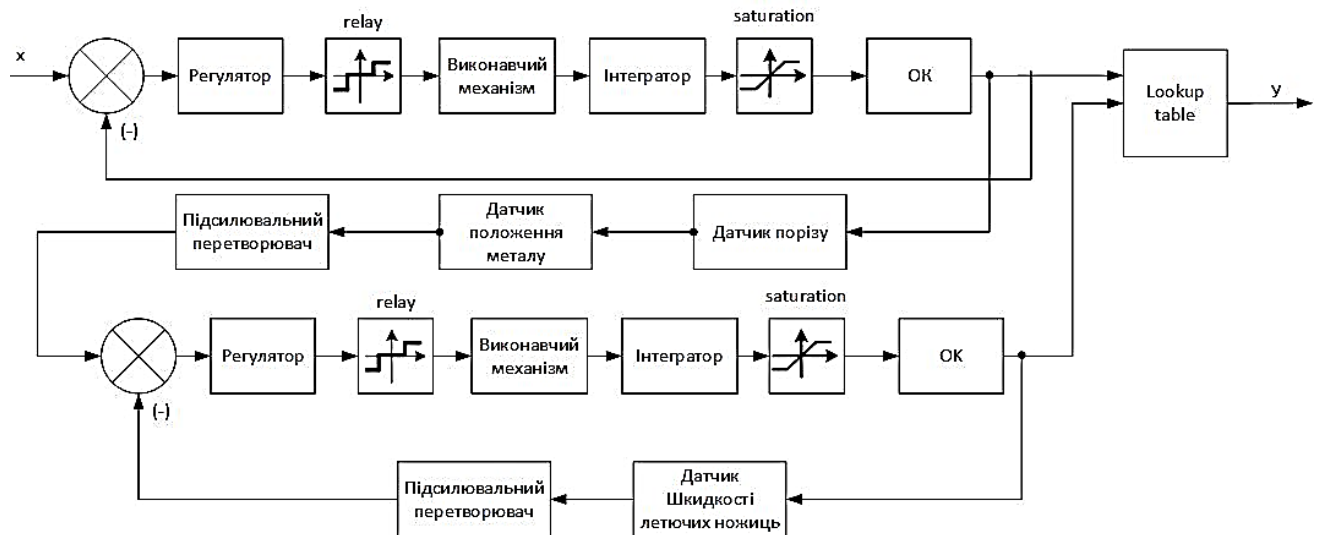


Рисунок 2.11 – Функціональна схема автоматичного керування порізом металопрокату

При використанні Matlab та Simulink побудовано модель розробленої структурної схеми керування порізом металопрокату на двобарабанных ножицях.

На рисунку 2.11 прийняті наступні позначення: W_{reg} – передаточна функція регулятора; $F1(u)$ – нелінійний елемент з характеристикою типу «трьох позиційний перемикач»; W_{vm} – передаточна функція виконавчого механізму (двигун); $F2(\beta)$ – нелінійний елемент з характеристикою типу «обмеження»; W_{po} – передаточна функція регулюючого органу; $F_{ок}(Q_{шв}, Q_{поріз}, Q_{керув})$ – нелінійна статична характеристика об'єкту керування; $W_{ок}$ – передаточна функція об'єкту керування (летючі ножиці); W_{pids} – передаточна функція підсилювача; W_{pid} – передаточна функція ПІД-регулятора; W_{poriz} , W_{pol} , W_{sp} – передаточні функції датчиків порізу металу, оптодатчик положення металу та швидкості відповідно.

Оскільки, використовуємо двобарабанні ножиці та датчики порізу металу, то для врахування їхнього впливу на процес, перед передаточною функцією регулюючого органу необхідно додати нелінійний елемент типу «обмеження».

В якості об'єкту керування використовується двобарабанні летючі ножиці, які спеціально розроблені для керування порізом металу.

При моделюванні, для зручності сприйняття результатів і завдання рівнів стабільного порізу доцільно задати значення посилення зворотного зв'язку, де знаходиться датчик, з передавальною функцією:

$$W_{\text{підс}} = \frac{1}{K_{\text{д.т.}}},$$

де $K_{\text{д.п.}}$ – коефіцієнт підсилення датчика порізу; отже передаточна функція підсилювача:

$$W_{\text{підс}} = \frac{1}{0,01};$$

Моделювання системи виконується на основі розрахунків та отриманих передаточних функцій елементів системи. Модель системи автоматичного керування наведена на рисунку 2.12.

Для моделювання статичної характеристики об'єкту керування за двома каналами: положення металу при порізі та швидкості порізу, в пакеті Simulink використовувався елемент Lookup Table (n-D).

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

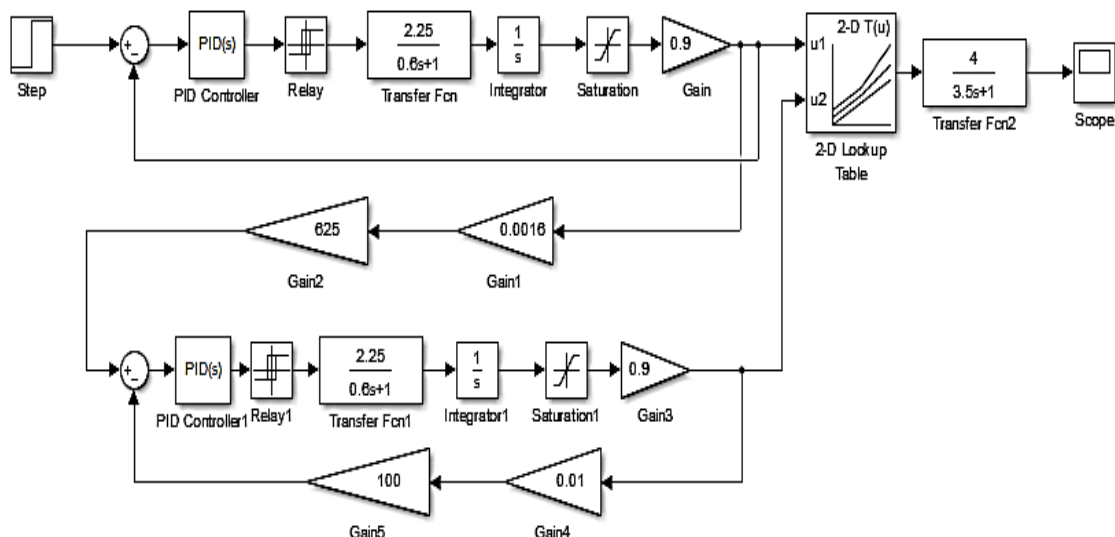


Рисунок 2.12 – Simulink – модель системи керування порізом металопрокату

Для створення нелінійної характеристики вибираємо блок Look Table (n-D) (рис. 2.13). Розрахуємо передавальну функцію та коефіцієнти ПІД регулятора (рис. 2.14 - 2.15) та виконаємо моделювання системи в цілому та побудуємо перехідну функцію системи регулювання порізом металопрокату (рис. 2.16).

Function Block Parameters: 2-D Lookup Table

Lookup Table (n-D)

Perform n-dimensional interpolated table lookup including index searches. The table is a sampled representation of a function in N variables. Breakpoint sets relate the input values to positions in the table. The first dimension corresponds to the top (or left) input port.

Table and Breakpoints Algorithm Data Types

Number of table dimensions:

Table data:

Breakpoints 1:

Breakpoints 2:

Sample time (-1 for inherited):

Рисунок 2.13 - Вибираємо блок Look Table (n-D)

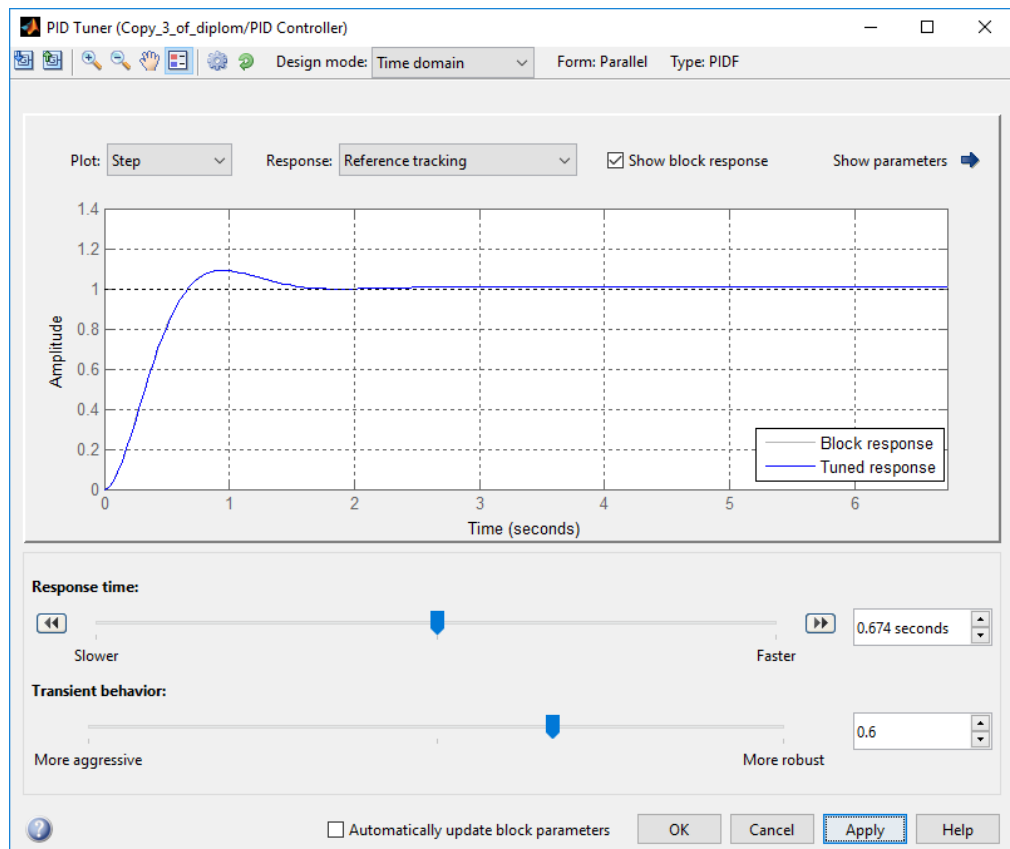


Рисунок 2.14 – Розрахунок параметрів ПІД-регулятора за допомогою PID Tuner

Рисунок 2.15 – Розраховані параметри регулятора

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ

Арк.

58

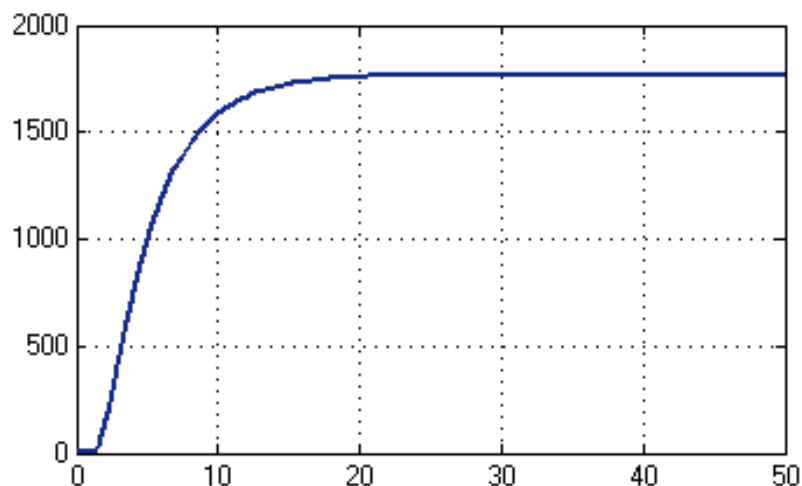


Рисунок 2.16 – Перехідний процес системи керування порізом металопрокату

Аналіз перехідної функції системи регулювання порізом металопрокату показує, що процес аперіодичний без перерегулювання.

Таким чином, у роботі досліджено процес регулювання швидкості за металу шляхом синхронізації швидкості двигуна двобарабанних ножиців зі швидкістю металу.

2.6 Функціональна схема автоматичної системи керування порізом металопрокату

Однією з вимог, що пред'являються до автоматизації управління порізом металу, є поріз на мірні довжини заданого розміру, при необхідності відрізання переднього кінця, заданої довжини (50 - 200мм) з допуском і поріз прокату при аварії на довжини $1,2 \div 1,5$ м. Ці операції здійснюються шляхом:

- синхронізації швидкості летючих ножиць зі швидкістю металу;
- прогнозування очікуваної довжини стрічки;
- корегування мірної довжини в межах 0 - 15% від основної довжини.

Для здійснення цих вимог необхідно, щоб включення двигуна ножиць відбувалося за сигналом з системи управління для різання смуги металу на куски або обрізання переднього кінця. При цьому має бути визначено місце знаходження

розкату, щоб поріз відбувався після надходження відповідних сигналів з фотодатчиків, розташованих до ножиць і після ножиць. Зазначене здійснюється за допомогою існуючих і розроблюваних систем керування двобарабанными ножицями.

Функціональна схема автоматизації управління двобарабанными ножицями представлена на рисунку 2.17.

Тут встановлені датчики швидкості обертання роликів, первинні та вторинні перетворювачі сигналів, регулятори, контролери, система управління ножицями.

Сигнали з датчиків швидкості через перетворювачі сигналів надходять на регулятори, а далі в обчислювальні пристрої (контролери), які формують сигнал в систему управління ножицями. За алгоритмом, закладеним в контролер, сигнали обробляються, вихідний сигнал надходить в систему управління АСК двобарабанными ножицями, звідки керуючий сигнал надходить на приводні двигуни роликів рольганга і приводний двигун ножиць.

На схемі (рис. 2.17) введено такі позначення (табл. 2.2).

Таблиця 2.2 - Специфікація до функціональної схеми автоматизації

№	Найменування елемента	Позначення	Приміт.
1	Привод рольгангу		2.1
2	Шунт	EE	2.2
3	Перетворювач	SE	2.3
4	Вторинний перетворювач на щиті	SI	2.4
5	Задатчик швидкості	H	2.5
6	Регулятор швидкості	SC	2.6
7	Вторинний перетворювач	EI	2.7
8	Регулятор току	EC	2.8
10	Обчислювальний пристрій (контролер)	Y	2.10
11	Обчислювальний пристрій (контролер)	Y	
12	Привод ножиць		
13	Система управління ножицями	Y	

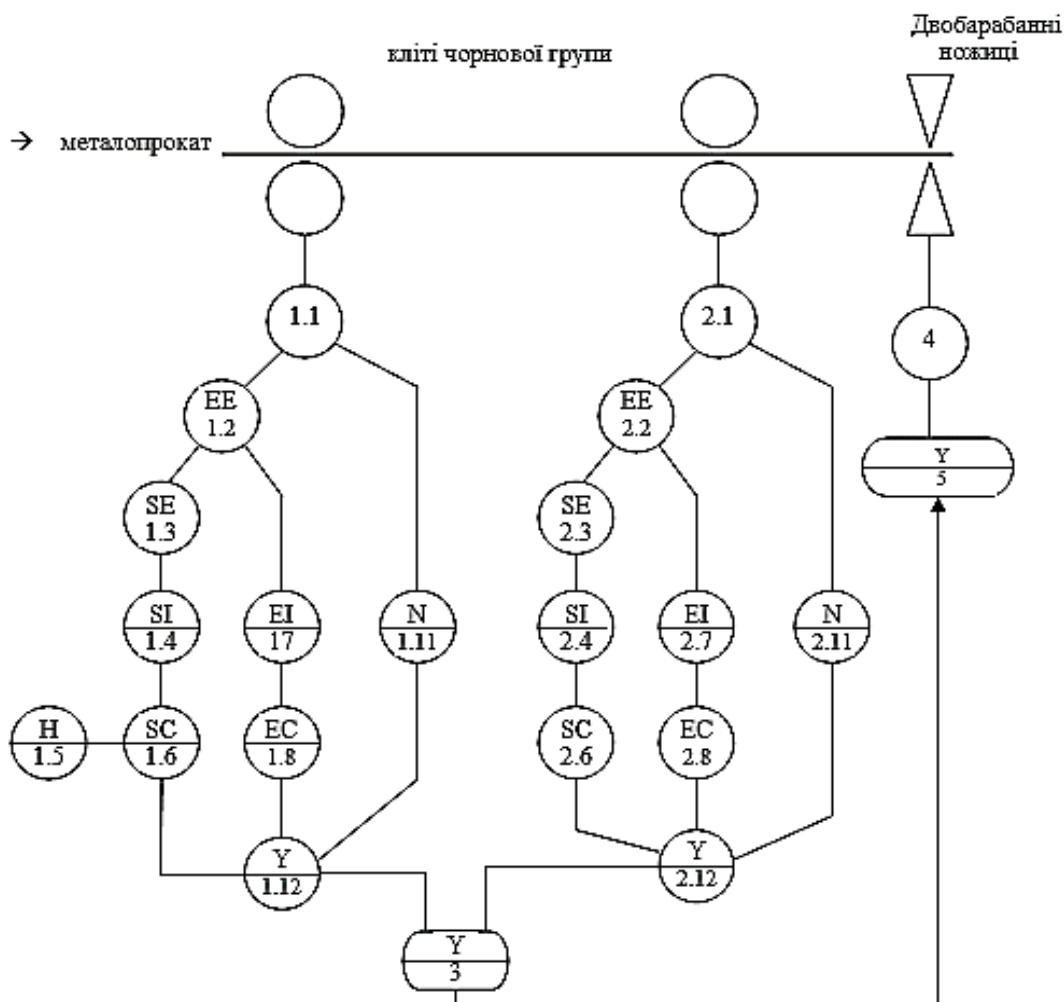


Рисунок 2.17 – Функціональна схема автоматизації двобарабанних ножиць

При розробці алгоритму функціонування системи порізу металопрокату реалізуються функції взаємодії оператора з об'єктом управління, тобто двобарабанними ножицями, і, безпосередньо, з системою управління. Тобто, реалізують функції прийняття рішень оператором (зміна режимів, зміна завдань на регулювання, дистанційне керування виконавчими механізмами, контроль технологічних параметрів і оцінка їх взаємовпливу шляхом аналізу графіків).

Реалізуються наступні функції:

- введення даних від технологічного та оперативного персоналу;
- введення заданих значень параметрів, ініціативних команд;
- включення, відключення, зміни режиму клітей і ножиць, підтвердження;
- формування і виведення попереджувальних повідомлень;

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата

КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ

Арк.

61

- подання відеограм та графічної інформації про технологічні процеси прокатки і порізу;
- діагностування відхилень технологічних параметрів від робочих границь;
- створення і супровід розподіленої бази даних технологічного процесу;
- формування та ведення архіву даних для забезпечення довготривалого їх зберігання і можливості ретроспективного аналізу;
- подання звітної інформації про функціонування комплексу механізмів, що беруть участь в порізі прокату.

Для аварійної порізки металу в систему повинен надійти сигнал про те, що відбулася подія після якого необхідно різати заготівлю на шматки. Цей сигнал надходить у систему з пристрою УАН.

2.7 Алгоритми порізу металопрокату

Для виконання операції порізу металу в систему повинен надійти сигнал про те, що відбулася подія після якого необхідно різати заготівлю на шматки. Цей сигнал надходить у систему з пристрою УАН.

Відповідно до вимог до алгоритмів вони можуть бути представлені кількома способами: словесний опис, математичні формули, функціональна схема, блок-схема і програма. Уявімо словесний опис алгоритму порізу прокату ножицями різання.

Виконуємо введення вихідних даних наданих інформаційною системою і перевіряємо готовність обладнання.

Враховуючи вимоги технології прокатки і правила експлуатації аварійних ножиць необхідно розрахувати число обертів двигуна двобарабанних ножиць.

Для практичних розрахунків враховуємо випередження ножів і момент різку, що становить 15% для круглого профілю (5% посадка оборотів і момент різку, 5% запас на регулювання, 5% підвищене випередження в калібрі 7 – ої кліті при прокатці смугової сталі, 5% прослизання муфти зчеплення).

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						62
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Блок схема алгоритму аварійного порізу металу на двобарабанних ножицях представлена на рис. 2.18.

Алгоритм вимірювання довжини заготовки в чорновій групі та алгоритм визначення величини обрізі ($L_{обр}$) переднього кінця необхідні для виконання основного алгоритму управління процесом різки металопродукату.

2.8 Інформаційне забезпечення системи автоматизованого керування

Інформаційне забезпечення системи це сукупність даних, що включають вхідну інформацію (виміряні значення технологічних параметрів), вихідну інформацію (повідомлення про хід технологічного процесу) і нормативно-довідкову (дані про діапазони вимірюваних величин).

Інформаційне забезпечення (ІЗ) системи має включати достатню кількість компонентів для виконання всіх автоматизованих функцій системи.

Інформаційне забезпечення системи формується за допомогою збору, обробки, контролю і накопичення інформації з метою забезпечення функціонування програмного комплексу.

ІЗ системи має включати сукупність даних, що включають вхідну інформацію, вихідну інформацію і нормативно-довідкову.

До вхідної інформації відносяться: виміряні значення технологічних параметрів.

Вихідна інформація повинна включати повідомлення: про хід технологічного процесу; про аварійні стани та дії. Вихідні повідомлення повинні виводитися на екран пульта оператора та на монітор робочої станції інжинірингу.

Нормативно-довідкова інформація представляє собою дані про діапазонних вимірюваних величин, їх максимальному, мінімальному і номінальному значенні, тексти повідомлень, кодові таблиці та ін.

					КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ	Арк.
						63
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

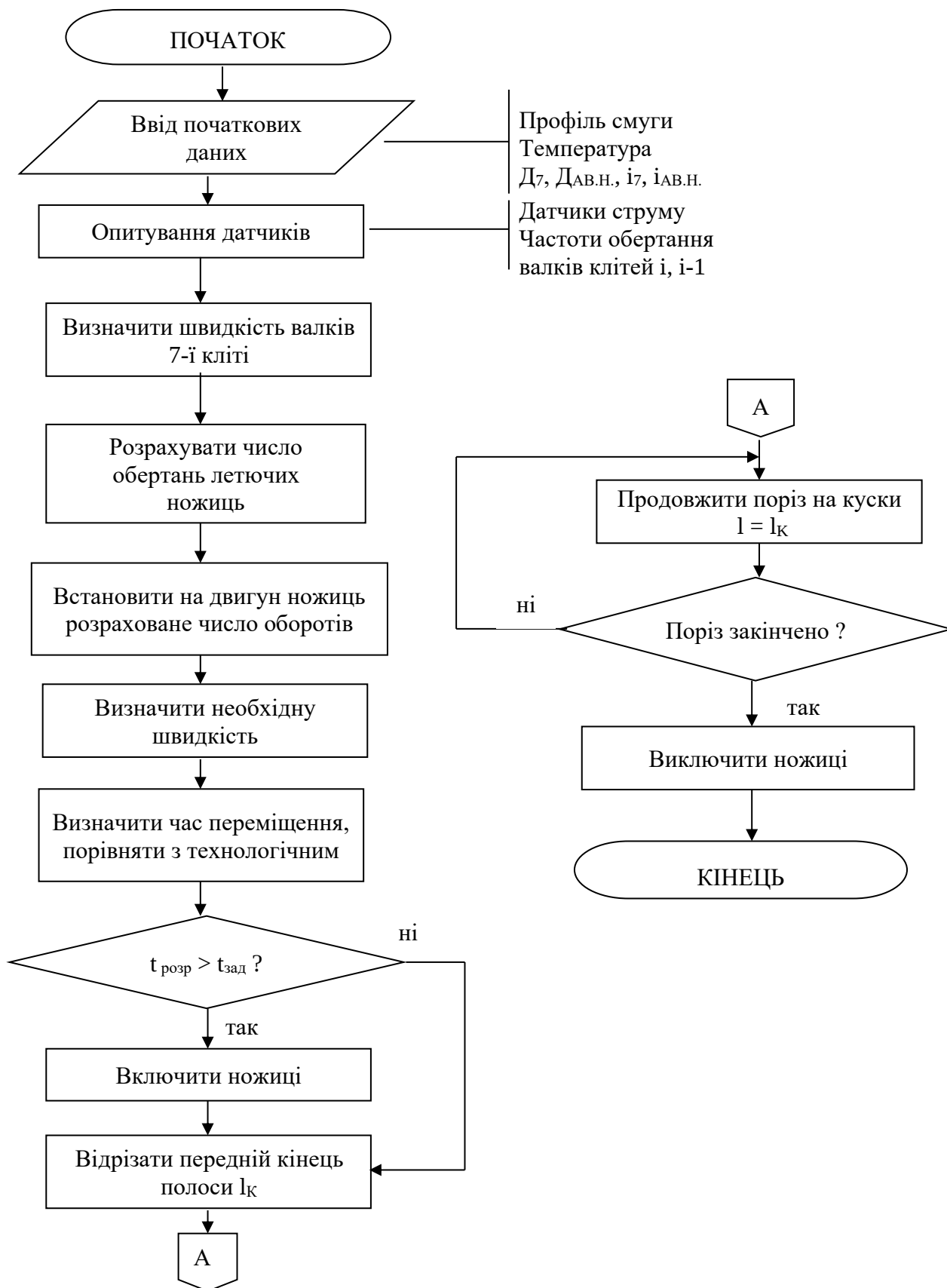


Рисунок 2.18 – Алгоритм порізу прокату на двобарабанных ножицях

Інформаційний обмін між компонентами системи повинен здійснюватися з використанням стандартних протоколів обміну і стандартних вхідних і вихідних сигналів.

У випадку аварії та збоїв в електроживленні системи повинні передбачатися наступні заходи щодо захисту даних від руйнування:

- зберігання інформації на жорстких дисках робочих станцій;
- відновлення баз даних з використанням архівних копій баз даних.

Таблиця 2.3 – Попередній перелік технологічних сигналів, контрольованих системою (для правої і лівої сторони прокату)

№	Найменування сигналу	Кіл-сть	Тип сигналу	Діапазон зміни
1	Датчик наявності металу перед чорновий групою (ФД1)	2	дискр.	0-24 В або сухий контакт
2	Датчик наявності металу після чорнової групи (ФД2)	2	дискр.	0-24 В або сухий контакт
3	Датчик наявності металу після чистової групою (ФД3)	2	дискр.	0-24 В або сухий контакт
6	Датчик швидкості обертання чистових клітей	4	дискр.	600 імп / об. 0-24В
7	Датчик швидкості обертання двобарабанних ножиць	2	дискр.	600 імп / об. 0-24В
9	Датчик виконання різу двобарабанних ножицями	2	дискр.	0-24 В або сухий контакт
10	Сигнал наявності напруги на електро пневмо розподільнику (ВВ) ножиць	2	дискр.	0-24 В або сухий контакт
11	Сигнал включення аварійних ножиць	2	дискр.	0-24 В або сухий контакт
12	Режим «Заборона прокатки»	2	дискр.	0-24 В або сухий контакт
13	Команда ручного різу	2	дискр.	0-24 В або сухий контакт
14	Сигнал «Розкрий включений»	2	дискр.	0-24 В або сухий контакт

					<i>КНУ.КРБ.151.25.05.02.ПЗ</i>		
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	<i>РОЗДІЛ 2</i>		
Разробив	Харитоненко						
Перевірів	Тиханський М.П.						
Н.контроль	Маринич І.А.						
Затвердив					Літера Аркуш Аркушів <i>КНУ АКІТ–22ск</i>		

2.9 Технічне забезпечення системи керування

Технічне забезпечення АСК охоплює комплекс технічних засобів (КТЗ), призначених для реалізації всіх функцій, що покладаються на систему. Цей комплекс включає: засоби збору, перетворення, передачі та відображення інформації; керуючі та обчислювальні пристрої; виконавчі механізми та пристрої управління технологічним процесом. Крім основних елементів, сюди також входять: засоби діагностики, налагодження та перевірки працездатності КТЗ; запасні модулі та прилади, що забезпечують безперервну роботу системи в умовах заміни несправних елементів.

Всі компоненти повинні відповідати таким вимогам: достатність функціональних можливостей для реалізації алгоритмів АСК; взаємозамінність однойменних засобів; стійкість до дії факторів навколишнього середовища (температури, пилу, вологи, вібрацій тощо); відповідність нормам безпечної експлуатації.

Комплекс технічних засобів для реалізації АСК МС 250-5 на СПЦ №2 складається з наступних компонентів: первинні перетворювачі (датчики); перетворювачі функціональні; вторинні реєструючі прилади; виконавчі пристрої; програмувальні контролери для реалізації систем рівня контролю і керування АСУ; інтелектуальні пульти керування (для робітників заводу) з кольоровими графічними відеотерміналами, клавіатурами, друкувальними пристроями і засобами довгострокового збереження даних для реалізації систем рівня ухвалення рішення АСК; лінії зв'язку й устаткування локальних обчислювальних мереж.

Для забезпечення автоматизованого керування технологічним процесом на самому об'єкті розташовують наступні технічні засоби:

– Датчики – призначені для безперервного зняття значень основних параметрів процесу, таких як: температура металу; положення злитка; швидкість руху металопрокату; витрати електроенергії.

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		66

– Сигнальні двопозиційні пристрої – фіксують дискретні стани обладнання (ввімкнення/вимкнення), забезпечуючи оперативне інформування системи про зміну режимів.

– Виконавчі механізми – реалізують керуючі впливи на технологічний процес. Залежно від функціонального призначення, вони поділяються на: двопозиційні (наприклад, відкриття/закриття клапанів); регулювальні (зміна положення заслінок, частоти обертання електродвигунів, режимів роботи насосів тощо).

У безпосередній близькості до технологічних вузлів розміщуються місцеві щити керування, які включають:

- регулятори;
- вторинні вимірювальні прилади;
- монітори з виведенням поточної інформації;
- інші елементи локальної автоматики.

Зазвичай місцеві щити не є постійними робочими місцями оператора. Їх використання здійснюється черговим персоналом (обхідниками, змінними майстрами) при потребі оперативного втручання або налагодження.

Основне керування процесом здійснюється з центрального пульта керування, де постійно перебуває оператор, відповідальний за ведення всього технологічного процесу. Центральний пульт обладнаний кольоровими графічними відеотерміналами, клавіатурами, друкувальними пристроями і засобами довгострокового збереження даних для реєстрації параметрів технологічного процесу.

Виконаємо вибір основних пристроїв та засобів автоматизації порізу металу.

Датчик струму SIEMENS T (рис. 2.19). За допомогою SIEMENS можуть бути виміряні всі величини в будь-яких високовольтних мережах. Прилад має 3 гальванічно розв'язаних аналогових виходи, один цифровий вихід, а також послідовний порт.

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
						67
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Кожен з 3 аналогових виходів незалежно налаштовується на видачу однієї з величин в будь-якому вигляді (наприклад, 0..10 мА або +/-20мА, і т.д.) [10].

Цифровий вихід може використовуватися як імпульсний вихід для видачі інформації, або як сигнал перевищення граничного значення.

Вимірюваний струм не повинен перевищувати 10А і напруга - 600В.

Показуючий і реєструючий КСП ДИСК-250. Серед вторинних приладів особливе місце посідає показуючий самозаписуючий прилад з автоматичним регулятором типу ДИСК-250. Він призначений для контролю й регулювання різноманітних параметрів, зокрема температури, і має такі технічні характеристики:

1. Вхідний/вихідний сигнал: уніфікований сигнал постійного струму 4–20 мА;

2. Тип регулювання: автоматичний регулятор з пропорційно-інтегральним (ПІ) законом;

3. Принцип дії: базується на методі неперервної компенсації вимірювальної величини шляхом автоматичного зрівноваження сигналів у слідкуючій системі;

4. Запис параметрів: виконується на кругову діаграму;

5. Габаритні розміри: 320 × 320 × 260 мм;

6. Маса приладу: 10,5 кг.

Прилад ДИСК-250 забезпечує одночасно контроль, індикацію, реєстрацію та автоматичне регулювання технологічних параметрів.

Безконтактний датчик наявності металу SIMATIC PXI300 Індуктивні датчики SIMATIC PX забезпечують надійне безконтактне виявлення металевих об'єктів, що особливо актуально в умовах підвищеного забруднення та складного виробничого середовища. Основні технічні характеристики датчика PXI300:

1. Дальність дії: від 1 мм до 1 м;

2. Конструктивне виконання: циліндричне або кубічне;

3. Типи підключення:

– 2-дротяні для ПЛК;

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
						68
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

- 3- і 4-дротяні для універсального використання;
- 4. Підвищені електричні характеристики:
 - постійний струм: до 65 В DC;
 - змінний струм: до 320 В AC;
- 5. Можливість використання аналогового виходу;
- 6. Ступінь захисту: IP68 – для роботи в жорстких умовах;
- 7. Іскробезпечне виконання: для вибухонебезпечних середовищ.

SIMATIC PXI300 – це ефективне рішення для надійного виявлення металевих об'єктів у режимах автоматизованого виробництва.

Тахогенератор (ПТ, ТПБ). Тахогенератори ПТ-212 використовуються як датчики в системах автоматичного регулювання частоти обертання електродвигунів прокатних станів. Виконання тахогенераторів ПТ-212 фланцеве, закрите [13].

Фотодатчик положення металу SIMATIC PXO650. Фотодатчик SIMATIC PXO650 призначений для виявлення положення об'єктів незалежно від їх матеріалу (метал, дерево, пластик) чи структури. Його основні переваги:

Тип датчика: аналоговий лазерний;

Функціональність: визначення відстані до об'єкта та його положення з високою точністю;

Дальність дії: від 3 см до 50 м;

Інтелектуальні можливості: функція In Teach дозволяє "навчати" датчик, адаптуючи його роботу до специфіки об'єкта;

Сфера застосування: використовується в системах точного позиціонування, а також для контролю переміщення об'єктів у реальному часі. [14].

Вимірювач довжини (ИД-2). Вимірювач довжини ІД-2 застосовується для точного вимірювання довжини довгомірних виробів, таких як металопрокат, труби або інші протяжні матеріали.

Принцип роботи: заснований на обертанні рахункового диска, з'єднаного з валом або віссю, через які проходить виріб;

Компоненти: індукційний датчик + рахунковий механізм;

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
						69
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

Монтаж: датчик і лічильник вбудовуються безпосередньо в технологічне обладнання;

Переваги: висока надійність, простота інтеграції у вже існуючу систему, стабільність показань при тривалому використанні.

Швидке і точне вимірювання (похибка – не більше 0,5%), електронне табло з можливістю корекції показань (мінімальне відображається значення - 1 см), полегшення роботи і значне скорочення часу вимірювання. Табло лічильника має п'ять розрядів, три перших відображають метри, два останніх – сантиметри. Таким чином, точність становить 1 см.

Є можливість управління виконуючими механізмами і подачею сигналів [15].

Енкодер *Siemens 1XP8001-2 (1024 імн/об, TTL)* (рис. 2.20). Енкодер — це електромеханічний пристрій, призначений для перетворення кутового положення або обертального руху валу в електричний сигнал, який може бути використаний для визначення кута повороту або кількості обертів. [16].



Рисунок 2.19 – Перетворювач струму
SIEMENS T



Рисунок 2.20 – Енкодер Siemens
1XP8001-2

Таблиця 2.4 – Основні характеристики Siemens 1XP8001-2

Напруга живлення	1XP8001-2 (версія TTL) +5V ± 30V
Вхідний струм без навантаження	150 мА
Максимальний струм навантаження	Макс. 20 мА
точність (імпульсів/оберт)	1024
Пульсація зміщення між двома входами	90 Гр ± 20%
Вихідна амплітуда U	U _{вис} > 2.5V U _{низ} < 0.5V

Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата	КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
						70

Частотний діапазон	0.45 мс до 300 кГц
Максимальна швидкість	12000 об/хв
Температура зберігання	-20Гр С до 100Гр С
Захист	IP66
Вихід системи	12- пин
Вага	0,3 кг

Пірометр ARDOCELL PS (рис. 2.21). Компактний пірометр випромінювання з діаметром 30мм. Поставляється з центральною різьбою М30х1.5. Прилади можуть бути встановлені при важких умовах навколишнього середовища [17].

Таблиця 2.5 – Основні характеристики пірометра ARDOCELL PS

Спектральний діапазон	8 ... 14 μm
Найменший діаметр об'єкта	8 mm і вище
Вага	0.3 kg
Діапазон виміру	-30 ... 2500 °C
Напруга живлення	DC 24 V (22 ... 27 V) / ≤ 50 mA
Аналоговий вихід	0(4) ... 20 mA (перемикаючий)
Ступінь захисту	IP 65
Припустима температура корпусу	0 - 65 °C

2.10 Програмне забезпечення САК

Для написання програми використовували програмне середовище Unity Pro XL.

Unity Pro – єдине середовище розробки, налагодження додатків і операційне середовище для контролерів Modicon. Інструменти налагодження і діагностики, 5 мов ІЕС 61131-3 дозволяють Unity Pro підвищити продуктивність розробки і спростити обслуговування. Програмне забезпечення Unity Pro гарантує використання ваших вкладень найкращим чином, зниження витрат на навчання і пропонує неперевершений потенціал для розвитку [19].

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		71

Для виконання роботи програми використовували середовище Unity Pro XL. На рис. 2.26 використано список змінних з такими типами змінної: VJT – для змінної трендів, VJC – проста змінна, VJA – змінна сигналізації.

PL7_DRUM_1 – драм-контролер, що контролює рух металопрокату (вхідні параметри: U – «покращений» вхід; при збільшенні edge змушує драм-контролер просуватися одним кроком і оновлювати порядкові біти. Тип даних – BOOL. Вихідні параметри: F – вказує виходу, що останній крок знаходиться в прогресі. Тип даних – BOOL.). TP – таймер для драм-контролера, тобто через який час прокат буде пересуватися.

Таймери TON призначені для часу завантаження у ємність (вхідні параметри: IN – запуск затримки. Тип даних – BOOL. PT – перед встановлений час затримки. Тип даних – TIME. Вихідні параметри: ET – внутрішній час. Тип даних – TIME).

STU – лічильники призначені для підрахунку імпульсів (вхідні параметри: CU – вхід запуску лічильника, що підсумовує. Тип даних – BOOL. R – скидання. Тип даних – BOOL. PV – перед встановлене значення. Тип даних – INT. Вихідні параметри: CV – значення лічильника (фактичне значення). Тип даних – INT.), що подаються через 1 мс таймером TON. Використовуються змінні для керування лічильником – X2, X4; таймером – X1, X3.

Блок OPERATE призначений для запису підрахованих імпульсів таймером STU у змінні M10, M11. А також блок OPERATE призначений для запису поточного кроку вихідного значення з драм-контролера PL7_DRUM_1 у змінні MW0...MW6.

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		72

Variables DDT Types Function Blocks DFB Types						
Filter   Name = *						
Name	Type	Address	Value	Comment	Custom	
A1	BOOL			upravl_TP	VJC	
A2	BOOL			upravl_PL7_DRUM	VJC	
M0	BOOL			Start	VJC	
M1	BOOL			Stop	VJC	
M10	INT			noz	VJT	
M11	INT			zapus	VJT	
MW0	BOOL			1	VJA	
MW1	BOOL			1	VJA	
MW2	BOOL			2	VJA	
MW3	BOOL			3	VJA	
MW4	BOOL			4	VJA	
MW5	BOOL			5	VJA	
MW6	BOOL			6	VJA	
Q0	BOOL			Work	VJA	
Q1	BOOL			Stop	VJA	
X1	BOOL			upravl_TON_1	VJA	
X2	BOOL			upravl_CTU_1	VJA	
X3	BOOL			upravl_TON_2	VJA	
X4	BOOL			upravl_CTU_2	VJA	

Рисунок 2.26 – Список змінних для роботи програми

Список функціональних блоків для встановлення кроку вихідного значення з драм-контролера наведено на рис. 2.27.

На рис. 2.28 наведено програму для системи керування на мові LD.

Розглянемо принцип роботи програми.

Для запуску роботи натискаємо кнопку Start (M0), або подаємо логічну "1" в таблиці анімації, або в програмі LD на контакт M0 подаємо «1» та відразу зреагується в програмі індикатор, який відображається "зеленим" світлом у програмі LD – це котушка Q1. Індикатор горить "червоним" світлом, якщо програма виконала завантаження, або ж натиснули кнопку Stop (M1).

Якщо індикатор горить "зеленим" світлом, то програма почала роботу. Починається поріз металопрокату. Бачимо ступінь завантаження холодильника, а також представлено у цифровому вигляді нижче загальну інформацію про систему. При досягненні 100 холодильника, програма завершує роботу, та засвідчується індикатор "червоним" кольором у програмі LD – це котушка Q1.

SCADA Expert Vijeo Citect є надійним, гнучким і має високу продуктивність керування з нагляду і системи збору даних (SCADA).

З потужними можливостями візуалізації та експлуатаційних характеристик, забезпечує дієву уяву швидше, що дозволяє операторам швидко реагувати на обробку порушень і тим самим підвищити їх ефективність.

Для роботи у програмі привласнено змінні та встановлено параметри для кожного елемента. А також написано функцію у редакторі Cicode для виконання програми (рис. 2.29).

Розглянемо принцип роботи програми:

Програма виконується у SCADA Expert Vijeo Citect Натискання кнопки “Start/Stop” відповідає роботі програми. Усі вимоги та показання представлені на екрані. Металопрокат виходить із групи чистових клітей, після чого проводять

Name	no.	Type	Value	Comment
CTU_1		CTU		
☐ <inputs>				
CU	1	BOOL		Trigger input
R	2	BOOL		Reset
PV	3	INT	10	Preset value
☐ <outputs>				
☐ <inputs/outputs>				
☐ <public>				
CTU_2		CTU		
PL7_DRUM		PL7_DRUM		
TON_1		TON		
TON_2		TON		
TP		TP		
☐ <inputs>				
IN	1	BOOL		Trigger pulse
PT	2	TIME	t#1s	Preset pulse duration

Рисунок 2.27 – Список функціональних блоків для встановлення значення

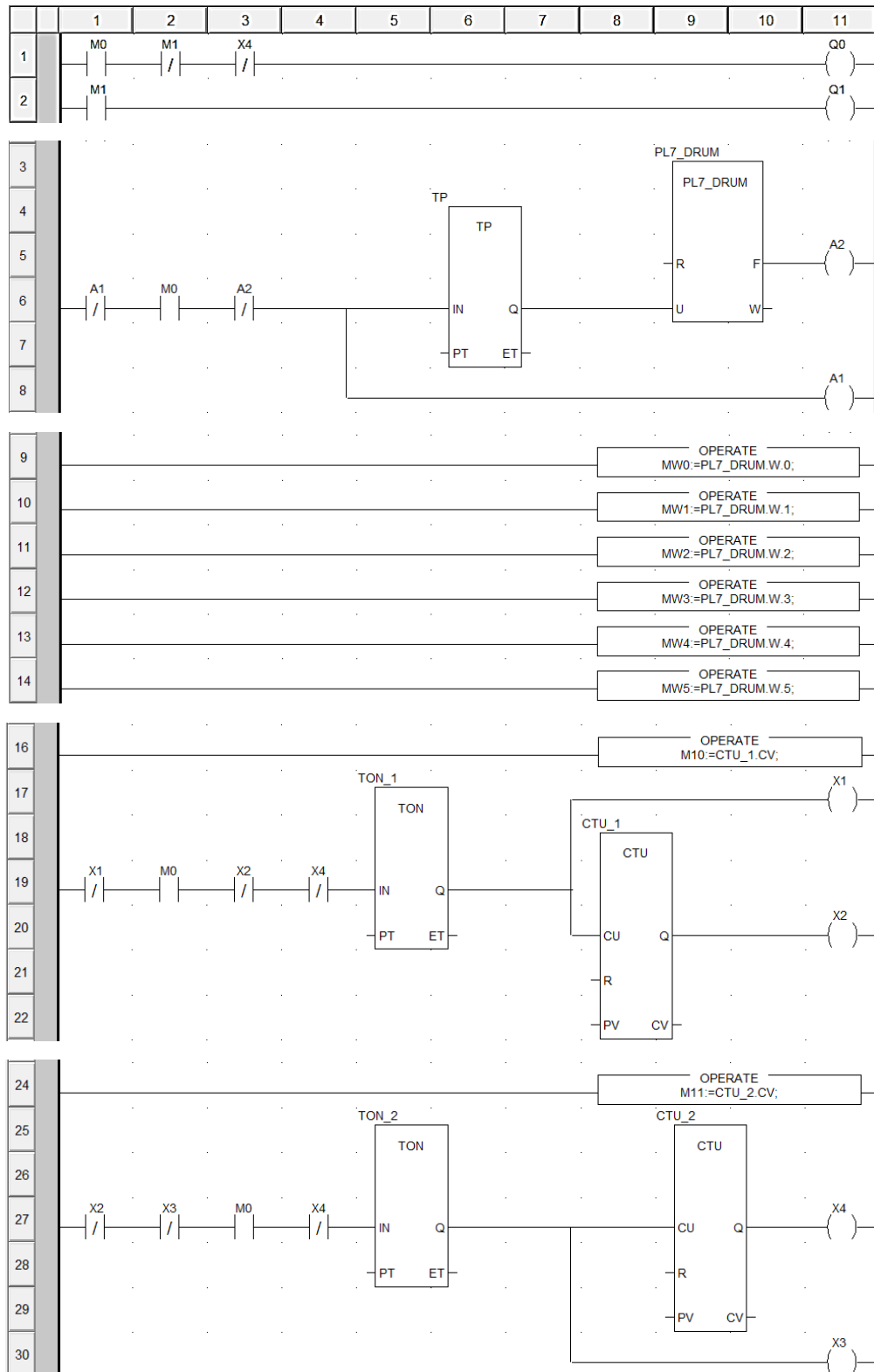


Рисунок 2.28 –Програма для системи керування на мові LD

поріз металопрокату, далі він прямує до холодильника. Відповідно до завантаженості секцій бункеру змінюється об'єм завантаженості холодильника.

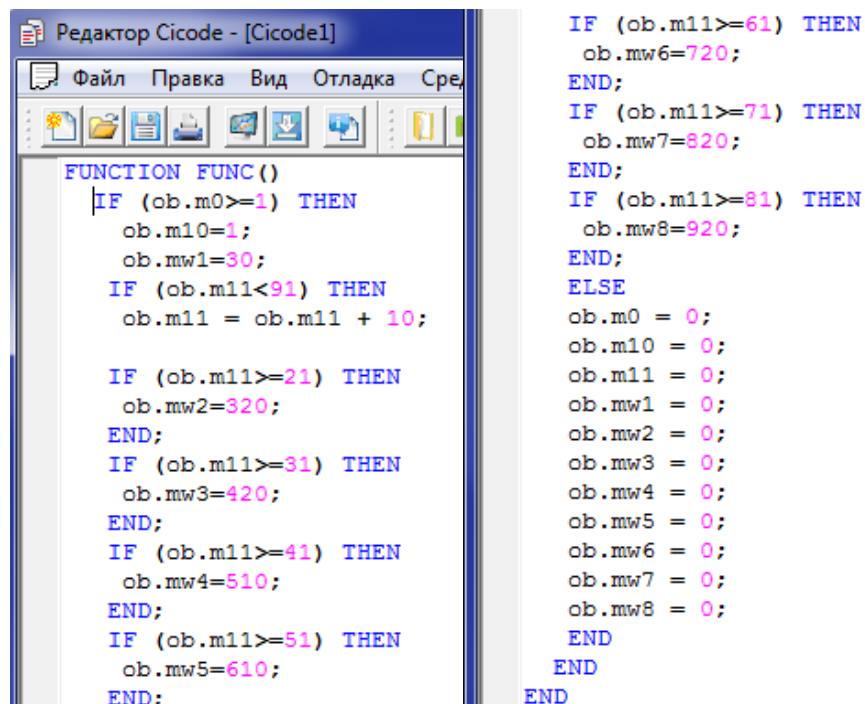


Рисунок 2.29 – Функція для системи керування у редакторі Cicode

Описано інформаційне забезпечення АСК. Для розробки програмного забезпечення АСК порізу металопрокату було використано програмне середовище Unity Pro XL V4.1 та Vijeo Citect V7.5 для створення SCADA системи процесу порізу двобарабанными ножицями.

Висновки до розділу

Розглянуто, описано алгоритм оптимізації розкрою металопрокату.

На основі дослідження математичного забезпечення процесу порізу прокату на двобарабанных ножицях та принципів керування технологічним процесом порізу розроблено схему удосконаленої системи керування порізом прокату.

Удосконалення принципів керування технологічним процесом порізу металопрокату виконано за обраним критерієм ефективності.

При використанні ППП Matlab та Simulink, побудовано модель розробленої структурної схеми керування порізом металопрокату двобарабанными ножицями.

Розроблено функціональну та структурну схеми керування порізу металопрокату на летючих ножицях. З урахуванням обраного критерію ефективності розроблено алгоритми порізу металопрокату.

Розглянуто інформаційне забезпечення системи та обрано сучасні технічні засоби автоматизації процесу порізу прокату.

					КНУ.КРБ.151.24.05.02.ПЗ	Арк.
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		77

ВИСНОВКИ

Дослідження технологічного процесу прокатки металу та особливостей технологічного процесу порізу металопрокату на ножицях встановило, що найбільш доцільним є використання летючих барабанних ножиць, так як, вони прості по конструкції і надійні в експлуатації. Широко застосовуються для гарячого і холодного різання сортового прокату.

Аналіз існуючих систем автоматизації порізу металу, що використовуються на прокатних станах, показав, що розглянуті системи оснащені застарілим обладнанням, не використовують сучасних прикладних програм, систему самодіагностики та інформаційну базу.

В результаті чого встановлено, що локальні системи автоматизації стану застарілі і потребують оновлення, також виконано обґрунтування модернізації системи автоматичного керування порізом металопрокату.

На основі аналізу сформовано вимоги до системи порізу металу на летючих ножицях, що модернізується.

Метою модернізації існуючої системи порізу є розширення асортименту продукції, якості порізу заготівель та підвищення економічних показників за рахунок:

- встановлення нового обладнання (контролерів, датчиків, ножиць);
- впровадження нового розкрійного плану;
- модернізації системи АСУ ТП розкрою прокату.

Для досягнення поставленої мети у роботі сформульовано завдання для підвищення економічних показників та якості порізу заготівель.

Розглянуто математичне забезпечення процесу порізу прокату на двобарабанних ножицях, описано алгоритм оптимізації розкрою металопрокату.

На основі дослідження принципів керування технологічним процесом

					КНУ.КРБ.151.25.05.00.ПЗ				
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата					
Розробив		Харитоненко			ВИСНОВКИ	Літера	Аркуш	Аркушів	
Перевірів		Тиханський М.П.							
							78	2	
Н.контроль		Маринич І.А.				КНУ АКТ–22ск			
Затвердив									

порізу металопрокату розроблено схему удосконаленої системи керування порізом прокату. Розроблено функціональну та структурну схеми керування порізу металопрокату на летючих ножицях.

У даній роботі досліджується процес регулювання швидкості різа металу шляхом синхронізації швидкості маятникових ножиців зі швидкістю металу. Тому було синтезовано систему автоматизованого керування електродвигуном двобарабанних ножиць, де регульованими параметрами є швидкість подачі розкату й швидкість ножиців, що регулюють. Регулюючим впливом - зміна керуючої напруги від регуляторів, а зовнішнім збурюванням - зміна швидкості обертання валків, розмірів розкату, температури металу, зміни опору руху й іншим впливам, що обурюють.

Для реалізації автоматизованої системи керування електродвигуном двобарабанних ножиць було розроблено структурну схему керування електродвигуном двобарабанних ножиць та при використанні середовища розробки Matlab та пакету Simulink, побудовано модель розробленої структурної схеми керування електродвигуном двобарабанних ножиць. Було запропоновано системи керування з використанням ПІД та ПІ регуляторів. Проаналізувавши результати моделювання, було зроблено висновок, що кращі показники якості процесу при використанні ПІД регулятора..

Контролюються такі параметри, як швидкість руху розкату, ножиців і валків, температура металу, місце розташування початку й кінця розкату, його довжина.

Для реалізації автоматизованої системи керування було розроблено структурну схему керування порізу металопрокату двобарабанними ножицями.

Було розроблено функціональну схему автоматизації двобарабанних ножиць. Описано інформаційне забезпечення АСК порізу прокату на двобарабанних ножицях.

Отримані результати, запропоновані схеми, алгоритми та сучасні прилади автоматизації можуть бути використані при модернізації існуючих систем.

					КНУ.КРБ.151.25.05.00.ПЗ	Арк.
						79
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Посібник користувача. ТРЕІ.01.2010-АТХ.ІЗ-01. Кривий Ріг. 2002.
2. База патентів СРСР. Летючі ножиці для різання прокату. URL: <http://patents.su/3-547300-letuchie-nozhnicy-dlya-rezki-prokata.html>
3. Способи різання металу. URL: [http://elport.ru/articles/sposobyi_rezki_metalla_chem_i_kak_otrezat_metall_samostoyatelno /](http://elport.ru/articles/sposobyi_rezki_metalla_chem_i_kak_otrezat_metall_samostoyatelno/)
4. Фонотов А.М., Папко Т.О. Оптимізація розкрою металопродукату на летючих ножицях. Донецьк: Донецький національний технічний університет, кафедра інформаційних управляючих систем і технологій. 2007. 8 с.
5. Лінії мірної порізки арматури Shearline. URL: http://www.stankom.com/kuznechno-pressovoe-oborudovanie/stanki_dlya_izgotovleniya_armaturnykh_karkasov_i_obrabotki_armatury_pedax/linii_mernoy_rezki_armatury_shearline_90_120_150_300/
6. Metax – рухома лінія мірної порізки прутка. URL: <http://casopis.tvstav.cz/10-15/files/assets/common/downloads/publication.pdf/>
7. Cador 30/50 - стаціонарна лінія мірної порізки арматури. URL: <http://www.pedax.ru/pr-bar-detail.html?mod=detail&id=72&bL=bar/>
8. Автоматична лінія мірного різання ТЖК GJD1010. URL: <https://www.promobud.ua/ua/avtomatichna-liniya-mirnogo-rizannya-tjk-gjd1010-an296813.htm/>
9. Автоматизована система управління розкромом проката прокату для безперервно-заготівельного стану. / Б.С. Гусев та ін. *Металл и литье Украины*, 1999. №5-6. С.28-31.

					КНУ.КРБ.151.25.05.00.ПЗ							
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата								
Розробив		Харитоненко			СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ			Літера	Аркуш	Аркушів		
Перевірів		Тиханський М.П.								80	2	
Н.контроль		Маринич І.А.						КНУ АКИТ–22ск				
Затвердив												

10. Технічний звіт щодо створення автоматизованої системи контролю технологічних параметрів роботи головних електроприводів безперервно-заготівельного стану 730/500 та електроприводу летючих ножиць ЛПРН-150 цеху «Блюмінг-1» ГМК «Криворіжсталь». Донецьк : НВО "Донікс", 2004р.

11. Модернізація системи безвідходного розкрою металу на летких ножицях стану 500 цеху блюмінг-1 КДГМК «Криворіжсталь» / Бабенко М.А. та ін *Металургійна та гірничорудна промисловість*. 2001. №2.

12. Комплексна система вимірювання геометричних розмірів рухомого розкату металу в технологічному потоці прокатного стану. Донецьк: НВО «Донікс», 2004г.

13. Федоряк Р.М., Лейковський К.І. Система контролю технології та управління швидкісними режимами прокатного стану Д.: Металургія, 2001. 50с.

14. Пристрій до ножиць прокатного стану для оптимального розкрою прокату : патент 2278768, 2006.

15. Каталог перетворювачів. URL: <https://www.siemens.com/ua/uk/produkty/tekhnohiiyi-pryvodiv/sinamics.html>

16. Бібліофонд. URL: <http://bibliofond.ru/view.aspx?id=516227/>

17. Безконтактні датчики SIMATIC PX. URL: <https://www.avigan.com.ua/page/induktivnye-datchiki-priblizheniya-simatic-pxi/mp/10247/>

13. Тахогенератори постійного струму серії ПТ. URL: http://studopedia.su/19_12332_tahogeneratori-postoyannogo-toka-serii-pt.html /

18. SIMATIC PX – безконтактні датчики положення. URL: <https://mall.industry.siemens.com/mall/en/ua/Catalog/Products/10568733>

19. Енкодер Siemens 1XP8001-2 1. URL: https://cache.industry.siemens.com/dl/files/442/27227442/att_111146/v1/1xp8001_1_2.pdf

20. Пірометри серії ARDOCELL PS. URL: <https://www.avigan.com.ua/page/ardocell-ps/mp/504/>

21. Платформа автоматизації Modicon M340. Каталог. 2017. 200 с. URL: https://www.electrocentr.com.ua/files/documentation/SE/plc/m340/Modicon_M340_2017_ru.pdf

					КНУ.КРБ.151.25.05.00.ПЗ	Арк.
						81
Зм.	Лист	№ документа	Підпис	Дата		

22. Технологія Ethernet. URL: <https://lanmarket.ua/entsiklopediya/telekommunikatsionnye-tekhnologii/ethernet.html>

23. Протокол Modbus. URL: <https://ru.wikipedia.org/wiki/Modbus/>

24. Перші кроки з Unity Pro. URL: <https://unity.com/ru/onboardingsuccess/unity-pro>

26. StruxureWare SCADA Expert Vijeo Citect. URL: <https://www.se.com/eg/en/product-range/1500-struxureware-scada-expert-vijeo-citect/>

27. Моркун Н. В., Маринич І. А. Методичні рекомендації до виконання кваліфікаційної роботи бакалавра для студентів спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології”. Кривий Ріг, Видавничий центр ДВНЗ «КНУ». 2017, 50 с.

28. ДСТУ 3008:2015. Інформація та документація. Звіти у сфері науки і техніки. Структура і правила оформлення. Київ, 2015. 26с. (Інформація та документація).

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

30. ДСТУ 8302:2015. Бібліографічне посилання. Загальні вимоги та правила складання. Київ, 2016. 16 с. (Інформація та документація).