

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ

ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ім. Ю.М. ПОТЕБНИ

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем
(повна назва кафедри)

Кваліфікаційна робота (проект)

другий (магістерський)
(рівень навчання)

на тему Розробка та оптимізація процесу рівномірного
намотування шпала в рулоні металічного прокатно-
го стану

Виконав: студент 2 курсу, групи 8.15.11
спеціальності 151 „Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології“
(код і назва спеціальності)

спеціалізації _____
(код і назва спеціалізації)

освітньої програми Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології
(назва освітньої програми)

Училище Микола Миславський
(назва та адреса)

Керівник к.т.н. Т.доц. Барішніко О.М.
(посада, ім'я та прізвище, науковий ступінь, ґрунтуйте та інше)

Рецензент заст. директора ТОВ „Альтега“
(посада, іменне звання, науковий ступінь, прізвище та інше)

Захарченко Карел О.І.

Запоріжжя 2022

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ЗАПОРІЗЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
ІНЖЕНЕРНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
ІМ. Ю.М. ПОТІВНИ

Кафедра «Математичні методи та обчислювальні системи»
Рівень вищої освіти «Другий (додатковий)»
Спеціальність «ІТ, Роботизовані та автоматизовані інформаційні системи»
Спеціалізація _____
Освітня програма «Математичні та обчислювальні методи інженерії»

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри В. П. Кош
« 14 » 12 2022 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ) СТУДЕНТОВІ (СТУДЕНТЦІ)

Завадний Микола Миколайович
(ПІПРИМ'ЯНО, ІМ'Я ТА ПОІМ'ЯНО)

1. Тема роботи (проекту) Розробка та оптимізація процесу рівномірної
намотувальної шпальти з рідкими металевими присадками сталей

керівник роботи Борисенко Василь Миколайович
(ПІПРИМ'ЯНО, ІМ'Я ТА ПОІМ'ЯНО)

затверджені наказом ЗНУ під « 04 » березня 2022 року № 597-С

2. Строк подання студентом роботи 05.12.2022р

3. Вихідні дані до роботи технічне оформлення, технологічна
інструкція, дані з технічної документації виробничого
прайвату

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) робота з оптимізацією шпальти сталевих присадок процесу
розробка параметрів регулятора (технічний САР) технічне
розробка САР, робота програмного забезпечення, охорона праці,
техніко-економічне обґрунтування проекту

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

заба і задачі дослідження, схем технологічного процесу, дані
систем оптимізації, математичне моделювання САР, регулятор,
регулятор, математичне моделювання, комп'ютерний інтерфейс
систем управління, результати дослідження

6 Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посила консультанта	Підпис, дата	
		завдання визнач	завдання пройшло
1	Барнісенко О.М., доц	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
2	Барнісенко О.М., доц	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
3	Барнісенко О.М., доц	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
4	Барнісенко О.М., доц	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
5	Барнісенко О.М., доц	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
6	Барнісенко О.М., доц	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>
7	Барнісенко О.М., доц	<i>[Signature]</i>	<i>[Signature]</i>

7 Дата видачі завдання 04 червня 2011р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Пройдено
1	Визначення особливостей технологічного процесу прокатки сталі	04.07 - 24.07 2011р	виконано
2	Аналіз існуючих систем автоматизації прокатки сталі	25.07 - 14.08 2011р	виконано
3	Підготовка математичної моделі технологічного процесу	15.08 - 04.09 2011р	виконано
4	Модельовання САР на базі ПІД-регулятора	05.09 - 25.09 2011р	виконано
5	Функції технічних засобів автоматизації для реалізації системи керування	26.09 - 16.10 2011р	виконано
6	Розрахунок техніко-економічних показників процесу	17.10 - 06.11 2011р	виконано
7	Розробка презентації роботи, проходження першочергової перевірки	07.11 - 27.11 2011р	виконано
8	Підготовка доповіді	27.11 - 10.12 2011р	виконано

Студент

[Signature]

Уласовський М.М.

(ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ПЕРСОНАЖ)

Керівник роботи (проекту)

[Signature]

Барнісенко О.М.

(ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ПЕРСОНАЖ)

Нормоконтроль пройдено

Нормоконтролер

[Signature]

Овчинникова Т.А.

(ПРИЗНАЧЕННЯ ТА ПЕРСОНАЖ)

ЗМІСТ

Перелік скорочень	6
Вступ.....	7
1 Опис об'єкта автоматизації.....	11
1.1 Загальна характеристика підприємства	11
1.2 Принцип роботи прокатного стану	13
1.3 Принцип роботи моталки прокатного стану	16
1.4 Проблема підвищення якості сталепрокатної продукції	20
1.5 Постановка задачі.....	21
2 Моделювання системи автоматичного управління	24
2.1 Розробка математичної моделі об'єкта управління	24
3 Розрахунок параметрів регулятора і дослідження сар	45
4 Технічна розробка САР	51
4.1 Розробка структурної схеми САР.....	51
4.2 Тиристорний перетворювач постійного струму	54
4.3 Програмований контролер	56
5 Розробка програмного забезпечення.....	62
6 Охорона праці.....	70
6.1. Загальні заходи з охорони праці сталепрокатного цеху	70
6.2 Організація пожежної безпеки.....	73
6.3 Охорона праці оператора АСУ ТП.....	74
7 Техніко–економічне обґрунтування проекту	80
7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації	80
7.2 Розрахунок техніко – економічних показників.....	81
7.2.1 Визначення капітальних вкладень	81
7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат.....	82
7.2.3 Річні витрати на ЗП	83
7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань	84
7.2.5 Річні витрати на ремонт.....	84

7.2.6 Витрати електроенергії на живлення	84
7.2.7 Інші витрати.....	85
7.2.8 Валова річна економія витрат.....	85
7.2.8 Фактична економія витрат	87
7.8.9 Річний економічний ефект	87
Висновки	89
Використані джерела	91

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ

АСУТП – автоматизована система управління технологічними процесами

ЕРС – електрорушійна сила

ККД – коефіцієнт корисної дії

ЛАЧХ – логарифмічна амплітудно-фазова частотна характеристика

ПАТ – приватне акціонерне товариство

ПІ – пропорційно-інтегральний

РМБ – роликово-барабанна моталка

ТП – тиристорний перетворювач

ПК – персональний комп'ютер

САР – система автоматизованого регулювання

ВСТУП

АКТУАЛЬНІСТЬ РОБОТИ

Металургія є провідною галуззю народного господарства України. Без продукції металургійного виробництва не може існувати та розвиватися сучасна незалежна держава. Серед різних методів пластичної обробки металу прокатка займає особливе місце, тому що такий процес дозволяє отримати продукцію необхідної форми і розмірів для безпосереднього використання, а також покращити її механічні і інші властивості. Потреба в прокатному устаткуванні продовжує зростати і пояснюється тим, що прокатка з усіх способів обробки металів користується найбільшим поширенням внаслідок безперервності процесу, високої продуктивності та можливості одержання виробів різноманітної форми та покращеної якості.

Якість готової металургійної продукції залежить від ефективності функціонування усіх елементів прокатного стану. Для змотування довгомірного прокату (круглого прокату та арматури) у вигляді стрижнів у мотки, а також для змотування гарячекатаної протруєної смуги в рулон наприкінці безперервних травильних агрегатів служать машини, що змотують – моталки. Моталки є відповідальними машинами безперервних ліній та прокатних станів. Від їхньої роботи залежать успішна експлуатація всього стану та якість готової смуги.

Одним з найбільш перспективних напрямів скорочення втрат металу в машинобудуванні є використання металопрокату, який поставляється в мотках, що дозволяє мінімізувати втрати прокату при його калібруванні для наступної металообробки. Величина втрат прокату при його калібруванні пов'язана з таким параметром прокату як точність і стабільність його поперечних геометричних розмірів. Важливими є і характеристики самого мотка, такі як-то відстань між витками у шарах мотка, щільність змотування, відсутність ушкоджень при транспортуванні і низки інших вимог. Дотримання вимог допусків по відхиленню розмірів прокату, зокрема, до якості сортового прокату, що поставляється в мотках, є актуальним науково-технічним

завданням, яке зараз фактично неможливо вирішите без автоматизації відповідних процесів керування та оптимізації процесу рівномірного намотування листа в рулони моталкою прокатного стану на вже існуючих виробництвах.

МЕТА І ЗАДАЧІ ДОСЛІДЖЕННЯ

Мета роботи: розробка та оптимізація процесу рівномірного намотування листа в рулони моталкою прокатного стану в умовах ПАО «Запоріжсталь».

Об'єкт дослідження: моталка прокатного стану.

Предмет дослідження: технологічний процес управління намотуванням листа в рулони моталкою прокатного стану.

Відповідно до поставленої мети досліджень в роботі сформульовані наступні задачі:

- сформулювати коротку характеристику об'єкта управління;
- зробити огляд і аналіз рішень управління процесом намотування листа в рулони моталкою прокатного стану;
- зробити аналіз вимог до керування змотуванням листового прокату на моталці та сформулювати завдання автоматизації процесу керування перехідними режимами змотування для запобігання локальних утягнень профілю прокату;
- розробити математичну модель роботи моталки;
- спроектувати систему автоматичного управління рівномірного намотування листа в рулони моталкою прокатного стану;
- провести вибір алгоритмів керування і оптимізації процесу рівномірного намотування листа в рулони моталкою;
- розробити програмне забезпечення для АСУПТ;
- представити імітаційне моделювання системи управління;
- проаналізувати надійність спроектованої системи;
- розглянути організацію охорони праці, проаналізувати умови праці,

визначити заходи зниження впливу небезпечних і шкідливих факторів;

– виконати розрахунок економічного обґрунтування проекту і визначити економічну ефективність впровадженої АСУТП.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Методи математичного моделювання для дослідження базується на використанні аналітичних методів механіки й опору матеріалів для досліджень закономірності захоплення прокату моталкою і зриву крайніх витків, методи обробки металу тиском для встановлення закономірностей, що описують транспортування прокату, теорії автоматичного керування, математичне моделювання для дослідження процесу змотування прокату з натягом і керування даним процесом, механіки і гідравліки при розробці системи укладальника.

НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Розроблена модель системи управління електроприводом моталки для підтримування постійного натягу полоси при усіх режимах роботи, незалежно від величини лінійної швидкості і діаметра рулону, що намотується.

2. Доведено, що для підтримки постійного натягу полоси необхідно змінювати статичний момент на валу приводного двигуна пропорційно діаметру рулону, а також здійснювати компенсацію динамічної складової моменту при зміні лінійної швидкості, частота обертання повинна зростати пропорційно зміні діаметра рулону.

3. Розроблене програмне забезпечення гнучкі параметри системи управління моталкою прокатного стану на основі ПЛК дозволяє усунути ручне втручання при експлуатації, а також швидко проводити будь-яку модифікацію.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Практичне значення отриманих результатів роботи – розроблена система оптимізації процесу рівномірного намотування листа в рулони моталкою

прокатного стану готова до застосування на виробництві за умов тестування системи та зміни параметрів програми до сортаменту прокатної сталі.

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК

Теоретичні та наукові дослідження виконані автором самостійно. Його особистий внесок полягає: в аналізі сучасних систем керування змотуванням прокату, проведенні теоретичних і експериментальних досліджень, узагальненні отриманих наукових положень, уточненні відповідних рекомендацій, розширенні знань про автоматизацію процесу керування обладнанням, яке взаємодіє при змотуванні листового прокату. А також в розробці системи управління технологічним процесом намотування листа в колону моталкою прокатного стану. Представлені дані також підтверджуються розрахунками надійності розробленої системи для забезпечення стабільної роботи моталки і безпеки персоналу. Готова система, виконана в проекті, буде доволі гнучкою та налаштованою до підключення в різних умовах прокатного виробництва. Також, система матиме основу для доповнень та більш детального програмування і подальшого удосконалення.

СТРУКТУРА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Магістерська робота складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, списку літератури із 51 найменування і вміщує 81 сторінку основного тексту, 2 таблиці, 28 рисунків, усього 96 сторінки.

1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Загальна характеристика підприємства

ПАТ «Запоріжсталь» – індустріальний гігант, підприємство з повним металургійним циклом, що спеціалізується на виробництві гарячого та холодного прокату з вуглецевої, легованої, низьколегованої та нержавіючої сталі. ПАТ «Запоріжсталь» є єдиним в Україні підприємством по виробництву тонколистового прокату з нержавіючої та легованої сталей і консервної жести. По об'єму виробництва «Запоріжсталь» входить до четвірки найкрупніших підприємств України.

Сьогодні особлива увага приділяється якості продукції, що випускається. Для чого здійснюється контроль над дотриманням встановлених технологій на всіх стадіях виробництва, а так само над якістю сировини, що надходить, матеріалів і продукції, що відвантажується.

Основні види діяльності підприємства:

- виробництво та збут металургійної продукції, виробничого та побутового призначення, інших супутніх видів продукції металургійного циклу;
- виробництво та збут будівельних матеріалів, конструкцій та виробів;
- виробництво та збут іншої продукції промислово-виробничого призначення, сільськогосподарської продукції, товарів народного споживання та продуктів харчування.

ПАТ «Запорізький металургійний комбінат – Запоріжсталь» пропонує до реалізації наступні види товарної продукції:

- переробний і ливарний чавун у чушках вагою 15 – 18 кг;
- сляби з вуглецевих і низьколегованих сталей;
- прокат листовий – гарячекатаний і холоднокатаний – в листах товщиною 0,5 – 8,0 мм і рулонах товщиною 0,5 – 8,0 мм з вуглецевих і

низьколегованих сталей;

- холодногнуті профілі;
- жерсть білу гарячого лужіння;
- жерсть чорну;
- стрічку сталеву;
- виливниці і піддони;
- граншлак та щебінь;
- рідкі газу;
- широкий асортимент (більше 170 найменувань) виробів з металу,

дерева та бетону, інші види металопродукції.

Займана площа – 580,6 гектарів, з них під будівлями і спорудами – 133 га.

Прокатне виробництво ПАТ «Запоріжсталь» має у своєму складі 4 прокатних цехи, призначених для виробництва гарячекатаної і холоднокатаної листової сталі, сталеві стрічки, білої жерсті і холодногнутих профілів.

Максимальна виробнича потужність по гарячекатаного прокату – до 3,7 млн. тонн, по холоднокатаного прокату – 1,1 млн. тонн, по холодногнутих профілів – до 500 тис. тон. А також допоміжних цехів: інструментальний, ремонтний, енергетичний; та обслуговуючих хазяйств: складські, транспортні.

На обтискному стані слябінг «1150» зливки можуть прокатуватися на сляби товщиною 100 – 200 мм, шириною 855 – 1520 мм і довжиною до 12300 мм. Сляби, призначені для подальшого переділу, в гарячому стані передаються на широкосмуговий стан гарячої прокатки НТЛС – 1680.

Цех гарячої прокатки тонкого листа оснащений агрегатами для забезпечення постачання прокату в листах і рулонах. Безперервний тонколистовий стан гарячої прокатки «1680» максимальної виробничою потужністю 3,7 млн. т. на рік призначений для виробництва гарячекатаних смуг товщиною 2,0 – 8,0 мм, шириною 860 – 1500 мм, масою рулону до 16 т. На трьох профілезгинальних агрегатах виробляється більше 500 типорозмірів

холодногнутих профілів з вуглецевих і низьколегованих марок сталі товщиною від 1,0 до 8,0 мм і з шириною розгортки профілю до 1440 мм.

У цеху холодної прокатки № 1 на безперервному чотирьохклет'євому стані «1680», двох одноклет'євих реверсивних станах «1680» і «1200» і двох безперервних вузькосмугових чотирьохклет'євих станах, двадцативалковому стані «1700» і двох безперервних вузькосмугових чотирьохклет'євих станах «450» і «650» виробляється холоднокатаний прокат з вуглецевої і низьколегваної сталі. Цех оснащений засобами для дресирування, поперечного різання і подовжнього розпуску, забезпечують поставку холоднокатаного прокату товщиною від 0,2 до 2,0 мм, шириною від 10 до 1500 мм і довжиною листа до 3950 мм, а також рулонів масою до 15 т.

У цеху холодної прокатки № 3 на стані «2800» проводиться великогабаритний холоднокатаний і гарячекатаний лист товщиною 1,5 – 5,0 мм, шириною 1000 – 2500 мм і довжиною до 4000 мм з вуглецевих, легваних і нержавіючих марок сталі.

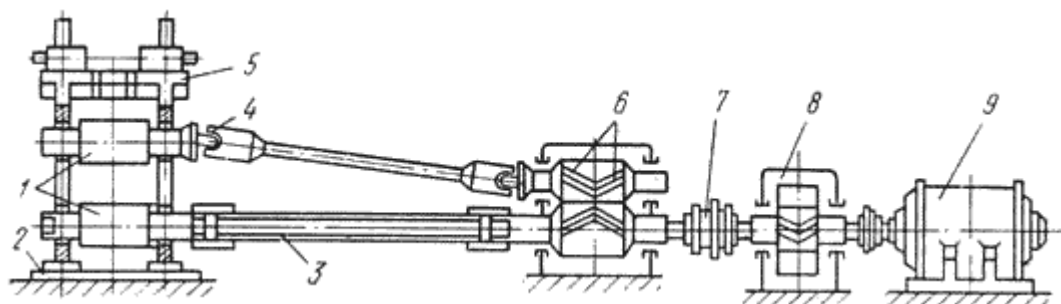
Сьогодні особлива увага приділяється якості продукції, що випускається. З метою чого здійснюється контроль за дотриманням встановлених технологій на кожній стадії виробництва, а також за якістю сировини, що постачається, матеріалів та готової продукції.

1.2 Принцип роботи прокатного стану

Прокатним станом називають комплекс машин і агрегатів, призначення для здійснення процесу прокатки металу, подальшої його обробки (редагування, різання) і транспортування (рис.1.1).

Устаткування прокатного стану можна поділити на 2 групи – основну, розташоване в робочій лінії стану, і допоміжне, служачи-ний для транспортування і обробки прокочується смуги. Робоча лінія складається з робочої кліті і лінії приводу, що включає в загальному випадку двигун, редуктор, шестеренних кліть і сполучні деталі. Число клітей прокатного стану

залежить від його призначення і у деяких станів досягає декількох десятків. Кожна кліть може мати свою лінію приводу.



1 – прокатні валки; 2 – плита; 3 – трефовий шпindel; 4 – універсальний шпindel; 5 – робоча кліть; 6 – шестернева кліть; 7 – муфта; 8 – редуктор; 9 – двигун [30]

Рисунок 1.1 – Схема прокатного стану:

На рисунку 1.2 наведені прокатні кліті.

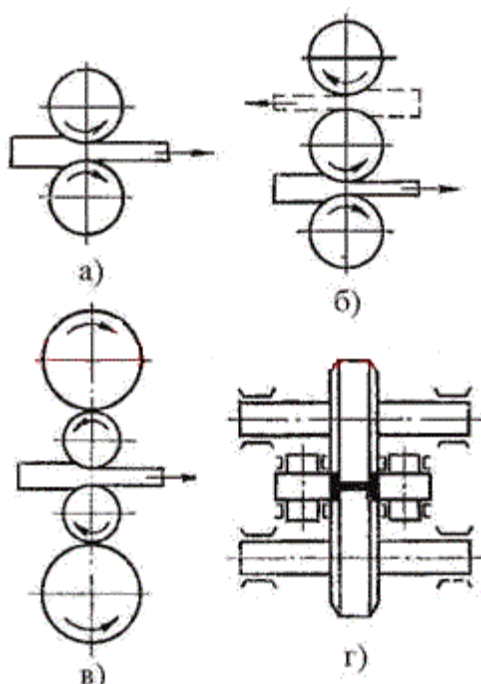


Рисунок 1.2 – Прокатні кліті [30]

У двовалкової клітях (рисунок 1.2, позиція а) здійснюється тільки по одному пропуску металу в одному напрямку.

Метал в тривалкових клітях (рисунок 1.2, позиція б) рухається в одну

сторону між нижнім і верхнім, а у зворотний – між середнім і верхнім валками.

У чотирехвалкових клітках (рисунок 1.2, позиція в) устанавлюються опорні валки, які дозволяють застосовувати робочі валки малого діаметра, завдяки чому збільшується витяжка і знижуються деформують зусилля.

Універсальні клітки (рисунок 1.2, позиція г) мають неприводні вертикальні валки, які знаходяться між опорами підшипників горизонтальних валків і в одній площині з ними.

Шестернева клітка 6 призначена для розподілу крутного моменту двигуна між валками. Це одноступінчатий редуктор, передаточне ставлення якого дорівнює одиниці, а роль шестерень виконують шестеренні валки.

У сучасних прокатних цехах технологічні операції здійснюються по потоковому і безперервному принципах, технології нескінченної прокатки.

Переваги технології нескінченної прокатки наступні:

- відсутність втрат часу між проходами двох рулонів, що підвищує продуктивність стана;
- відсутність необхідності відрізання головної і хвостової частини рулону, що дозволяє зменшити відходи металу в обрізь;
- незмінно високі швидкості прокатки завдяки неперервності процесу, стабільність роботи устаткування і скорочення числа поломок;
- стабільні технологічні умови, що підвищує якість продукції;
- збільшення терміну служби прокатного устаткування;
- зниження потреби в техобслуговуванні, запчастинах і витратних матеріалах;
- можливість намотування рулонів більшої ваги або на замовлення;
- виробництво рулонів більшого розміру без необхідності внесення дорогих модифікацій в інше устаткування.

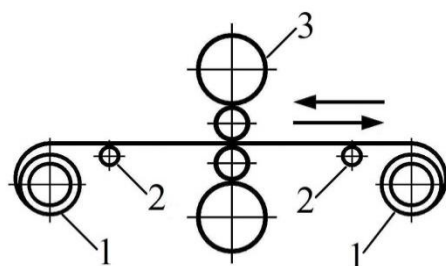
1.3 Принцип роботи моталки прокатного стану

До складу технологічного обладнання агрегатів обробки тонколистової рулонної сталі включає намотувальні механізми – моталки. Моталки отримали широке застосування на об'єктах металургійних підприємств. Їх головне призначення – регулювання натягу смуги в всіх режимах роботи агрегату при намотуванні та розмотуванні рулону.

Намотувальні машини (моталки) застосовують в лінії прокатного стану для змотування прокатного металу в рулони (смуга, стрічка, штрипс) і бунти (катанка, дрібносортні профілі). Моталки призначені для змотування гарячої смуги, холодної смуги, а також дрібносортних профілів та дроту.

Схеми намотування смуги показані на рисунках 1.3 та 1.4.

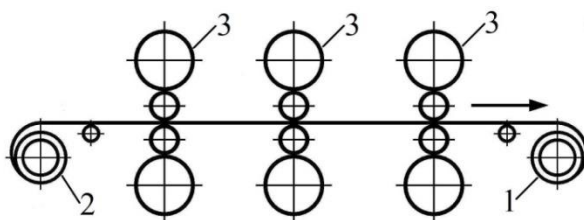
На реверсивних одноклітинних станах холодної прокатки моталки встановлюються по обидва боки робочої кліті.



1 – моталки; 2 – напрямні холости ролики; 3 – робоча кліть табору [32]

Рисунок 1.3 – Схема намотування смуги

На безперервних станах холодної прокатки встановлюється лише одна моталка з боку виходу металу.



1 – моталка; 2 – розмотувач; 3 – робочі кліті стану [32]

Рисунок 1.4 – Схема намотування смуги на безперервних станах холодної прокатки

Сучасні стани гарячої прокатки обладнані моталками для змотування штаб у рулони. Найбільше поширення останнім часом одержали ролико-барабанні моталки, що володіють рядом переваг перед іншими типами моталок.

До конструкцій ролико-барабанних моталок (РБМ) висуваються такі вимоги:

- щільна, без телескопічності намотування витків, для чого змотування необхідно вести з натягом. При нещільному намотуванні відбувається окислення поверхні внутрішніх витків та утворення окалини. Крім того, через нерівномірність охолодження витків погіршується структура металу. Телескопічність призводить до пошкодження країв смуги під час транспортування;

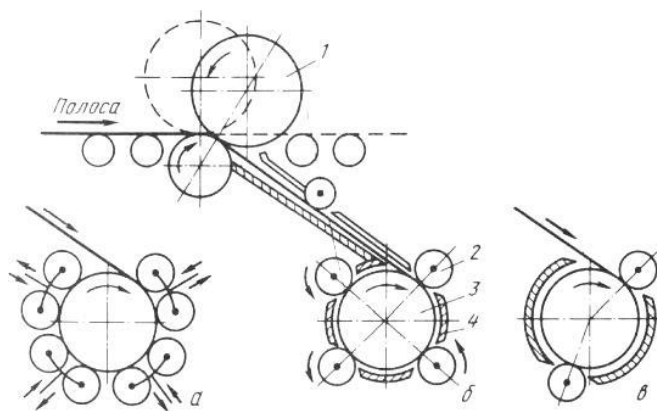
- при захопленні смуги моталкою та її змотуванні на відводиться рольгангу стану не повинні утворюватися петлі або складки на смугі;

- жорсткість та зносостійкість конструкції, здатної тривалий час безперервно працювати при температурах $500 \div 7000\text{C}$, за наявності окалини, пари та динамічних навантажень;

- ремонтпридатність (можливість здійснення ремонтів за мінімальний час);

- приймальні пристрої РБМ не повинні пошкоджувати рулони.

Схеми РБМ моталок наведені на рисунку 1.5.



а – восьми роликової, б – чотирироликової, в – двороликової:

1 – рамки, що подають; 2 – рамки, що формують; 3 – барабан; 4 – проводки [34]

Рисунок 1.5 – Схеми барабанних моталок для змотування гарячої смуги

При змотуванні відносно тонкої смуги (2 мм) після утворення двох-трьох перших витків формуючі ролики відводяться від рулону і подальше змотування здійснюється з натягом смуги барабаном моталки. Верхні тягаючі ролики при цьому працюють в генераторному (гальмівному) режимі або вони мають зазор між роликами. Формуючих роликів досить двох-трьох з концентруючими проводками між ними.

Змотування більш товстої смуги (5 – 16 мм) можна здійснювати за цим першим способом, але при цьому знадобиться велика потужність електродвигуна приводу барабана моталки. У більшості випадків змотування товстої смуги здійснюється іншим способом, причому в моталці встановлюють 2 – 3 пари притискних роликів жорсткішої конструкції. Після захоплення переднього кінця смуги барабаном моталки притискні ролики залишаються притиснутими до смуги та змотування її в рулон з натягом здійснюється як притискними роликами, так і барабаном моталки. Верхні ролики в цьому випадку працюють у режимі тягнуть для смуги на рольгангу і подають для смуги, що спрямовується в моталку.

Для виключення захльостування заднього кінця закінчення змотування проводиться на швидкості, близької до заправної, синхронної з барабаном моталки, відвідним рольгангом і роликами, що формують. При напрямку смуги для змотування наступну моталку верхній ролик попередньої моталки піднято, а провідники опущені. Особливістю такої моталки є трипозиційний барабан, що працює у трьох режимах. Після намотування кількох витків на барабан здійснюється його розтискання, причому сегменти барабана щільно прилягають до смуги, виключаючи її прослизання. Часто смуга не захоплюється моталкою, іноді смуга випинається в моталці вже після того, як її передній кінець зробив один оборот.

Необхідне точне і правильне налаштування – регулювання зазорів між барабаном і роликами моталки, що формують, і вибір оптимального моменту розширення барабана до максимального діаметра. При здійсненні цих заходів швидкість захоплення переднього кінця смуг слід збільшити на 1 – 3 м/с і

довести до 12 – 14 м/с (для тонких смуг).

При намотуванні смуги на барабан моталки відбувається значне натяг смуги, що знижує тиск металу на валки прокатного стану, зменшує коробоватість смуги, сприяє правильному і щільному намотування металу на барабан моталки.

Швидкість прокатки, а отже, і намотування смуги на сучасних станах дуже велика і досягає 15 м/с для триклітьових станів і до 45 м/с для п'ятиклітьових.

Діаметр рулону D в основному визначається товщиною h смуги, що прокочується:

$$D = (150 \div 200) h \text{ – для сталевих смуг та стрічок;}$$

$$D = (120 \div 170) h \text{ – для смуг та стрічок із кольорових металів.}$$

Режим роботи моталки:

- розгін барабана до заправної швидкості;
- заправляє смуги в моталку;
- розгін моталки зі смугою до максимальної швидкості. Натяг смуги під час розгону повинен залишатися незмінним;
- намотування рулону, у міру зростання діаметра рулону кутлова швидкість двигуна повинна зменшуватись таким чином, щоб лінійна швидкість смуги залишалася постійною;
- гальмування двигуна до заправної швидкості, на цьому закінчується намотування рулону;
- гальмування моталки до нуля, знімання рулону.

Зразковий вид тахограми моталки показано на рисунку 1.6.

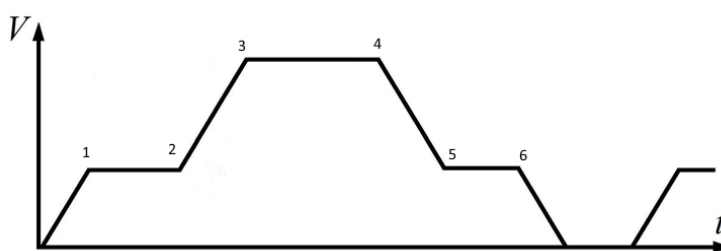


Рисунок 1.6 – Зразковий вид тахограми моталки [34]

1.4 Проблема підвищення якості сталепрокатної продукції

Основна вимога, що пред'являється до моталок, зводиться до забезпечення щільного рулону без телескопічності. Велике значення має натяг смуги на процес прокатки. Коливання натягу при прокатці призводять до появи різниці товщинності смуги, а також до урвища. У більшості випадків точність підтримки натягу чи регулювання його за заданим законом безпосередньо впливає на якість продукції.

Головною вимогою до електроприводу моталок є створення і підтримка на заданому рівні натягу смуги як в режимі моталки, так і в режимах прискорення і уповільнення. Для задоволення цих вимог потрібні:

- досить великий діапазон регулювання швидкості;
- висока швидкодія приводу;
- можливість регулювання швидкості функції натягу металу.

Для приводу моталок застосовуються, як правило, двигуни постійного струму незалежного збудження, регулювання яких здійснюється за рахунок зміни магнітного потоку, так і напруги двигуна.

Високі вимоги до обробки металу привели до створення систем управління, в яких регулювання натягу є пріоритетним завданням. Дотепер моталки є вузьким місцем у технологічному устаткуванні безперервних станів, що перешкоджають подальшому підвищенню продуктивності. На ряді заводів спостерігаються часті поломки моталок, вони нерідко є також причиною браку прокату.

У результаті аналізу процесу змотування сортового прокату в рулони в умовах цеху холодної прокатки №1 ПАТ «Запоріжсталь» встановлено:

- керування столом моталки без обліку взаємодії його через прокат з механізмами ділянки змотування сортового прокату не забезпечує якісне змотування сортового прокату;
- у процесі змотування сортового прокату в режимі стабілізації струму

стола моталки виникають ривки натягу, пов'язані з переходом до змотування нового шару, що негативно позначається на якості змотування прокату;

- існуючий гідропривод укладальника не забезпечує плавного регулювання швидкості руху укладальника в широких межах;

- механізм моталки працює в умовах постійної вібрації і регулювання швидкості намотування датчиками негативно впливає на якість вимірювання та швидкість обробки інформації;

- існує необхідність оптимізації процесу рівномірного намотування листа в рулони моталками і модернізація існуючої АСУТП.

1.5 Постановка задачі

В даний час частка виробництва сортового прокату в мотках у загальному обсязі виробництва прокатними цехами ПАТ «Запоріжсталь» постійно зростає, навіть в умовах світової кризи металургійної промисловості. Подальше збільшення обсягів виробництва сортового прокату тісно зв'язано з підвищенням якості змотування сортового прокату для забезпечення конкурентоздатності продукції стану на світовому ринку. У той же час, вкладення великих коштів у реконструкцію ділянки змотування сортового прокату і заміну сортових моталок недоцільно.

Тому рішення задачі підвищення якості змотування прокату моталками на основі удосконалювання взаємозалежного керування механізмами ділянки змотування сортового прокату є актуальним для металургійного комплексу України.

Необхідні заходи оптимізації процесу рівномірного намотування листа в рулони:

- можливим напрямком у підвищенні якості змотування є регулювання натягу змотування за рахунок керування взаємозалежними механізмами ділянки змотування сортового прокату;

- забезпечення якісного змотування мотка вимагає рішення задачі

точного регулювання швидкості руху укладальника в залежності від поточного змотуваного шару і швидкості обертання стола моталки;

- для підвищення якості змотування необхідно досліджувати можливість зменшення імовірності зриву витків за рахунок керування швидкістю руху укладальника і натягом прокату при переході до змотування нового шару;

- одним з напрямків рішення задачі плавного регулювання швидкості руху укладальника в широких межах є перехід до управління електроприводом моталки через бездатчикову систему управління за рахунок впровадження в систему спостерігачів швидкості, які для отримання необхідних на виході параметрів використовують дані, отримані від частотного перетворювача

- створити комплексу технічних засобів керування системи ділянок моталки.

Система керування взаємозалежними механізмами ділянки змотування сортового прокату повинна реалізовуватися як централізована система керування, що формує уставки і дискретний команди для локальних систем керування окремими механізмами, що беруть участь у змотуванні сортового прокату.

Висновки. Навіть при спаді загального обсягу виробництва сортового металопрокату існує тенденція збільшення попиту сортового прокату, що поставляється в рулонах. До сортового прокату, що поставляється в рулонах, пред'являються як вимоги по точності геометричних розмірів поперечного перетину прокату, так і ряд специфічних вимог до рулону прокату, обумовлених умовами його транспортування до споживача і технологією його подальшої переробки у споживача.

Сучасні лінії змотування сортового прокату забезпечують високу якість рулонів, однак вартість їх настільки велика, що реконструкція ділянки змотування сортового прокату на існуючих станах з установкою сучасних ліній економічно недоцільна. Для збільшення обсягу виробництва сортового прокату в рулонах і підвищення експортного потенціалу стану ПАТ «Запоріжсталь»

необхідно підвищити якість мотків в умовах їхнього виробництва на існуючій лінії змотування сортового прокату.

Технології нескінченної прокатки дозволяють широко застосовувати комплексну механізацію і автоматизацію виробництва. Тому оптимізація процесу рівномірного намотування листа в рулони високошвидкісними моталками і модернізація існуючих АСУТП намотування є актуальною та перспективною темою.

2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

2.1 Розробка математичної моделі об'єкта управління

У процесі намотування (розмотування) відбувається постійна зміна діаметру рулону. Зміна діаметру рулону при незмінній кутовій швидкості намотувальних пристроїв призводить до відповідної зміни зусиль натягу смуги. Наприклад, при намотуванні смуги на барабан моталки діаметр рулону D_p збільшується. При незмінній кутовій швидкості барабану його лінійна швидкість ϑ прагне до збільшення по відношенню до лінійної швидкості прокатки $\vartheta_{пр}$ у валках останньої кліті. Виникає різниця швидкостей, яка викликає збільшення натягу. Якщо у цьому випадку швидкість обертання двигуна моталки залишити незмінною, то збільшення лінійної швидкості рулону швидко призведе до критичного зростання зусиль натягу та обриву смуги.

Схема намотування смуги на барабан моталки наведена на рис. 2.3.

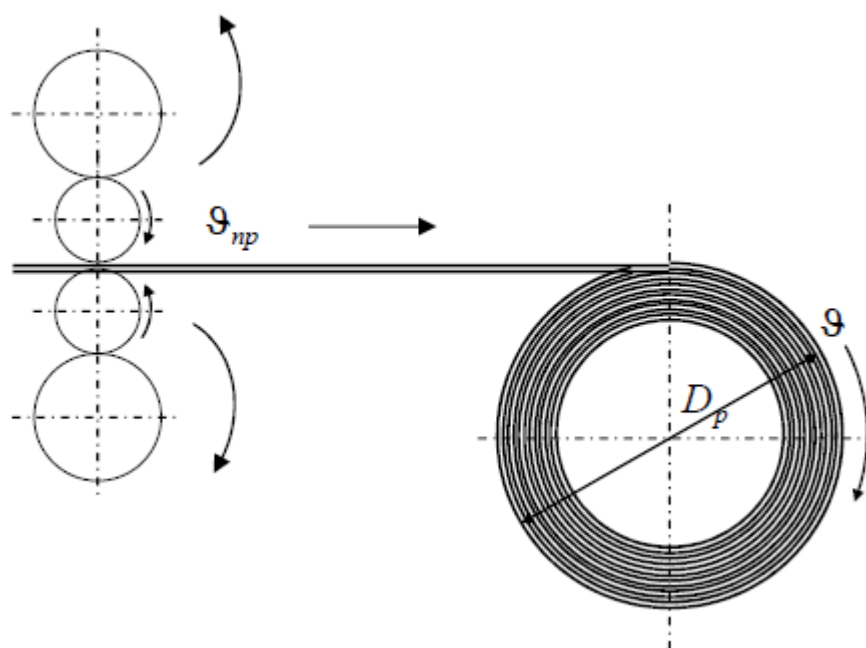
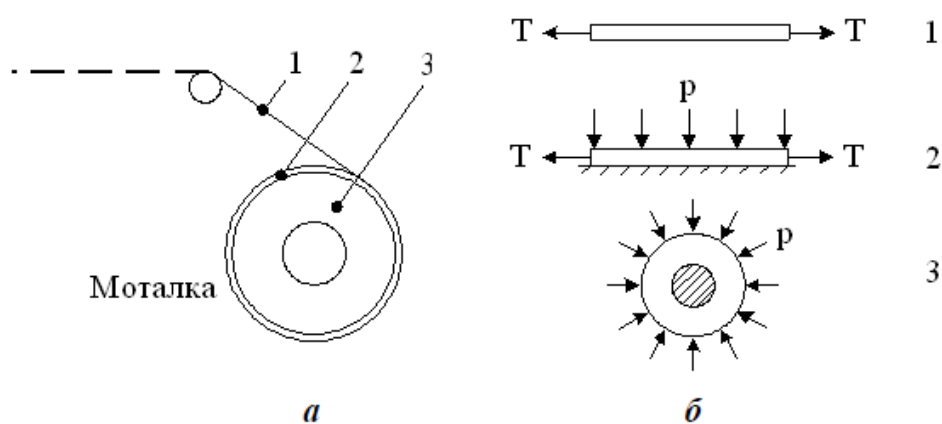


Рисунок 2.3 – Схема намотування смуги на барабан моталки [30]

На рисунку 2.2 наведена структурна схема розтягування смугової сталі при намотуванні її на моталку.



1 – сталева полоса, 2 – рулон, 3 – моталка [31]

Рисунок 2.2 – Структурна схема напружених станів смуги при намотуванні в рулон

На рисунку 2.2 наведено три ділянки, де смуга піддається різним типам навантажень, схеми яких наведено на рис. 2.2, б. На ділянці між натяжною станцією і моталкою смуга схильна до одновісного растяжіння по осі смуги силою T (схема навантаження 1). На верхньому витку рулона смуга схильна спільно з одновісним розтягуванням по осі полоси стиску під дією рівномірно прикладеного тиску p , при обгинанні смуги кола рулону (2 – схема навантаження).

Цей тиск виражається у наступній формулі:

$$p = \frac{T}{B \cdot R}, \quad (2.1)$$

де T – натягування полоси;

B – ширина полоси;

R – поточний радіус рулона.

На смугу, змотану в рулон, діє зовнішній тиск від наступного шару (схема навантаження 3). Напруги та деформації в цьому випадку розглядаються як для циліндра, що знаходиться під дією рівномірно розподіленого по всій ширині смуги зовнішнього тиску (задача Ламі).

Смуга при навантаженні за схемою 1 (рис. 2.2) підпорядковується закону Гука:

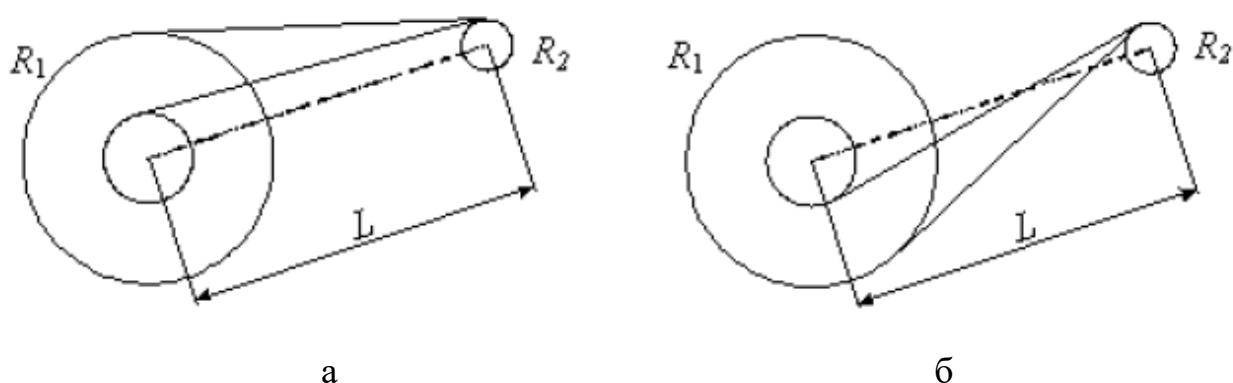
$$T = c \cdot \Delta L, \quad (2.2)$$

де T – діюча сила;

c – жорсткість смуги при розтягуванні або стисненні;

ΔL – абсолютне подовження смуги.

При намотуванні або розмотуванні рулону на моталку зі зміною радіусу змінюється положення смуги, при цьому ділянка навантаження за схемою 1 змінє довжину. На рис. 2.3 представлено положення смуги для двох способів намотування матеріалу.



а – прями́й; б – зворотний [31]

Рисунок 2.3 – Структурні схеми способів намотування рулону

Для структурних схем наведених на рис. 2.3, отримана залежність, що характеризує довжину смуги L_n :

$$L_n = \sqrt{L^2 - (R_1 \mp R_2)^2} \mp R_2 \cdot \left(\arcsin\left(\frac{R_1 \mp R_2}{L}\right) - \arcsin\left(\frac{R_0 \mp R_2}{L}\right) \right), \quad (2.3)$$

де L – довжина між осями барабана моталки та відгинального ролика;

R_1 – радіус рулону;

R_2 – радіус відгинального ролика;

R_0 – радіус барабана моталки.

Зміна довжини L_n пов'язана із змінами положення смуги та кутом охоплення відгинального ролика. Знак «-» у формулі (2.1) відповідає прямому способу намотування (рис.2.3, а). Знак «+» у формулі (2.3) відповідає зворотній спосіб намотування (рис. 2.3, б).

Значення жорсткості c_1 для ділянки розтягування за схемою навантаження 1 (рис.2.3, б) визначається за формулою:

$$c_1 = \frac{E \cdot B \cdot h}{L_n}, \quad (2.4)$$

де E – модуль пружності першого роду;

B – ширина смуги;

h – товщина смуги;

L_n – довжина лінії, розрахована з урахуванням формули (2.3).

При навантаженні за схемою 2 (рис.2.3 б) смуга знаходиться в плоскому напруженому стані та підпорядковується узагальненому закону Гука.

Так як по довжині смуга відчуває зусилля, що розтягує T , а по товщині піддається стиску, то формула відносного подовження ε набуде вигляду:

$$\varepsilon = \frac{1}{E} \cdot (\sigma_1 + \mu \cdot \sigma_2), \quad (2.5)$$

де E – модуль пружності першого роду;

μ – коефіцієнт Пуассона (сталь вуглецева $\mu \approx 0,27$);

σ_1 – напруга, що виникає у смузі вздовж довжини;

σ_2 – напруга, що у смузі вздовж товщини.

Значення еквівалентної жорсткості $c_{\text{екв2}}$ для ділянки розтягування по схемою навантаження 2 (рис.2.3 б) визначається за формулою:

$$c_{\text{екв2}} = \frac{E \cdot B \cdot h}{2 \cdot \pi \cdot (R + \mu \cdot h)}, \quad (2.6)$$

де B – ширина смуги;

h – товщина смуги;

R – радіус рулону.

При навантаженні за схемою 3 (рис. 2.3 б) рулон представляється анізотропним циліндром, що навантажений зовнішнім тиском. Радіальне переміщення у циліндрі u визначається залежністю:

$$u_{r=R} = \frac{p \cdot R \left((k - \mu) \cdot R^{2 \cdot k} + (k + \mu) \cdot R_6^{2 \cdot k} \right)}{E_1 \cdot (R^{2 \cdot k} - R_6^{2 \cdot k})}, \quad (2.7)$$

де p – зовнішній тиск;

R – радіус рулону;

E_1 – модуль пружності барабана моталки;

R_6 – радіус барабана моталки;

μ – коефіцієнт Пуассона для матеріалу смуги;

$$k = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}}$$

E_2 – модуль пружності рулону в радіальному напрямку. Знак «-» у формулі (2.7) перед дробом характеризує зменшення радіуса рулону під впливом зовнішнього тиску.

При зміні радіуса рулону під дією зовнішнього тиску з'являється абсолютне подовження лінійної смуги ΔL :

$$\Delta L = 2 \cdot \pi \cdot u, \quad (2.8)$$

де u – радіальне переміщення в рулоні.

Значення еквівалентної жорсткості $c_{\text{екв3}}$ для ділянки розтягування по схемою навантаження 3 (рис.2.3 б) визначається за формулою:

$$c_{\text{екв3}} = \frac{E_1 \cdot B \cdot (R^{2 \cdot k} - R_6^{2 \cdot k})}{2 \cdot \pi \cdot (k - \mu) \cdot R^{2 \cdot k} + (k + \mu) \cdot R_6^{2 \cdot k}}, \quad (2.9)$$

де B – ширина рулону;

R – радіус рулону;

E_1 – модуль пружності барабана моталки;

R_6 – радіус барабана моталки;

μ – коефіцієнт Пуассона для матеріалу смуги.

Подання рулону в якості товстостінного циліндра і використання формули (2.9) для розрахунку жорсткості можливе при виконі умови:

$$R \geq 1,105 \cdot R_6, \quad (2.10)$$

При намотуванні тонкої сталевий смуги (0,4...0,25 мм) на барабан моталки з радіусом $R_6 = 0,25$ м умова (2.10) виконується після 65 – 105 вітків, при цьому значення модуля пружності рулону E_2 перестає змінюватися, і коефіцієнт k , що характеризує нелінійні властивості рулону, згідно довідкової літератури можна прийняти $k = 0,5$, тоді формула (2.9) матиме вигляд:

$$c_{\text{екв3}} = \frac{E \cdot B \cdot (R - R_6)}{2 \cdot \pi \cdot (0,5 - \mu) \cdot R + (0,5 + \mu) \cdot R_6}, \quad (2.11)$$

Формула для розрахунку сукупної жорсткості смуги та рулону (рис.2.3) набуде вигляду:

$$c_{\Pi} = \frac{c_1 \cdot c_{\text{екв2}} \cdot c_{\text{екв3}}}{c_1 \cdot c_{\text{екв2}} + c_{\text{екв2}} \cdot c_{\text{екв3}} + c_1 \cdot c_{\text{екв3}}}, \quad (2.12)$$

Підставивши формулу (2.12) вирази для c_1 – формулу (1.4), для $c_{\text{екв2}}$ – формулу (2.6), для $c_{\text{екв3}}$ – формулу (2.11), отримаємо математичну залежність сукупної жорсткості при зміні радіуса рулону:

$$c_{\Pi} = \frac{E \cdot B \cdot h}{L_{\Pi} + 2 \cdot \pi \left(R + (h - 1) \cdot \mu + \frac{R - R_6}{2 \cdot (R - R_6)} \right)}, \quad (2.13)$$

де L_{Π} – довжина смуги, що розраховується за формулою (1.3).

Отримані залежності (2.3), (2.13) характеризують зміну сукупної жорсткості смуги і рулону при зміні радіуса і можуть бути основою для побудови спостерігачів автоматичних систем управління, що регулюють натяг смуги.

Уточнений облік зміни жорсткості смуги та рулону дозволить автоматично змінювати налаштування регуляторів системи управління, тим

самим забезпечить стабільність параметрів холоднокатаної сталі після прокатки незалежно від зміни діаметра рулону.

2.2 Принципи регулювання натягу

Регулювання натягу необхідно для забезпечення необхідної якості і товщини матеріалу, якості змотування рулону, зниження числа обриву смуги.

Системи керування електроприводів механізмів, для яких вимагається регулювання натягу, зазвичай мають два режими роботи:

- режим регулювання швидкості двигуна для заправлення смуги, транспортування її без натягу (допоміжний режим);
- режим регулювання натягу, який повинний забезпечити точну підтримку натягу 3 – 10 % (у деяких випадках – до 1 %), при діапазоні регулювання натягу 1:10 і більше (основний режим роботи).

Принципово системи регулювання натягу можуть виконуватися як з безпосереднім виміром натягу, так і з виміром і регулюванням непрямих параметрів.

Система регулювання натягу з безпосереднім виміром натягу не одержали широкого поширення через труднощі створення надійних і точних датчиків натягу. Тому в більшості випадків використовується непрямі параметри, а сигнал вимірника натягу, якщо такий є, використовується для корекції системи. В якості електропривода згаданих механізмів використовується, зазвичай, електропривод постійного струму. Рівняння якірного кола двигуна постійного струму у сталому режимі (електромагнітні перехідні процеси закінчились) виглядає так:

$$U_a = E_{дв} + I_a R_a, \quad (2.13)$$

З (2.13) впливає рівняння для електромагнітної потужності:

$$U_a I_a = E_{\text{дв}} I_a + I_a^2 R_a, \quad (2.14)$$

де $U_a I_a$ – потужність, що отримується двигуном з мережі, $P_{\text{ем}} = E_{\text{дв}} I_a$ – електромагнітна потужність, $\Delta P_a = I_a^2 R_a$ – втрати потужності в обмотках якоря двигуна, $E_{\text{дв}} = C_e \Phi \omega_{\text{дв}}$ – ЕРС двигуна.

Електромагнітна потужність витрачається на валу двигуна та на втрати у сталі, механічні та додаткові втрати. Потужність на валу двигуна визначається через параметри лінійного руху барабана намотувально-розмотувального механізму:

$$P_B = \frac{P_{\text{вм}}}{\eta} = T \cdot v_n, \quad (2.15)$$

де T – лінійне зусилля на барабані;

v_n – лінійна швидкість прокатки;

η – ККД двигуна.

Умовою якісної прокатки є сталість натягу у між клітьовому проміжку і на кінцях матеріалу, що прокатується. Для того, щоб лінійне зусилля натягу T дорівнювало заданому, повинна виконуватися умова рівності лінійних швидкостей прокатки v_n і рулону v_p . Кутова швидкість двигуна при цьому дорівнюватиме:

$$\omega_{\text{дв}} = \frac{v_p \cdot i_p}{R_p}, \quad (2.16)$$

де i_p – передаточне число редуктора,

R_p – радіус рулону.

З формули (2.16) видно, що при заданому значенні v_p діапазон регулювання швидкості двигуна дорівнює діапазону зміни радіусу рулону.

З урахуванням формул (2.13) – (2.16) і нехтуючи постійними втратами у двигуні можна отримати:

$$T = \frac{C_e \cdot \Phi \cdot I_a \cdot i_p}{R_p} \quad (2.17)$$

З умови $T = \text{const}$ і формул (2.15) та (2.17) впливають наступні закони непрямого керування електроприводом намотувально-розмотувальних та натяжних механізмів:

- натяжні механізми ($R_p = \text{const}$) – $\Phi = \text{const}$, $I_a = \text{const}$;
- моталки ($R_p = \text{var}$) $P_b = \text{const}$;
- моталки ($R_p = \text{var}$) $\Phi = \text{const}$, $I_a / R_a = \text{const}$;
- моталки ($R_p = \text{var}$) $I_a = \text{const}$, $\Phi / R_p = \text{const}$.

Системи регулювання натягу за законом $\Phi = \text{const}$, $I_a = \text{const}$ при $R_p = \text{const}$ називаються системами регулювання натягу і швидкості.

Регулювання натягу при $R_p = \text{var}$ забезпечуються системами регулювання потужності. Для регулювання натягу у таких системах згідно з формулою (2.15) необхідний датчик потужності на валу двигуна. Але, як видно з формули (2.14), прямим чином можна виділити тільки електромагнітну потужність шляхом заміру напруги та струму якоря двигуна. При цьому ККД із зміною струму якоря теж змінюється. Таким чином, для точного підтримування натягу слід вимірювати потужність на валу двигуна P_b , що є достатньо складним процесом. Тому спосіб прямого вимірювання потужності тепер не використовується.

Системи з регулювання за законом $\Phi = \text{const}$, $I_a / R_a = \text{const}$, або $I_a = \text{const}$, $\Phi / R_p = \text{const}$ називаються системами однозонного регулювання натягу.

Якщо зміна кутової швидкості двигуна намотувально-розмотувального механізму від максимальної до номінальної виконується за законом $I_a = \text{const}$, $\Phi / R_p = \text{const}$, а нижче номінальної за законом $\Phi = \text{const}$, $I_a / R_a = \text{const}$, то системи регулювання натягу, які забезпечують вказані закони, називаються системами двозонного регулювання натягу, або комбінованими.

2.3 Вибір режиму регулювання натягу

Транспортування смугового матеріалу забезпечується за допомогою натяжних барабанів (роликів), які мають постійний радіус натягування $R_p = \text{const}$. Законом керування електроприводом натяжних механізмів є стабілізація потоку та струму якоря двигуна: $\Phi = \text{const}$, $I_a = \text{const}$.

При цьому система керування електроприводом натяжних механізмів повинна працювати у двох режимах:

- режим регулювання швидкості;
- режим регулювання натягу.

В режимі регулювання швидкості схема системи керування електроприводом натяжних механізмів аналогічна двоконтурній схемі з підпорядкованим регулюванням параметрів.

В режимі регулювання натягу слід відрізнити режими стабілізації напруги у режимі двигуна та режимі гальмування. Сталість потоку забезпечується відповідною системою стабілізації струму збудження двигуна. Тому основною задачею регулювання якоря у перехідних та сталих режимах. При цьому повним сигналом завдання на струм повинний бути сигнал $I_{\Sigma 3}$, який враховує усі складові струму, що є функцією кутової швидкості двигуна, лінійної швидкості смуги, сумарного моменту системи електропривода і т. і. (у відповідності із складовими моменту на валу двигуна).

Для забезпечення стабілізації струму якоря у режимі двигуна необхідно, щоб контур швидкості був розімкнений. Тому завдання $I_{\Sigma 3}$, у режимі двигуна є рівнем натягу в електроприводі натяжних механізмів є стабілізація струму обмеження регулятора швидкості (рис. 2.4). В режимі двигуна завдання на швидкість на вході регулятора швидкості визначається сумою сигналів завдання, $U_{\omega 3}$ та $U_{об}$. Складова завдання на швидкість $U_{\omega 3}$ формується із декілька складових, які враховують деякі параметри швидкісного режиму прокатки (швидкість прокатки, необхідну силу натягу, розмір петлі та ін.).

Складова завдання $U_{об}$ називається завданням на швидкість обгону.

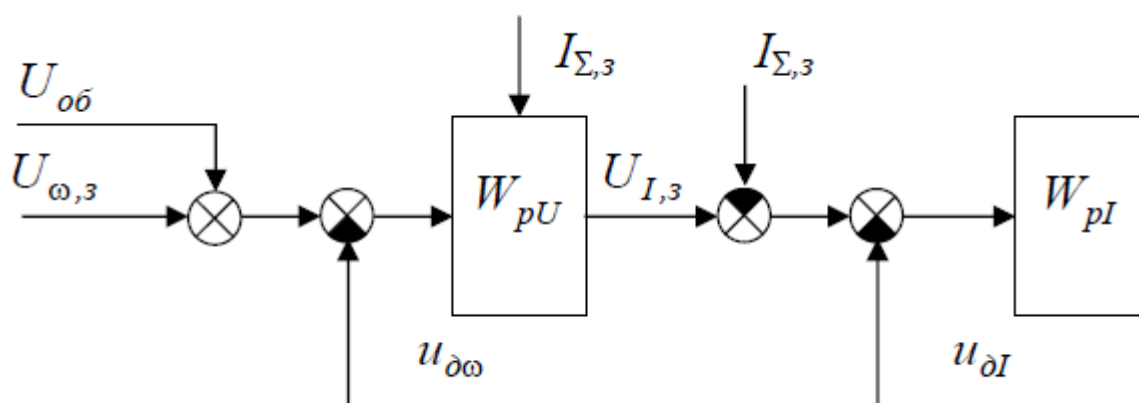


Рисунок 2.4 – Фрагмент системи регулювання швидкості і натягу натяжних механізмів

Вона вводить регулятор швидкості у режим насичення (рис. 2.5). Ця складова необхідна для обмеження швидкості смуги в умовах її обриву.

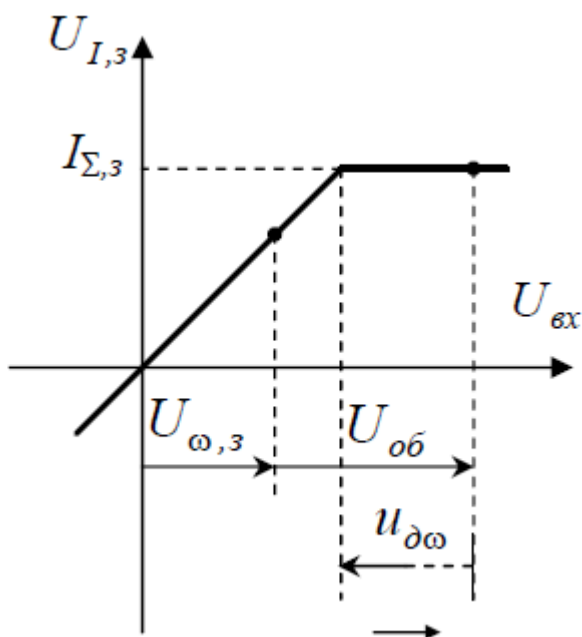


Рисунок 2.5 – Регульоване обмеження вихідного сигналу регулятора швидкості

Якщо в одному з режимів (двигуна або гальмування) виникне обрив смуги, то двигун, не маючи опору, почне розганятися. При цьому сигнал зворотного зв'язку із швидкості збільшується і виводить регулятор швидкості $U_{\delta\omega}$ з насичення (рис. 2.5). Перевищення швидкості обмежується величиною $U_{об}$.

У сигналах системи керування це обмеження має вигляд:

$$|U_{\omega,3} - u_{\delta\omega}| = U_{об} \quad (2.18)$$

Якщо прийняти, що завданням на швидкість буде швидкість прокатки $\vartheta_{п}$, а сигналу зворотного зв'язку по швидкості відповідатиме лінійна швидкість двигуна $(R_p\omega_{дв})/i_p$, то матимемо лінійну швидкість обгону:

$$\left| \vartheta_{п} - \frac{R_p\omega_{дв}}{i_p} \right| = \vartheta_{об}. \quad (2.19)$$

Величина швидкості обгону $\vartheta_{об}$ може бути постійною, або бути у залежності від швидкості прокатки, наприклад, $\vartheta_{об} = \alpha + \beta |\vartheta_{п}|$.

У режимі гальмування сигнал сумарного статичного струму подається безпосередньо на регулятор струму, забезпечуючи обмеження регулятора швидкості на рівні нуля. У цьому режимі натяжний механізм гальмує смугу, забезпечуючи необхідний натяг.

2.4 Існуюча система регулювання натягу

В прокатних цехах ПАТ «Запоріжсталь» використовується однозонна система регулювання натягу при змінному потоку для намотувально-розмотувальних механізмів із змінним радіусом рулону ($R_p = \text{var}$). Законом керування для такої системи електропривода є стабілізація струму якоря ($I_a = \text{const}$) і співвідношення струму якоря до радіусу рулону $\Phi/R_p = \text{const}$.

Для забезпечення цих умов в системі регулювання електроприводом повинно бути два контури. Один контур забезпечує стабілізацію струму якоря, а інший – співвідношення між потоком і радіусом рулону (рис. 2.6). Умова $\Phi/R_p = \text{const}$ виконується шляхом стабілізації ЕРС двигуна.

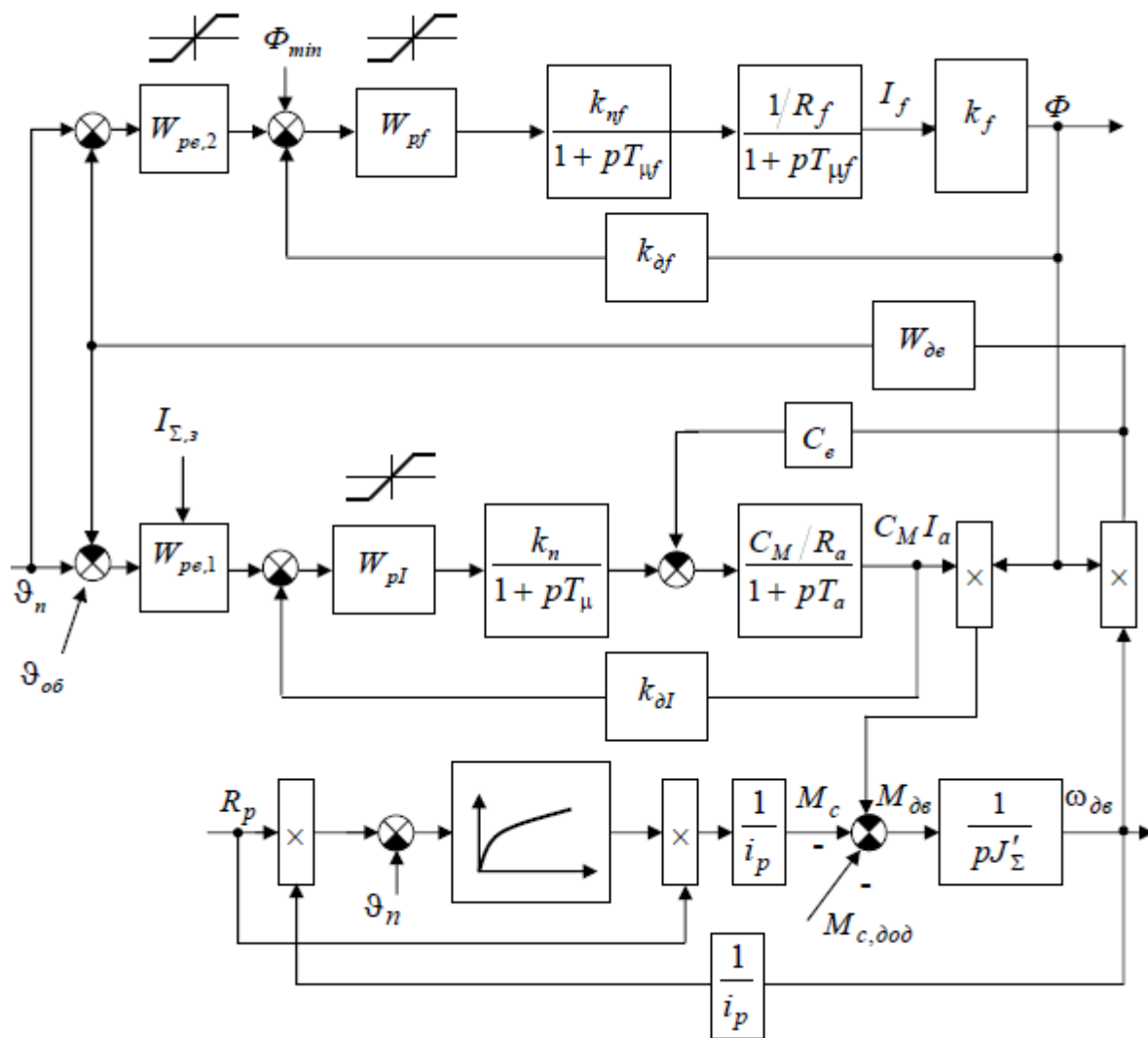


Рисунок 2.6 – Однозонна система регулювання натягу при $I_a = \text{const}$,
 $\Phi / R_p = \text{const}$

При збільшенні радіусу ролону збільшується момент опору двигуна i , тому, зменшується його кутова швидкість. Це призводить до відповідного зменшення сигналу зворотного зв'язку з ЕРС двигуна на регуляторах $W_{pe,1}$ і $W_{pe,2}$. У цей час регулятор $W_{pe,1}$ заведений у насичення сигналом швидкості обгону $\vartheta_{об}$. Тому контур регулювання ЕРС у якірному колі двигуна розімкнений.

На регуляторі $W_{pe,2}$ виконується порівняння сигналу завдання на лінійну швидкість прокатки ϑ_n й поточного сигналу зворотного зв'язку з ЕРС двигуна. Вихідний сигнал регулятора $W_{pe,2}$ є входним для контуру регулювання потоку.

Контур реагує на збільшення сигналу розузгодження на вході регулятора $W_{pe,2}$ зміною потоку збудження двигуна у бік його підвищення. Таким чином, зниження кутової швидкості двигуна компенсується підвищенням його потоку збудження й ЕРС стабілізується.

На рисунку 2.7 наведено діаграми регулювання потоку збудження і ЕРС двигуна у залежності від радіуса рулону.

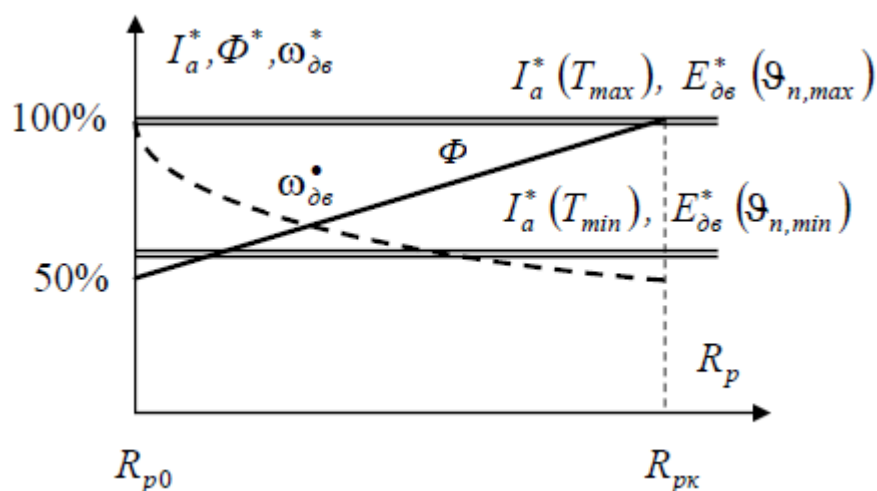


Рисунок 2.7 – Діаграми регулювання потоку збудження і ЕРС двигуна у залежності від радіуса рулону

У разі розриву смуги навантаження електропривода намотувально-розмотувального механізму миттєво впаде до навантаження неробочого ходу. Одночасно, за рахунок цього зростають кутова швидкість і ЕРС двигуна. Вони будуть зростати до рівня, визначеного сигналом швидкості обгону ϑ_{ob} . Після цього регулятор $W_{pe,1}$ вийде з насичення, контур регулювання ЕРС в якірному колі замикається й знижує струм якоря до струму неробочого режиму. Подальше зростання кутової швидкості (ЕРС) вище заданої закінчується, й починається її зменшення до заданого рівня швидкості прокатки. При цьому виникає короточасний нестійкий режим, коли одночасно замкнуті обидва контури регулювання ЕРС. САР натягу повинна працювати у всіх режимах – розгону, гальмування та сталому, тому при обмеженні виходу регулятора $W_{pe,1}$

слід враховувати усі складові струму двигуна у вигляді сигналу обмеження $I_{\Sigma,3}$. Крім того, необхідно пам'ятати, що сигнал ЕРС формується за допомогою сигналів струму й напруги якоря.

Недоліком САР натягу при зміні потоку є те, що двигун увесь час працює із зниженим потоком і тому не використовується повністю за перевантажувальною здатністю (двигун повинен бути більшої потужності для забезпечення необхідного струму при зниженому потоці збудження).

2.4 Розробка двохзонної системи регулювання натягу

Для усунення недоліку існуючої схеми регулювання натягу, коли увесь діапазон швидкості електропривода забезпечується за рахунок зниження потоку, двохзонна система регулювання надає можливість регулювання швидкості як за рахунок регулювання потоку, так і за рахунок регулювання струму якоря двигуна (рис.2.7).

Перша зона регулювання дає діапазон зміни кутової швидкості двигуна від максимальної до номінальної:

$$D_1 = \omega_{\max}/\omega_n \quad (2.20)$$

Друга зона зміни кутової швидкості двигуна від номінальної до кінцевої (рулон з максимальним радіусом R_{pk}):

$$D_2 = \omega_n/\omega_k \quad (2.21)$$

У першій зоні забезпечується закон регулювання натягу $I_a = \text{const}$, $\Phi/R_p = \text{const}$. При цьому потік регулюється в інтервалі $(0,45 - 1)\Phi_n$. Кутова швидкість змінюється у гіперболічній залежності від радіусу рулону, а ЕРС двигуна є незмінною.

У другому діапазоні регулювання швидкості виконується закон регулювання натягу $\Phi = \text{const}$, $I_a/R_p = \text{const}$. Потік у цій зоні не змінюється, зростає лінійно струм якоря, а ЕРС і кутова швидкість двигуна зменшуються гіперболічно при збільшенні радіусу рулону.

Двохзонна система регулювання натягу наведена на рисунку 2.8.

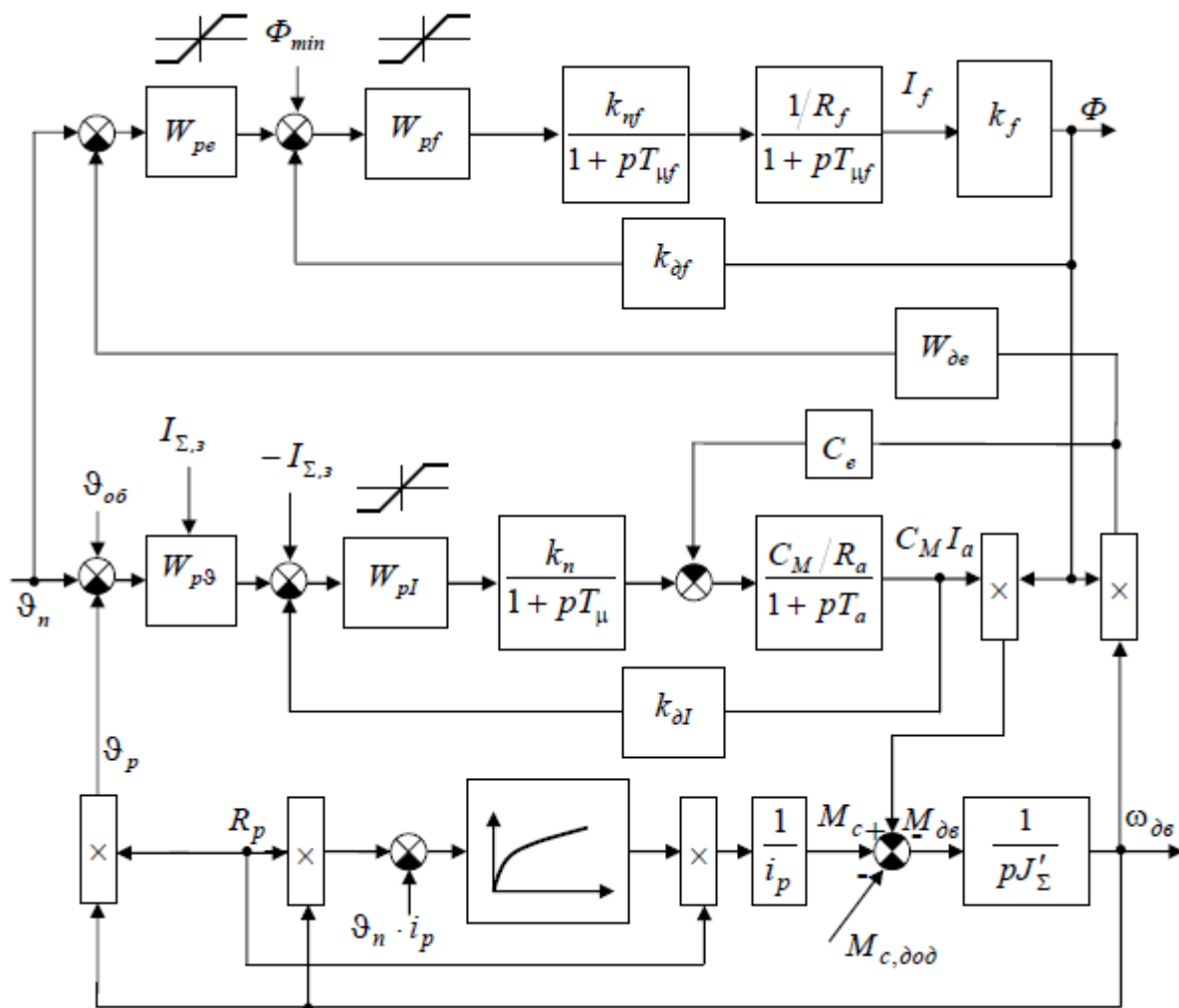


Рисунок 2.8 – Двохзонної системи регулювання натягу

Діаграми регулювання натягу у двухзонній системі показана на рис. 2.9.

Відміною рисою двухзонної системи регулювання натягу від однозонної за законом регулювання $I_a = \text{const}$, $\Phi/R_p = \text{const}$ є те, що замість зовнішнього контуру регулювання ЕРС двигуна у двухзонній САР використовується контур регулювання лінійної швидкості рулону ϑ_p . Це пов'язане з тим, що у другій зоні

двохзонної САР натягу ЕРС змінюється, а лінійна швидкість рулону підтримується в обох зонах на заданому рівні.

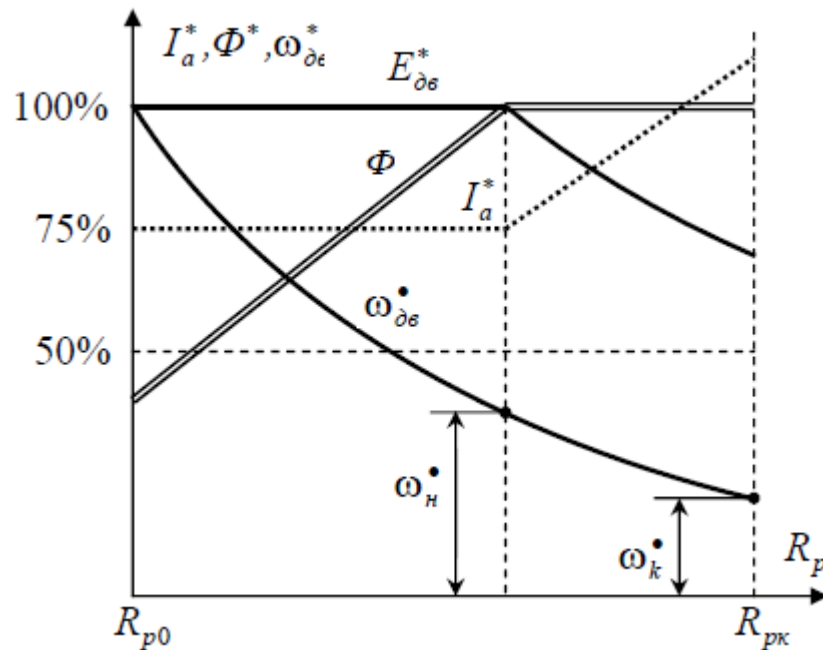


Рисунок 2.9 – Діаграми регулювання натягу у двухзонній САР

Умовою переходу з першої зони в другу є досягнення кутової швидкості двигуна номінального значення ω_n .

У першій зоні регулятор лінійної швидкості рулону $W_{p\Omega}$ знаходиться у насиченні за рахунок сигналу обгону $\mathcal{G}_{об}$. Верхня границя насичення визначається величиною сигналу сумарного струму $I_{\Sigma,3}$. Регулятор вийде з насичення при обриві смуги, коли лінійна швидкість рулону перевищить швидкість прокатки на задану $\mathcal{G}_{об}$ величину.

При подальшому зменшенні кутової швидкості двигуна, коли вона стає менше номінальної, САР переходить у другу зону регулювання. При цьому потік досягає свого номінального значення і більше не змінюється.

Далі, із зростанням радіусу рулону, збільшення моменту опору смуги призводить до зменшення ЕРС двигуна і, відповідно, до збільшення струму якоря.

2.6 Визначення структури регуляторів та розрахунок їх параметрів

На регулятор заводиться сигнал, пропорційний поточному значенню струму якоря. Зворотний зв'язок за струмом якоря призначений для збільшення швидкодії контуру струму шляхом компенсації відповідної електромагнітної сталої часу.

Налагодження регулятора струму виконується за формулою (2.22) на частоту зрізу:

$$\omega_{cl} = \frac{k_n(k_{\delta I} + k_{\delta e} \Phi_n u_n / R_{po}) C_M}{T_l R_a}, \quad (2.22)$$

Сигнал ЕРС формується за допомогою сигналів струму й напруги якоря.

Тому передавальна функція регулятора натягу буде:

$$W_{\delta e}(p) = \frac{k_{\delta e}}{1 + pT_a} \quad (2.23)$$

Стала часу T_a приводиться до некомпенсованої сталої контуру струму T_μ .

У двоконтурній системі регулювання потоку використовується пропорційно-інтегральна структура регулятора потоку:

$$W_{pf}(p) = \frac{1 + pT_2}{pT_1} \quad (2.24)$$

Передаточна функція розімкненого контуру потоку приймає вигляд:

$$W_f(p) = \frac{(1 + pT_2)}{pT_1} \cdot \frac{k_n k_f k_{\delta f} / R_{f\Sigma}}{(1 + pT_\mu)(1 + pT_{f\Sigma})} \quad (2.25)$$

Частота зрізу контуру в цьому випадку:

$$\omega_{cf} = A \cdot \frac{T_2}{T_1} \quad (2.26)$$

Якщо прийняти $T_2 = T_{f\Sigma}$ для компенсації великої сталої часу у контурі, то інший невідомий параметр регулятора визначиться як:

$$T_1 = \frac{A \cdot T_{f\Sigma}}{\omega_{cf}} \quad (2.27)$$

Через суттєву нелінійність, якою є крива намагнічування двигуна, коефіцієнт k_f залежить від значення потоку Φ двигуна. Тому настроювання регулятора слід виконувати при мінімальному значенні потоку, тому що при цьому значенні потоку коефіцієнт k_f і частота зрізу є максимальними (початкова ланка кривої намагнічування). Збільшення потоку призводить до паралельного зміщення ЛАЧХ контуру вліво по вісі абсцис і збільшенні запасу за амплітудою при відповідному зменшенні швидкодії контуру.

У режимі регулювання натягу необхідно забезпечити:

- синхронізація по швидкості привода намотувально-розмотувальних механізмів й привода валків кліті стана;
- діапазон регулювання швидкості у режимі підтримання натягу не більше 1:50 (визначається добутком кратності швидкості прокатки 10 – 20 на кратність зміни діаметру рулону 1,5 – 4,0);
- діапазон регулювання натягу для різних станів 1:5 – 1:20, у деяких
- випадках 1:50;
- точність підтримання незмінності натягу у сталому режимі 3 – 12%;
- точність підтримання незмінності натягу у динамічному режимі 3 – 8%;
- час відпрацювання східчастого завдання натягу не більше 0,2 с з перерегулюванням не більше 10%;

- регульоване перевищення лінійної швидкості барабана над швидкістю смуги при заправці у межах 0 – 30%;
- обмеження перевищення швидкості барабану при обриві смуги на
- максимальній швидкості 5%, на заправній швидкості –15%, з подальшою зупинкою привода;
- точність підтримання натягу 3 – 5%;
- час відпрацювання поштовху завдання струму не більше 10 – 25 мс.

Висновки. В даному розділі розроблена математична модель об'єкта управління рівномірним намотуванням листа в рулони моталкою прокатного стану. Була обрана двохзонна система регулювання натягу.

3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА І ДОСЛІДЖЕННЯ САР

Вихідні дані обмотки збудження двигуна:

- сумарний активний опір обмотки збудження $R_{f\Sigma} = 3,72$ Ом;
- стала часу збудження обмотки двигуна $T_f = 1,87$ с;
- номінальний струм збудження $I_{fn} = 40$ А;
- номінальний потік $\Phi_n = 0,142$ Вб.

Вентильний перетворювач обмотки збудження: $E_{d0} = 500$ В.

Коефіцієнт передачі датчика потоку $k_{df} = 66,7$ В/Вб.

Коефіцієнт пропорційності між струмом збудження і потоком на лінійному відрізку кривої намагнічування $k_f = 1,33$.

Параметри ПІ-регулятора потоку при настроюванні контуру потоку на заданий оптимум.

Визначаємо сумарну сталу часу обмотки збудження двигуна, приймаючи $T_f = 0,1T_f$.

$$T_{f\Sigma} = T_f + T_{ff} = 1,87 + 0,1 \cdot 1,87 = 2,057 \text{ с.}$$

Отримуємо коефіцієнт підсилювання збуджувача:

$$k_n = \frac{E_{d0}}{10} = \frac{500}{10} = 50.$$

Вважаємо, що потік регулюється вниз до $0,5\Phi_n$. Тому

$$k'_f = 0,5k_f = 0,5 \cdot 1,33 = 0,65.$$

Знаходимо

$$A = \frac{k_n k'_f k_{df}}{R_{f\Sigma} T_{f\Sigma}} = \frac{50 \cdot 0,65 \cdot 66,7}{3,72 \cdot 2,057} = 289,83.$$

Задаємось

$$\omega_{cf} = \frac{1}{4T_{\mu}} = \frac{1}{4 \cdot 0,004} = 62,5 \text{ c}^{-1}.$$

Знаходимо сумарну сталу часу обмотки збудження двигуна:

$$T_1 = \frac{A \cdot T_{f\Sigma}}{\omega_{cf}} = \frac{289,83 \cdot 2,057}{62,5} = 2,25 \text{ c}.$$

На рисунку 3.1 представлені механічні характеристики синхронного двигуна двохзонного регулювання швидкості обертання.

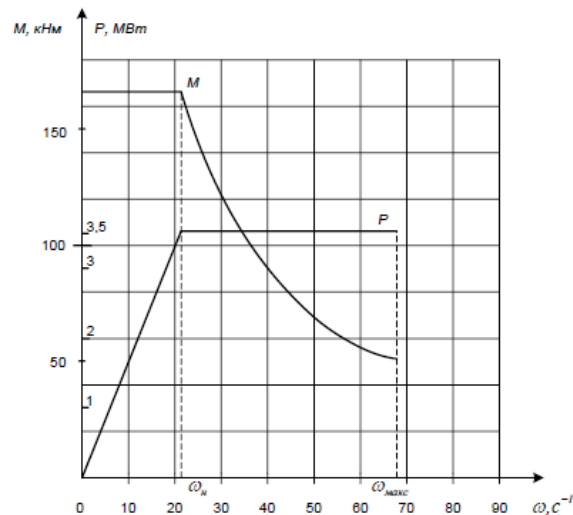


Рисунок 3.1 – Механічні характеристики синхронного двигуна двохзонного регулювання швидкості обертання

Перша зона регулювання кутової швидкості забезпечується шляхом стабілізації потоку на рівні номінального. При цьому регулятор ЕРС знаходиться у насиченні, а контур ЕРС розімкнутий. Тому ЕРС двигуна зростає лінійно в залежності від швидкості.

У другій зоні регулятор ЕРС виходить із насичення, і контур ЕРС замикається. Потік двигуна починає змінюватися в залежності від вихідного сигналу регулятора ЕРС. Як видно з (рис. 3.2), контур ЕРС має не лінійність у

вигляді блока множення на кутову швидкість двигуна. Тому для стабілізації динамічних характеристик у другій зоні регулювання вихід регулятора ЕРС необхідно ділити на сигнал, пропорційний кутовій швидкості двигуна, або помножити на сигнал, пропорційний потоку. У цьому разі коефіцієнт підсилення контуру ЕРС буде стабілізований.

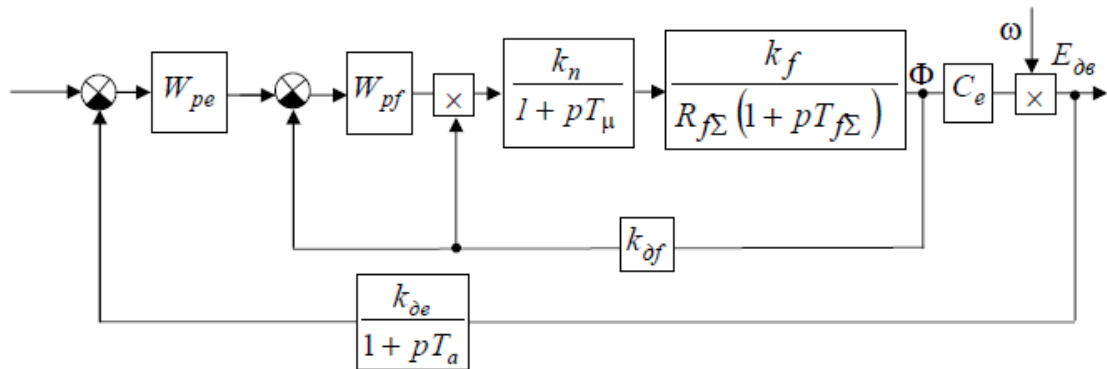


Рисунок 3.2 – Двоконтурна система регулювання потоку із корекцією сигналу регулятора ЕРС

Проаналізуємо скориговану систему за допомогою пакета MATLAB. Для цього зберемо скориговану систему в пакеті Simulink без негативного зворотного зв'язку.

Проведемо симуляцію та знімаємо частотні характеристики. Для реалізації в код в MATLAB записуємо параметри системи у формі t_f :

$$Y_1 = t_f([160 \cdot 2,7 \cdot 1], [0,0041])$$

$$Y_2 = t_f([3,4 \cdot 11], [0,000484 ; 0,111])$$

$$K_{os} = t_f([0,0280], [0,161])$$

$$Y_k = \text{feedback}(Y_2, K_{os})$$

$$Y_3 = t_f([0,01], [10])$$

$$Y_s = Y_1 \cdot Y_k \cdot Y_3$$

$$\text{figure; margin}(Y_s)$$

Коригована система для частотних характеристик наведена на рисунку 3.3.

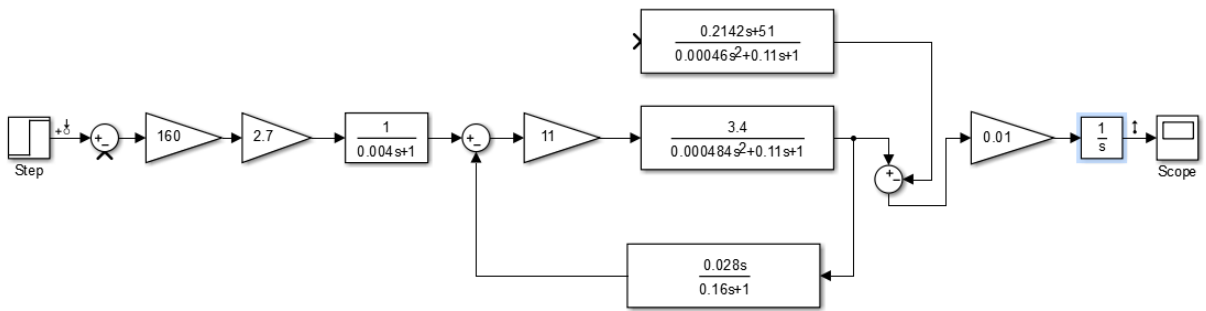


Рисунок 3.3 – Коригована система для частотних характеристик

Знаходимо частотні характеристики системи, що наведено рисунку 3.4.

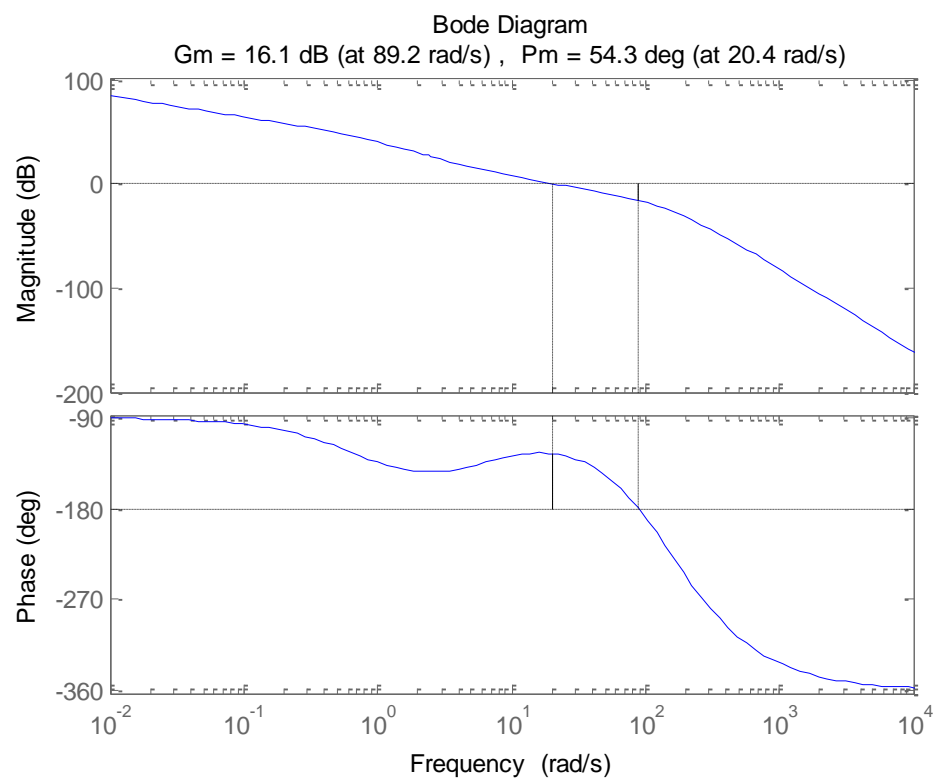


Рисунок 3.4 – Частотные характеристики скорректированной системы

Як видно з малюнка система має достатній запас стійкості по фазі $\Delta\varphi = 54,3^\circ$.

Додамо негативний одиничний зворотний зв'язок до системи, що скоригується, і знімемо перехідну характеристику моделі (рис. 3.5).

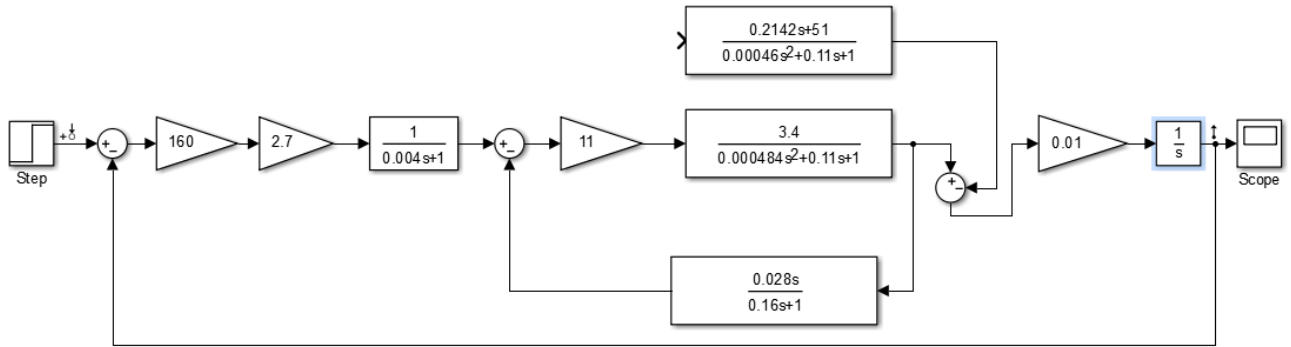


Рисунок 3.5 – Коригована система для перехідних характеристик

Проводимо симуляцію та знімаємо перехідні характеристики. Для реалізації у коді MATLAB у t_f формі додаємо негативний зворотний зв'язок до всієї системи та будуємо характеристику, наведену на малюнку 3.6.

$Y = \text{feedback}(Y_s, 1)$

`figure; step(Y)`

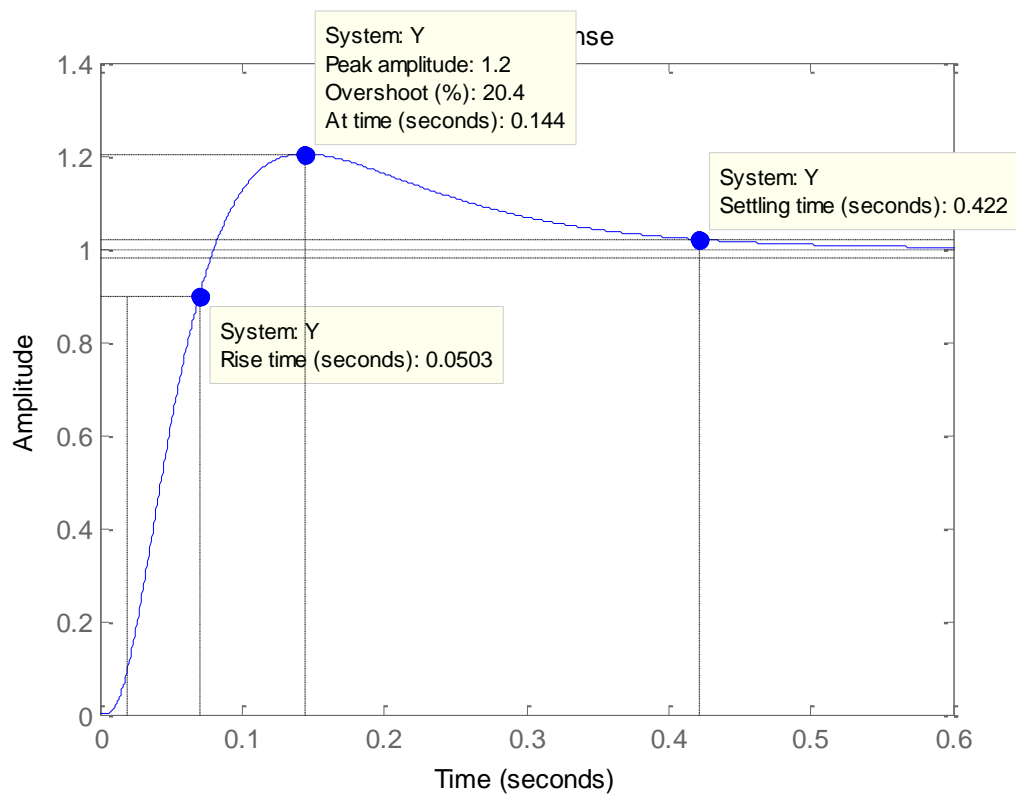


Рисунок 3.6 – Перехідна характеристика скоригованої системи

За даними перехідної характеристики з рисунку, перерегулювання в системі при $T_n = 0,144 = 20,4\% < 30\%$, перерегулювання в скоригованій системі менше вихідних даних, яке задовольняє початковому параметру

Час перехідного процесу $T_{\text{пн}} = 0,422 < 0,5$, що задовольняє початкову умову.

Час наростання перехідного процесу $T_n = 0,0503$ с.

Висновки. З аналізу отриманих параметрів САР робимо висновок у тому, що система повністю задовольняє умовам забезпечення заданих вимог якості.

4 ТЕХНІЧНА РОЗРОБКА САР

4.1 Розробка структурної схеми САР

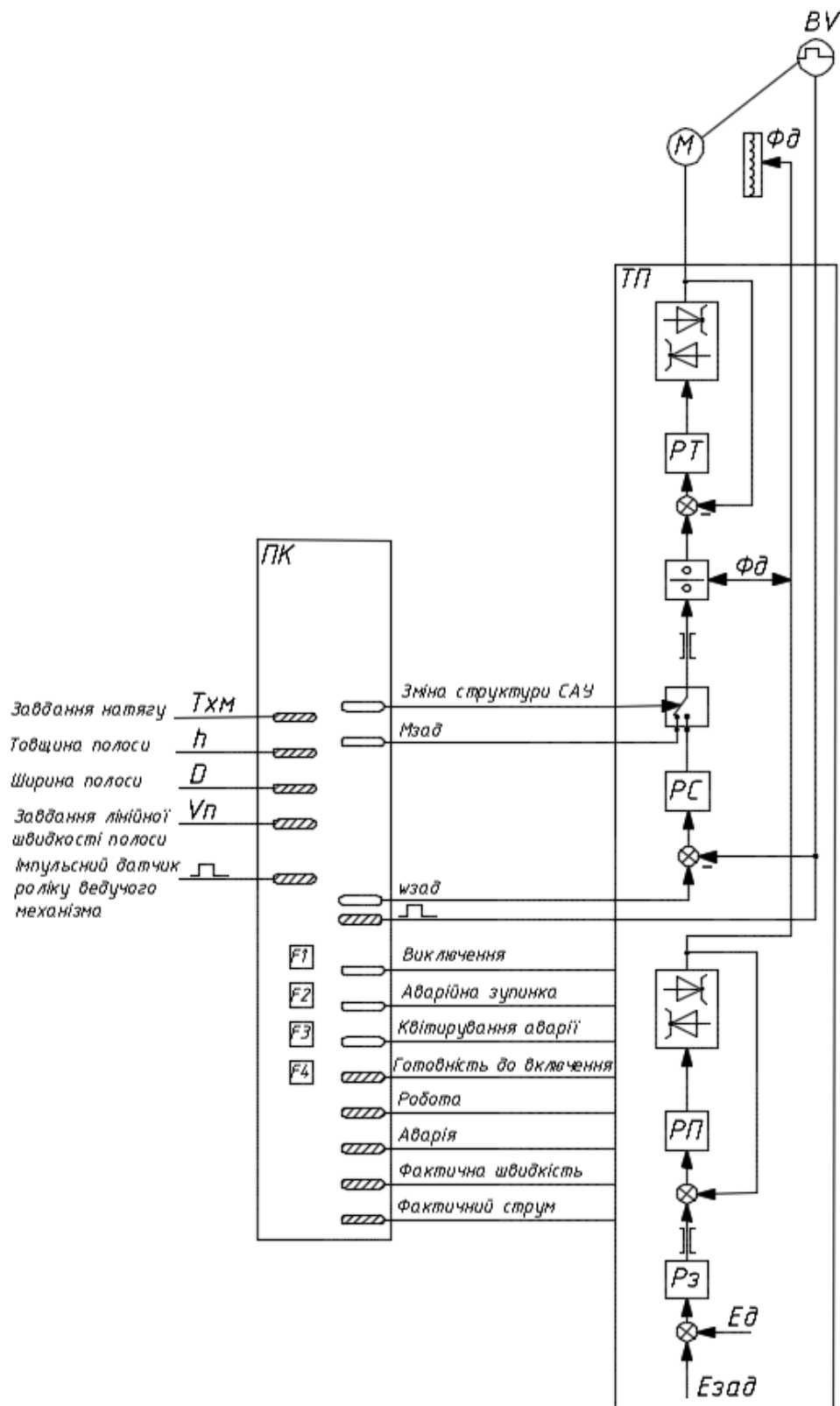
Електропривод моталки повинен забезпечувати намотування смуги з постійним заданим натягом і при постійній швидкості смуги є електроприводом постійної потужності. Система мікропроцесорного управління реалізована на електроприводах розмотувача та моталки агрегату поздовжнього різання АПрР 1...6×1500.

Розроблена система автоматичного регулювання (САР) електроприводом моталки являє собою САР натягу смуги непрямої дії з використанням обчислення поточного значення радіуса рулону. У цій системі намотування смуги зі швидкістю електродвигуна нижче номінальної відбувається при постійному потоці збудження шляхом зміни напруги на якорі, а при швидкості електродвигуна вище номінальної – шляхом ослаблення потоку збудження при постійній напрузі на якорі. Таким чином, в процесі намотування відбувається двозонне регулювання швидкості електродвигуна із залежним управлінням потоком збудження.

Розроблена САР електроприводу моталки побудована на базі програмованої мікропроцесорної системи управління тиристорного перетворювача постійного струму (ТП) з використанням програмованого контролера загальної системи управління агрегату (ПК) серії.

Структурна схема САР електроприводу моталки наведено на рис. 4.1.

У режимі підтримки натягу (основний робочий режим намотки) система управління ТП являє собою одноконтурну САР якірного струму електродвигуна, яка відпрацьовує завдання моменту, що надходить із ПК. ПК формує завдання повного моменту електродвигуна: статичну складову, як завдання натягу, помножене на поточне значення радіусу рулону плюс момент вигину смуги, і динамічну складову, що виникає при розгоні та гальмуванні агрегату.



F2 – обчислення динамічної складової моменту; F3 – обчислення радіусу рулона; F4 – контроль обриву полоси; F1 – обчислення статистичної складової моменту

Рисунок 4.1 – Функції

У режимі поштовхів або при обриві смуги система управління ТП перетворюється на двоконтурну САР швидкості електродвигуна. Зі зворотним зв'язком від імпульсного датчика швидкості. В обох режимах комп'ютер формує завдання швидкості з урахуванням поточного значення радіуса рулону. Перетворення структури САР електроприводу моталки відбувається за командою ПК.

У ПК визначається момент виходу полоси з провідного механізму агрегату або обрив смуги перед моталкою шляхом порівняння заданої швидкості смуги та лінійної швидкості моталки.

Обчислення поточного значення радіусу рулону на моталці виробляється в ПК періодично по співвідношенню зростання кута повороту ролика провідного механізму ВР і кута повороту барабана з рулоном за час, протягом якого кут повороту барабана з рулоном збільшується на вибрану постійну величину.

Кути повороту вимірюються за допомогою імпульсних датчиків, встановлених на валах електродвигунів, та лічильників імпульсів у ПК.

Лічильник імпульсів, що вимірює кут повороту барабана з рулоном, працює в режимі періодичного рахунки. Щоразу, коли барабан з рулоном повертається на обрану постійну величину, лічильник після відліку відповідного цього кута повороту числа імпульсів Z_0 обнулюється, щоб почати рахунок спочатку.

Лічильник імпульсів, який вимірює кут повороту ролика провідного механізму, працює в режимі безперервного рахунку.

Щоразу, коли лічильник кута повороту барабана з рулоном обнулюється, показання цього лічильника запам'ятовується і обчислюється різниця між цим значенням – Z_i та показанням лічильника в момент попереднього обнулення лічильника, пов'язаного з поворотом барабана з рулоном, Z_{i-1} .

Радіус рулону на моталці обчислюється як:

$$R_M = K \cdot \frac{Z_i - Z_{i-1}}{Z_0}, \quad (4.1)$$

де K – константа залежить від числа імпульсів на оборот імпульсних датчиків, передавальних чисел редукторів.

Обмін сигналами керування між програмованим контролером ПК та системою управління ТП здійснюється через мережу PROIBUS DP. Система керування електроприводу моталки є САР зі змінної структурою.

4.2 Тиристорний перетворювач постійного струму

Розроблена САР електроприводу моталки побудована на базі програмованої мікропроцесорної системи управління тиристорного перетворювача постійного струму (ТП) серії SIMOREG 6RA70 фірми SIEMENS – цифрові компактні пристрої для підключення трифазного струму, які служать для живлення якірним струмом та струмом обмотки збудження приводів постійного струму з частотою обертання, що змінюється, зі значеннями розрахункового струму для якоря від 15А до 3000А.

Зовнішній вигляд перетворювача показаний на рисунку 4.2.



Рисунок 4.2 – Зовнішній вигляд перетворювача SIMOREG 6RA70 [46]

При паралельному увімкненні компактних пристроїв можлива сила струму до 12000А.

Живлення обмоткою збудження можливе при силі струму до 85А (секціювання залежно від розрахункового значення постійного струму якоря).

Якірний контур виконаний за мостовою схемою змінного струму.

У перетворювачах для нереверсивного приводу за повнокерованою бруківкою схемою змінного струму В6С у перетворювачах для реверсивного приводу за двома повнокерованими мостовими схемами змінного струму (В6) А (В6) С.

На рисунку 4.3 наведено блокова схема підключення CUD1.

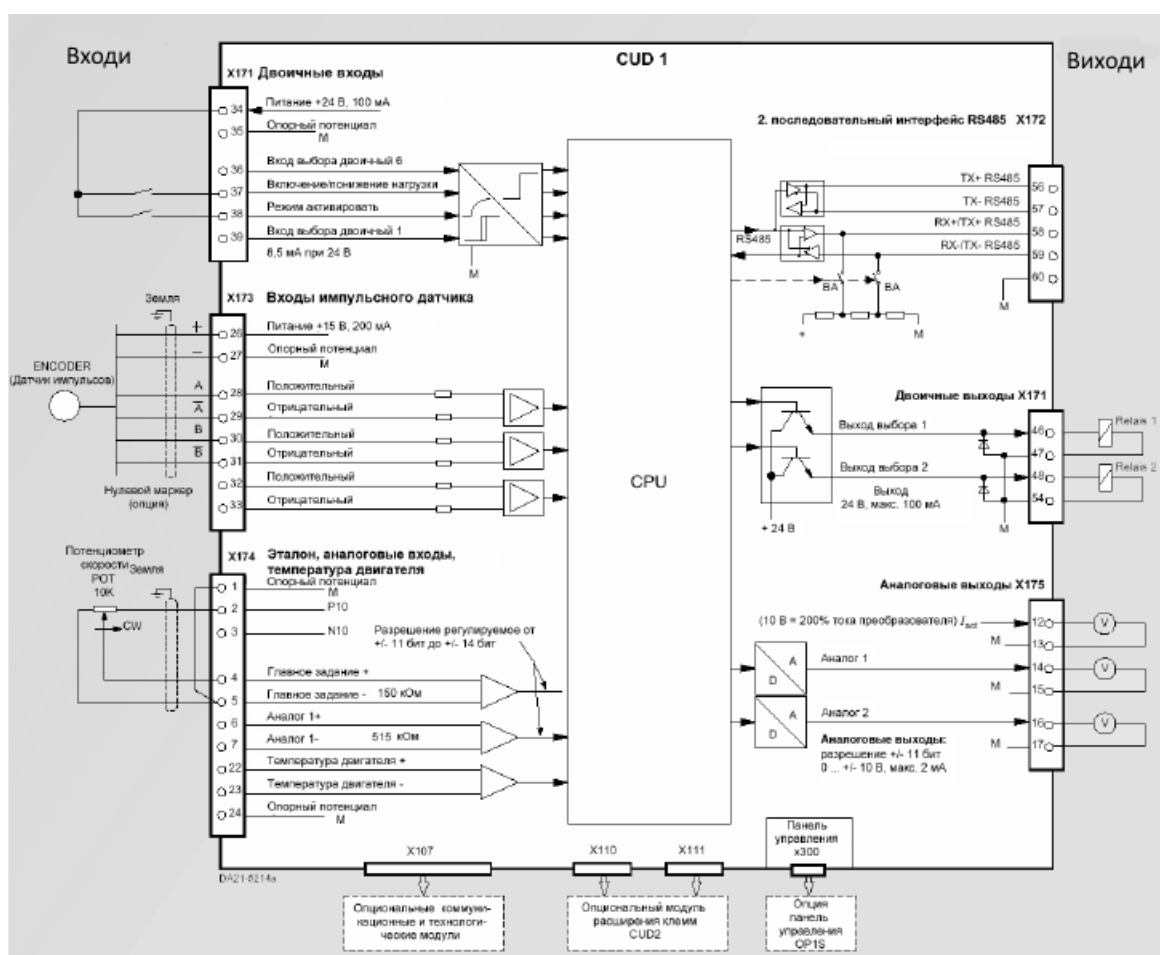


Рисунок 4.3 – Блоковая схема підключення CUD1 [46]

Контур збудження виконаний за односекційною однофазною мостовою схемою В2НЗ. Перетворювачі з номінальним струмом від 15 до 1200 А мають силову частину для якоря і збудження з електрично ізольованими тиристорними модулями. При цьому корпус тепловідведення не несе потенціалу. У перетворювачах з номінальним струмом ≥ 1500 А силова частина якорного контуру виконана на таблеткових тиристорах та їх тепловідведення знаходяться під напругою.

4.3 Програмований контролер

Використанням програмованого контролера загальної системи управління агрегату (ПК) серії SIMATIC S7-300. Це компактний малоканалний багатофункціональний мікропроцесорний контролер, призначений для автоматичного регулювання та логічного керування технологічними процесами.

Зовнішній вигляд контролера показаний на рисунку 4.4.



Рисунок 4.4 – Зовнішній вид контролера SIMATIC S7-300 [46]

Серія програмованих контролерів SIMATIC S7-300 фірми Siemens є платформою для розв'язання завдань в області промислової автоматизації. Завдяки модульній архітектурі контролер SIMATIC S7-300 може забезпечувати

керування як нескладними об'єктами автоматизації, так і найбільш відповідальними технологічними процесами на рівні цілого підприємства.

На базі SIMATIC S7-300 можна реалізувати локальну, віддалену або розподілену конфігурацію вводу-виводу, які komponуються певною комбінацією шасі, центральних процесорів, джерел живлення, модулів вводу-виводу та інших технічних засобів.

Модульна конструкція, можливість побудови розподілених структур управління, наявність дружнього користувачеві інтерфейсу дозволяє використовувати контролер для економічного вирішення широкого кола завдань автоматичного управління в різних областях промислового виробництва. Ефективному застосуванню контролерів сприяє можливість використання декількох типів центральних процесорів різної продуктивності, наявність широкої гама модулів вводу-виводу дискретних і аналогових сигналів, функціональних модулів і комунікаційних процесорів.

Контролер SIMATIC S7-300 має модульну конструкцію і може включати до свого складу:

- модулі центральних процесорів (CPU). Залежно від ступеня складності

розв'язуваної задачі в контролері можуть бути використані різні типи централь-

них процесорів, що відрізняються продуктивністю, об'ємом пам'яті, наявністю або відсутністю вбудованих входів-виходів і спеціальних функцій, наявністю або відсутністю комунікаційних інтерфейсів;

- сигнальні модулі (SM), призначені для введення-виведення дискретних і аналогових сигналів з різними електричними і часовими параметрами;

- комунікаційні процесори (CP) для підключення до мереж PROFIBUS, Industrial Ethernet, AS інтерфейсу або організації зв'язку по PPI (point to point) інтерфейсу;

– функціональні модулі (FM), здатні самостійно вирішувати завдання автоматичного регулювання, позиціювання, обробки сигналів. Функціональні модулі забезпечені вбудованим мікропроцесором і здатні виконувати покладені на них функції навіть у разі відмови центрального процесора ПЛК.

При необхідності в складі контролера можуть бути використані:

– модулі блоків живлення (PS), що забезпечують можливість харчування контролера від мережі змінного струму напругою 120 або 230 В;

– інтерфейсні модулі (IM), що забезпечують можливість підключення до центрального контролера стійок розширення введення-виведення. Контролери SIMATIC S7-300 дозволяють використовувати в своєму складі до 32 сигнальних і функціональних модулів, а також комунікаційних процесорів, розподілених по 4 монтажним стійок.

Всі модулі працюють з природним охолодженням.

Діапазон робочих температур стандартне виконання від 0 до 60 ° С, з розширеним температурним діапазоном (від –25 до 60 ° С) і підвищеною стійкістю до дії вологості, конденсату і морозу.

В даному контролері можуть використовуватися наступні модулі центрального процесора CPU312IFM, CPU313, CPU314IFM, CPU314, CPU315, CPU315-2DP, CPU316-2DP, CPU318-2DP.

Програмування здійснюється за допомогою пакета програмування STEP 7.

Набір інструкцій дозволяє працювати з логічними операціями, операціями з дужками, збереження, рахунок, завантаження, передача, порівняння, зрушення, а також, операції над числами з фіксованою і плаваючою комою, функції переходів.

Системні функції (SFC):

- обробка переривань, помилок і відмов;
- копіювання даних; тимчасові функції (годинник);
- діагностичні функції;

- визначення параметрів модулів;
- перевизначення режимів роботи.

Час виконання операцій: логічних операцій 0,3...0,6 мкс, операцій зі словами 1,0 мкс, операцій з таймерами і лічильниками 12 мкс, складання цілих чисел 2,0 мкс, складання дійсних чисел 50,0 мкс.

Проектне компонування контролера здійснюється на основі інформації про кількість та вид вхідних і вихідних сигналів, з якими працює контролер у процесі автоматичного управління технологічним процесом, бажану конфігурацію ввідів-виводів та мережну структуру.

Усі інформаційні канали уніфіковані струмові з діапазоном 4 – 20 мА. На такий вхідний сигнал орієнтований аналоговий модуль вводу SM331.

Компоновка контролера проводиться виходячи з кількості і типу сигналів на вході і виході.

За результатами обробки вхідних сигналів контролер формує керуючий вплив на витрату повітря, палева і димових газів. Здійснюється це за допомогою виконавчих механізмів сталої швидкості, які працюють від імпульсних сигналів управління. Оскільки при регулюванні технологічних параметрів виконавчий механізм має здійснювати компенсацію збурень шляхом збільшення або зменшення витрати повітря, палева і димових газів, при розрахунку кількості дискретних модулів виводу необхідно передбачити на кожний виконавчий механізм два виходи – «більше» і «менше». Як показано у табл. 4, зміну витрат технологічних параметрів здійснюють три виконавчі механізми, а це означає, що для керування їх роботою потрібно шість вихідних каналів дискретного модуля виводу.

Серед існуючих дискретних модулів SIMATIC S7-300 для керування роботою виконавчих механізмів найбільш підходить модуль SM322 (серія 6ES7322-1BF01-0AA0). Споживчий струм: 40 мА на 5 В постійного струму.

Для опитування, обробки інформації, відповідно до алгоритмів керування окремими технологічними параметрами, оновлення станів вихідних каналів, реалізації одної гілки розподіленого вводу-виводу та здійснення інших процедур у системі управління, можна використати центральний процесор CPU315-2DP (серія 6ES7315-2AH14-0AB0). Він має можливість підключення до 32 модулів S7-300 (4-рядна конфігурація), вбудований блок живлення =24 в, 256 кбайт робочей пам'яті, 2 інтерфейса DP-MASTER/SLAVE. Споживчий струм шини з 850 мА.

Оскільки, відповідно до завдання, необхідно сконфігурувати розподілений ввід-вивід, для віддаленої панелі потрібен адаптер вузлу, 6GK1571-0BA00-0AA0 – PC USB-адаптер A2 (USB V2.0) для підключення PG / PC чи ноутбука SIMATIC S7 к PROFIBUS чи MPI B комплекті (USB-кабель 5М).

Для функціонування контролера потрібен модуль живлення, який необхідно розрахувати, користуючись підсумковим струмом, що споживаються усі модулі контролера. Аналогові модулі споживають струм 200 мА, дискретний модуль виводу – 40 мА, центральний процесор – 850 мА. Тобто сумарний струм, що споживають модулі центрального шасі дорівнює 1090 мА. Щоб забезпечити такий струм споживання необхідно використати модуль живлення

В якості джерела живлення для контролеру використовується універсальний модуль живлення PS307 (серія 6ES7307-1EA01-0AA0): має вхідну напругу ~120/230 В, а вихідний струм шини дорівнює 5 А.

Для конфігурування розподіленого вводу-виводу потрібно два шасі. На центральному необхідно встановити модуль живлення, центральний процесор, аналоговий модуль вводу, а на виносному – адаптер вузлу підключення PG / PC і аналоговий модуль вводу. Обираємо профільну шину довжиною 480 мм S7-300, серії 6ES7390-1AE80-0AA0.

Висновки. Електропривод моталки повинен забезпечувати намотування смуги з постійним заданим натягом і при постійній швидкості смуги є електроприводом постійної потужності. Система мікропроцесорного

управління реалізована для електроприводу моталки агрегату поздовжнього різання. САУ електроприводу моталки побудована на базі програмованої мікропроцесорної системи управління тиристорного перетворювача постійного струму (ТП) серії SIMOREG 6RA70 фірми SIEMENS з використанням програмованого контролера загальної системи керування агрегату (ПК) серії SIMATIC S7-300. Програмування контролера буде описано в наступному розділі.

5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ

Адаптивна САР моталкою на базі програмування контролера SIMATIC S7-300 створена в програмному середовищі STEP7.

Базовий пакет STEP 7 призначений для створення проектів, що вирішують завдання автоматизації окремих верстатів, ділянок, технологічних процесів.

Розглянутий пакет дозволяє проводити розробку як програмних, так і апаратних засобів в межах одного проекту, в результаті чого на основі вимог до програмної та апаратної частин відбувається створення і конфігурація необхідних коштів і мереж, робочих програм і блоків даних для вирішення задач автоматизації.

Для створення програмного забезпечення потрібно розробити:

- структуру програми;
- управління даними автоматичного процесу;
- структуру даних;
- передачу даних;
- документацію програми і проекту.

Основними утілітами пакета STEP 7, котрі доступні в папці SIMATIC - STEP 7, є:

- SIMATIC Manager;
- LAD, STL, FDB – Programming S7;
- Memory Card Parameter Assignment;
- NetPro – Configuring Networks;
- PID Control Parameter Assignment;
- S7 SCL – Programming S7 Blocks;
- S7-GRAPH – Programming Sequential Control System;
- S7-PDIAG – Configuring Process Diagnostic;
- S7-PLCSIM Simulating Modules;

- Setting the PG-PC Interface;
- Configure SIMATIC Workspace.

Основною програмою STEP 7 є SIMATIC Manager, який дозволяє виробляти основні операції з проектом, такі як створення, збереження, відкриття, а також керувати роботою проекту, запускати різні утиліти, пов'язувати їх між собою і т. д.

Спочатку роботи треба створити проект. Для цього при запуску пакета система за замовчуванням запропонує користувачеві ввести його ім'я Library Motion Control SINAMICS (FB LMCSINA) і вибрати мінімальний набір необхідних опцій.

У вікні, із списку, вибрати SIMATIC 300 Station – станцію з якою будемо працювати.

Далі в загальному вікні програми шукаємо кнопку NetPro (програма побудови обладнання та створення між ними зв'язків), в розпочатому додатку в нашу станцію треба додати: CPU 315 (процесор), плату 2-DP – організуючу передачу даних по протоколу ProfiBus і блок живлення.

На описуваній станції будемо проводити програмування контролера. Для передачі даних з Simatic 300 Station (Step7) в SCADA, тут необхідно створити Simatic PC Station, в який додаємо (зі списку збоку) WinCC Application і CP5614 FO (ProfiBas).

Контролер виконує наступні функції:

- зчитує керуючі команди, задані та фактичні значення і передає їх SINAMICS;
- отримує команди стану та фактичні значення від SINAMICS і створює їх доступний у SIMATIC S7;
- вибирає режим роботи та передає технологічні задані та фактичні значення, що відповідають режиму роботи.

На рисунку 5.1 наведено маркування сигналів входів та виходів блоків регулятора на мові FBD.

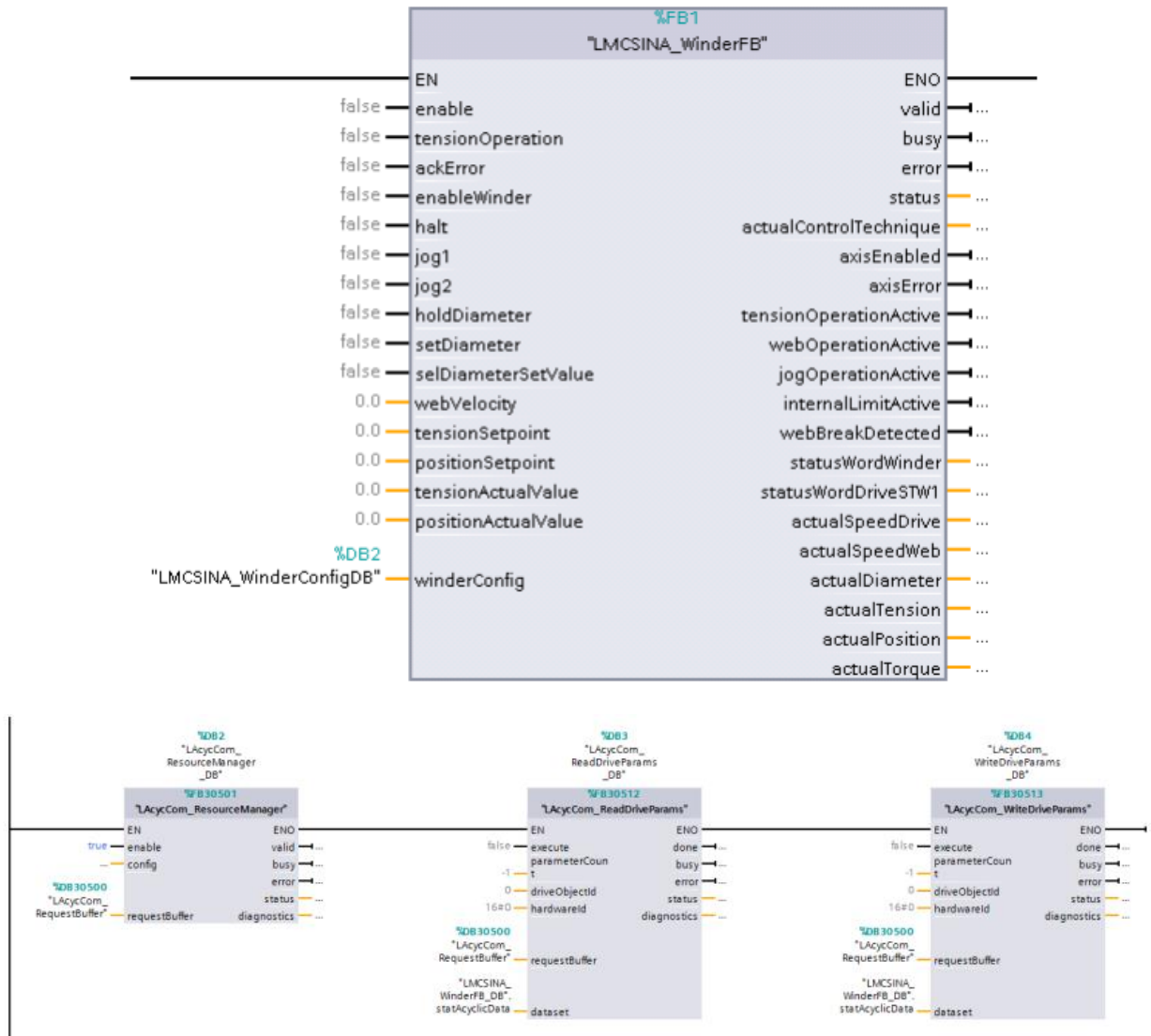


Рисунок 5.1 – Блоки регулятора FB1 на мові FBD

Для зручності налаштування регулятора приводиться відображення функціональної діаграми роботи адаптивної системи управління рівномірного намотування листа в рулони моталкою прокатного стану, воно наведено на рисунку 5.2.

Інтерфейс системи автоматизації вимагає введення наступних даних:

- керуюче слово;
- задане значення натягу;
- фактичне значення натягу;
- задане положення;
- фактичне значення положення;

- фактичне значення швидкості полотна (рампа);
- значення маневрування (за потреби);
- задане значення Jog;
- значення налаштування діаметра;
- ширина матеріалу;
- щільність матеріалу;
- тахометр полотна фактичного значення швидкості;
- задане значення швидкості полотна.

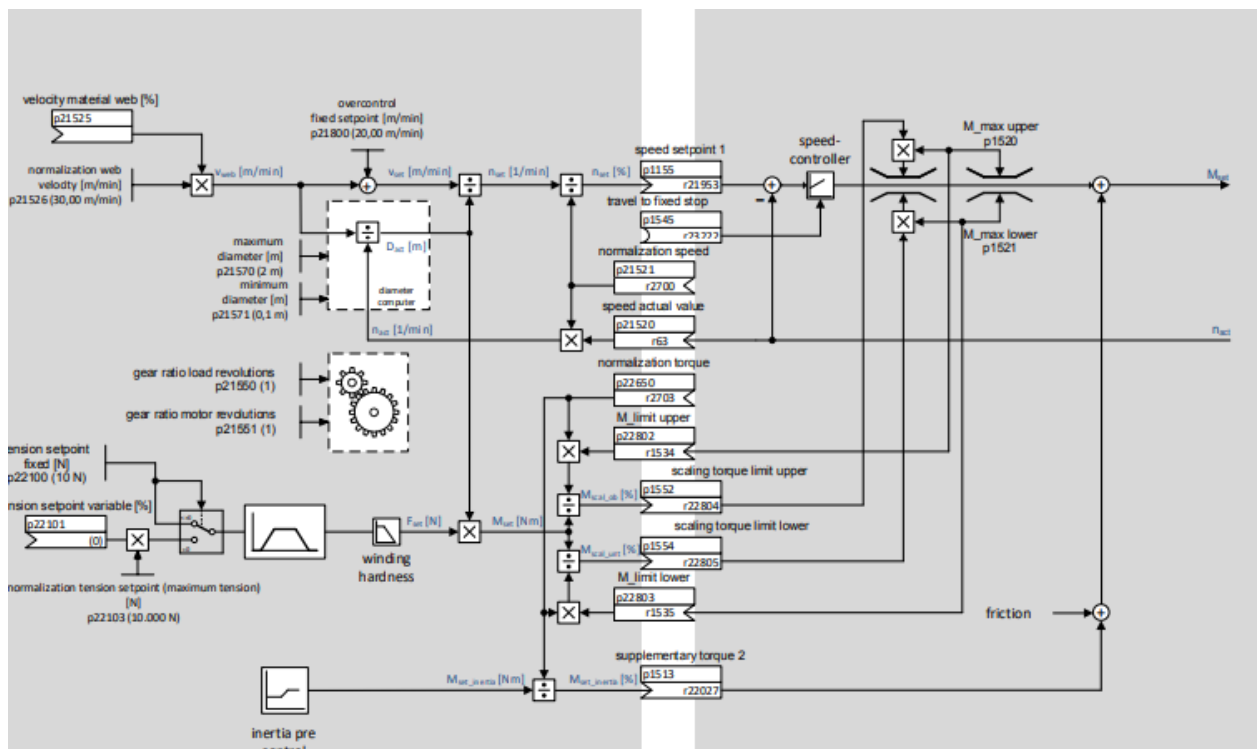


Рисунок 5.2 – Відображення функціональної діаграми роботи САР

На рисунку 5.3 наведений комп'ютерний інтерфейс оператора управління МОТАЛКОЮ.

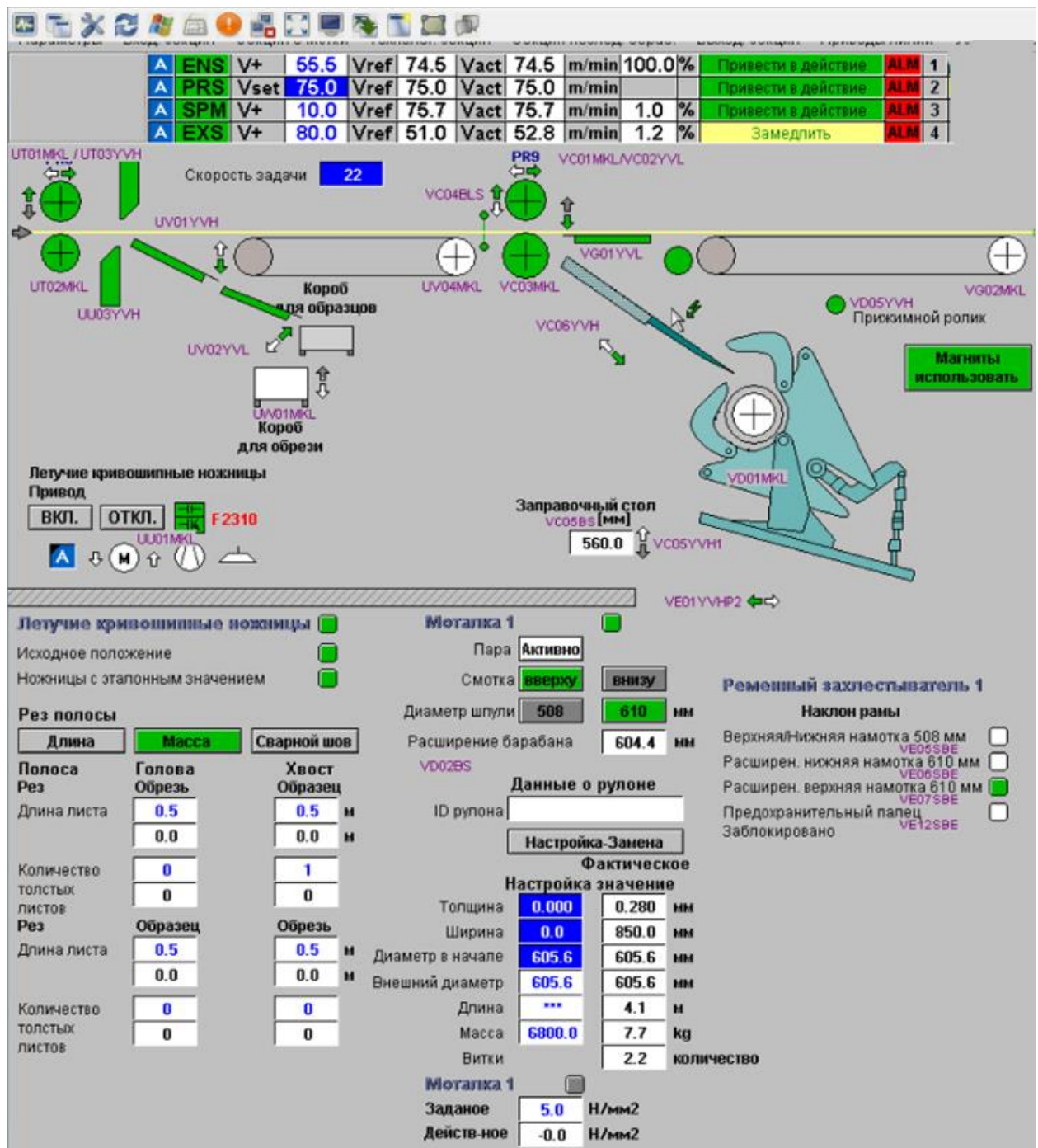


Рисунок 5.3 – Комп’ютерний інтерфейс управління моталкою

Частина програмного коду управління контролером SIMATIC-S7- 300 наведено нижче.

//Початок програми.

FUNCTION_BLOCK FB187

TITLE = ‘ПІ-регулятор’;

```

VERSION : '4.1';
VAR_INPUT// Вхідні змінні.
PV:REAL; //Змінений сигнал від датчика.
SP:REAL; //Уставка для регулятора.
Kp:REAL; //Пропорційне посилення.
Ki:REAL; //Інтегральне посилення (зворотно пропорційно часу
інтегрування).
Kf:REAL; //Коефіцієнт фільтрації для інтегральної складової (зворотно
пропорційний постійній часу фільтрації).
db_h:REAL; //Верхня зона нечутливості помилки.
db_l:REAL; //Нижня зона нечутливості помилки.
lim_out_h; //Верхнє обмеження вихода регулятора.
lim_out_l; //Нижнє обмеження вихода регулятора.
_dt:REAL; //Шаг розрахунку в секундах (для OB35=0.1).
MAN:REAL; //Ручне завдання вихідного сигналу.
MAN_ON:BOOL; //Ввімкнути ручне керування.
END_VAR
VAR_OUTPUT// Вихідні змінні.
OUT:REAL; // Вихід регулятора.
END_VAR
VAR //Внутрішні змінні (що зберігаються).
I_PART:REAL:=0.0; //Інтегратор 1 для інтегральної складової.
D_SINTEGRATOR:REAL: =0.0; // Інтегратор
END_VAR
VAR_TEMP //Внутрішні змінні (що не зберігаються).
ER:REAL; //Помилка регулювання.
OUT_PI:REAL; //Вихід з ПІ алгоритма.
SW:REAL; //Вихід з перемикача «Ручний/Автоматичний».
SUB:REAL; //Відрахування для обмеження інтегральної складової по
амплітуді.

```

```

P_PART:REAL; //Пропорційна складова регулятора.
D_PART:REAL; //Диференційна складова регулятора.
END_VAR
ER:SP-PV; //Розрахунок помилки регулювання.
IF((db_1<ER)AND(ER<db_h)) //Зона нечутливості до помилки.
THEN
ER:=0.0
END_IF
IF (Kd<>0.0)
THEN
D_PART:= 0.0; //Якщо не використовуємо, тоді не враховуємо.
END_IF;
P_PART:=Kp * ER; //Пропорційна складова.
OUT_PID:=P_PART + I_PART + D_PART; //Вихід ПІ-регулятора.
//Ручне управління
IF (MAN_ON) //Переключення режиму роботи «Ручной/Автоматичний».
THEN
SW:=MAN; //Включення ручного режиму, якщо MAN_ON=1.
ELSE
SW:=OUT_PID; //Включення автоматичного режиму, якщо MAN_ON=0.
END_IF;
//Амплітудний обмежувач
IF (SW>=lim_out_h) //Обмеження виходу зверху.
THEN
OUT:=lim_out_h;
END_IF;
IF (SW>=lim_out_l) //Обмеження виходу знизу.
THEN
OUT:=lim_out_l;
END_IF;

```

```

IF ((lim_out_l<SW)AND(SW<lim_out_h) //Вихід без обмежень.
THEN
OUT:=SW;
END_IF;
SUB:=OUT – OUT_PI; //Відрахування для обмеження інтегральної
складової за амплітудою.
IF (Kd<>0.0)
THEN
D_INTEGRATOR:=0.0; //Якщо не використовується, тоді обнуляємо.
END IF;
IF (Ki<>0.0) //Інтегратор інтегральної складової регулятора.
THEN
I_PART:=I_PART + (((Ki * ER) + SUB)* _dt);
ELSE
I_PART:=0.0; // Якщо не використовується, тоді обнуляємо.
END_IF;
END_FUNCTION_BLOCK
//Кінець програми.

```

Висновки. В даному розділі було розроблено програмне забезпечення САР процесу рівномірного намотування листа в рулони моталкою прокатного стану на базі програмування контролера SIMATIC S7-300 створена в програмному середовищі STEP7. Розроблений інтерфейс системи автоматизації для оператора та наведено частину коду управління контролером. Початкове введення вхідних даних до системи робить розроблене програмне забезпечення достатньо гнучким, і дає можливість швидко підлаштувати САР під умови виробництва, а також проводити будь-яку модифікацію і легше впроваджувати будь-які зміни в майбутньому. Розроблена панель оператора АСУ ТП дозволяє усунути ручне втручання при експлуатації.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1. Загальні заходи з охорони праці сталепрокатного цеху

При роботі з прокатним станом необхідно знати, що найбільш небезпечними чинниками, які можуть впливати на працівників під час роботи, є:

- підвищений рівень шуму на робочому місці;
- вібрація;
- рухомі елементи транспортних засобів і переміщувані ними вантажі,
- матеріали, особливо при розміщенні цих коштів в тунелях, галереях і в інших умовах обмеженого простору;
- обертові елементи приводних, натяжних, завантажувальних, розважувальних вузлів і ін.;
- ураження електричним струмом;
- підвищена запиленість і загазованість повітря робочої зони і виробничих приміщень;
- недостатня освітленість.

Шкідливі фактори суттєво впливають на роботу людину, і можуть стати небезпечними, в залежності від рівня і тривалості впливу. При проектуванні, виготовленні. Монтажі, випробуваннях, експлуатації, ремонту необхідно зробити все, що б уникнути ризиків в слушну експлуатації. Тому приймаються відповідні заходи до безпеки експлуатації прокатного стану.

З небезпечними і шкідливими факторами існують такі способи боротьби:

1. Для захисту від шуму застосовуються такі методи:

- зменшення шуму в джерелі його виникнення;
- раціональні спрямованості з джерела шуму;
- раціональні планування будівлі;
- індивідуальні засоби захисту від шуму: беруші, навушники.

2. Для захисту від вібрації використовуються наступні методи:

- зменшення вібрації у джерела його виникнення;
- застосування динамічних систем погашення вібрації;
- застосовуються спеціальні фундаменти для вібронезбезпечного обладнання;

3. Рухомі частини небезпечні травмами робочих пов'язаних з затягуванням спецодягу цими частинами, що рухаються. Тому робочим необхідно забезпечити справним спецодягом, і він повинен відповідати умовам роботи.

Для запобігання травм передбачені наступні заходи:

– для зниження ризику нещасного випадку обмежують доступність працівників до рухомих деталей механізмів, які захищають і закривають захисними кожухами і огорожами.

– огороження слід виготовляти з металевих листів, сітки та інших міцних матеріалів. Захисні огорожі табору повинні бути надійними, міцними, що відкриваються (на петлях, шарнірах) або знімними, виготовленими з окремих секцій. Для зручності обслуговування в огорожах повинні бути передбачені дверцята і кришки.

– у зоні можливого перебування людей повинні бути огорожені або захищені: приводні, натяжні і відхиляють барабани, ремінні та інші передачі, муфти і тому подібні, а також опорні ролики і ролики нижньої гілки стану.

– застосування пристрою для зупинки прокатного стану з будь-якого місця уздовж з боку проходу з використанням сигнального троса, натягнутого уздовж прокатного стану.

4. В якості загальних заходів щодо зниження небезпеки ураження електричним струмом може служити раціональний вибір режиму нейтралі трансформатора, обмеження величини напруги в мережі, застосування індивідуальну засобів захисту. Можливість ураження електричним током небезпечні опіками, судомами і летальним результатом.

5. Для запобігання ураження електричним струмом передбачені наступні заходи безпеки:

- усувають небезпеку дотику до струмоведучих частин шляхом монтажу їх на достатній висоті;
- передбачається блокування електрообладнання, перешкоджає від закривання кришки при наявності напруги на неізольованих деталях, які стають доступні після зняття кришки;
- використовують кабелі замість оголених проводів;

6. Для захисту від небезпеки дотику до струмоведучих частин, які знаходяться під напругою, застосовують такі заходи:

- встановлюють захисне заземлення;
- застосовують захисне відключення;
- забезпечують не струмоведучих частин електрообладнання ізоляційним покриттям;

У пульта управління повинні знаходитися гумові рукавички.

Стан електроустаткування, ізоляції, заземлюючих пристроїв, захисту від витоку струмів, необхідно регулярно перевіряти.

Забороняється застосовувати мережі з глухо заземленою нейтраллю трансформаторів, за винятком трансформаторів, призначених для питання перетворювальних пристроїв контактних мереж електровозної відкатки.

Підключення інших споживачів і пристроїв до таких трансформаторів та харчування від таких мереж, крім випадків, передбачених правилами, забороняється.

«Вузлові точки» клітей і місця скупчення просипів повинні мати освітленість не менше 20 люкс. Місцеве освітлення повинно бути низьковольтною до 36 В. В необхідності користуватися переносною лампою.

7. Одним з широко поширених несприятливих факторів, що роблять негативний вплив на здоров'я працівників, є виробничий пил. Цілий ряд технологічних процесів супроводжується утворенням дрібно роздробленого

частинок твердої речовини (пил), які потрапляють в повітря виробничих приміщень і більш-менш тривалий час знаходяться в ньому в підвішеному стані.

Для захисту працівників від пилу, їм безкоштовно видаються протипожежні-ліві респіратори, захисні окуляри, спеціальна Протипилова одяг. Засоби захисту органів дихання вибирають в залежності від виду шкідливих речовин, їх концентрації. Органи дихання захищають фільтруючими і ізолюючими приладами, наприклад, респіратором типу «Пелюстка».

При контакті з порошкоподібними матеріалами, несприятливо впливають на шкіру, використовують захисні пасти і мазі. Для захисту очей застосовують закриті або відкриті окуляри. Окуляри закритого типу з міцними безосколковим стеками використовують при механічній обробці металів.

У процесах, що супроводжуються утворенням дрібних і твердих часток і пилу, бризок металу, рекомендують окуляри закритого типу з боковинами або маски з екраном.

З спецодягу застосовуються пилозахисні комбінезони (жіночий та чоловічий) з шоломами для виконання робіт, пов'язаних з великим утворенням нетоксичного пилу, костюми (жіночий та чоловічий) з шоломами, а також скафандр автономний для захисту від пилу, газів і низької температури.

Для захисту від пожеж і накопичення зарядів статичної електрики, візки, футеровка барабанів і роликів, елементи очисних пристроїв, борти в навантажувальних і перевантажувальних пунктів і ін. Повинні бути виготовлені з негорючих, важко горючих або негорючих матеріалів з поверхневим електричним опором, не перевищує $8 \cdot 10^3$ Ом.

6.2 Організація пожежної безпеки

Для локалізації і гасіння пожеж на приводі прокатних станів повинні бути встановлені автоматичні установки водяного пожежогасіння. Апаратура й устаткування, що входить до складу установки, повинні відповідати чинним

стандартам, технічним умовам, документації її виробників.

Розміщення і кількість протипожежних пристроїв, водойм, засобів пожежогасіння і інструментів, прокладка і параметри пожежно-зрошувального водопроводу, а також вимоги до вогнестійкості визначаються спеціальними інструкціями щодо протипожежного захисту підприємств.

Стосовно до діючого стану ці вимоги конкретизуються в проекті протипожежного захисту, погодженому з ДВГРС та затвердженому в установленому порядку.

У кожній приводній голівці прокатного стану розміщуються стаціонарні автоматичні установки водяного пожежогасіння, а на вентиляційних ділянках, обладнаних гідрофіцірування виїмковими комплексами – переносні установки.

6.3 Охорона праці оператора АСУ ТП

На основі аналізу роботи існуючого обладнання і посадових обов'язків оператора АСУТП у приміщенні обладнаному ПК з ВДТ сформовані заходи по забезпеченню безпеки праці.

Приміщення, у якому здійснюються заходи пов'язані з виконанням посадових обов'язків та проведенням досліджень та розрахунків (розробкою, модернізацією, удосконаленням, тощо), є спеціалізованим, яке обладнане ПК з ВДТ.

Для запобігання ураження електричним струмом встановлено електроустаткування, яке відповідає вимогам ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні стандартні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин», «Правил улаштування електроустановок» (далі – «ПУЕ»), ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом», НПАОП 40.1-1.32-01 «Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок», НАПБ А.01.001-2014 «Правила пожежної безпеки в Україні» та буде використовуватися згідно вимог

НПАОП 40.1-1.01-97 «Правила безпечної експлуатації електроустановок» (далі – «ПБЕЕ»), НПАОП 40.1-1.21-98 «Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів» (далі – «ПБЕЕС») та НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Згідно «ПУЕ», за ступенем небезпеки ураження електрострумом, робоче місце оператора АСУТП приміщення належить до 1-го класу, тобто є приміщенням без підвищеної небезпеки, у якому відсутні умови, що створюють підвищену та особливу небезпеку.

Згідно глави 1.7 – «Заземлення і захисні заходи від ураження електричним струмом» – «ПУЕ», обладнання має основну ізоляцію струмовідних частин, яка забезпечує захист від прямого дотику та подвійну, яка складається з основної та додаткової ізоляції, для забезпечення захисту від ураження електричним струмом у разі пошкодження основної ізоляції.

Відповідно до вимог п. 6.7.4. НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» усі доступні для доторкання металеві деталі електрообладнання у приміщенні з ПК, які можуть опинитись під напругою, у випадку пошкодження ізоляції, з'єднані з заземлюючим пристроєм.

Оскільки робоче місце оператора АСУТП за ступенем небезпеки ураження електрострумом належить до 1-го класу, тому відповідно до вимог п. 6.7.6 НПАОП 40.1-1.21-98 «ПБЕЕС» та додатку №1 до НПАОП 40.1-1.01-97 «ПБЕЕ» користувачі ПК пройшли інструктаж з електробезпеки з оформленням в журналі інструктажу та мають I групу з електробезпеки.

Ймовірність механічного травмування може виникнути внаслідок нераціонального розташування робочих місць, захаращення робочих місць або у зв'язку з недбалістю та неухважністю обслуговуючого персоналу. Для виключення травматизму згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» зроблено більш зручне та раціональне розташування робочих місць, таким чином збільшена відстань між ними, яка відповідає

нормованим значення (площа на одне робоче місце має становити не менше ніж $6,0 \text{ м}^2$, а об'єм не менше ніж $20,0 \text{ м}^3$). Поверхня підлоги є рівною, неслизькою, з антистатичними властивостями.

У зв'язку із стресовими ситуаціями та нервово-емоційними навантаженнями у працівників може виникнути ймовірність захворювань загально-невротичного характеру.

З метою зниження нервово-емоційного напруження, стомлення зорового аналізатора, поліпшення мозкового кровообігу, подолання несприятливих наслідків гіподинамії, запобігання втоми, згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» для робітників із застосування ЕОМ, передбачені регламентовані перерви для відпочинку тривалістю 15 хвилин через кожні дві години, а також обладнані побутові приміщення для відпочинку під час роботи, кімната психологічного розвантаження. В кімнаті психологічного розвантаження передбачені пристрої для приготування й роздачі тонізуючих напоїв, а також місця для занять фізичною культурою

Для оптимізації відносин у колективі проводяться тренінги з залучанням психологів на теми: «Адаптація у новому колективі», «Поведінка в суспільстві».

Для запобігання кістково-м'язових порушень робочі місця користувачів ПК оператора АСУТП відповідають ергономічним вимогам з урахуванням характеру і особливостей трудової діяльності згідно з ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин».

Висота робочої поверхні столу з ПК регулюється в межах 680-800 мм, а ширина і глибина – забезпечує можливість виконання операцій у зоні досяжності моторного поля (рекомендовані розміри: ширина – 600-1400 мм, глибина – 800-1000 мм). Робочий стіл має простір для ніг висотою 600 мм,

шириною – 500 мм, глибиною (на рівні колін) – 450 мм, на відстані витягнутої ноги – 650 мм.

Заходи з виробничої санітарії і гігієни праці для робочого місця оператора, обладнаного ПК з ВДТ розроблені відповідно до вимог Державних санітарних норм та правил «Гігієнічна класифікація праці за показниками шкідливості та небезпечності факторів виробничого середовища, важкості та напруженості трудового процесу», ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» і НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями».

Основними причинами недостатньої або надмірної освітленості робочих місць є несправність або хибний вибір освітлювальних приладів, неправильне розташування робочих місць по відношенню до джерел освітлення.

Незадовільна освітленість на робочому місці або на робочій зоні може бути причиною зниження продуктивності та якості праці, отримання травм. Недостатнє або надмірне освітлення викликає зоровий дискомфорт, що виражається у відчутті незручності або напруженості. Тривале перебування в умовах зорового дискомфорту призводить до розсіювання уваги, зменшення зосередженості, зоровій і загальній втомі.

Робоче місце оператора АСУТП обладнаному ПК з екранним пристроєм (далі – «ЕП»), згідно ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» та ДБН В.2.5-28-2018 «Природне і штучне освітлення» передбачене природне та штучне освітлення.

Природне освітлення здійснено через світлові прорізи, які орієнтовані на південь і забезпечують коефіцієнт природної освітленості (КПО) не нижче 1,5%. Для захисту від прямих сонячних променів, які створюють прямі та відбиті відблиски на поверхні екранів і клавіатури, передбачено сонцезахисні пристрої, на вікнах встановлені жалюзі.

Метеорологічні умови для приміщенні з комп'ютеризованими робочими місцями – температура, відносна вологість та швидкість переміщення повітря цілком відповідають вимогам ДСН 3.3.6.042-99 «Державні санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень». Роботи у приміщенні з ПК, належать до категорії Іб – легка робота, тому передбачені наступні оптимальні значення параметрів мікроклімату:

– у холодний період року: температура 21 – 23°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,1 м/с;

– у теплий період року: температура 22 – 24°C; відносна вологість: 40-60%; швидкість переміщення повітря: 0,2 м/с.

6.4 Вимоги до персоналу АСУ ТП

Для безпеки будь якого промислового підприємства, і сталепрокатного у тому числі, дуже важливо визначити та впровадити політику та процедури для забезпечення того, щоб всім користувачам інформаційної системи надавалися навчальні матеріали до надання дозволу на доступ до системи. Підготовку персоналу слід контролювати і документувати. Для середовища АСУ ТП, це повинно включати в себе інформаційну безпеку, специфічну інформаційну безпеку системи та вивчення особливих для системи вимог. Окрім того, організація повинна ідентифікувати, документувати та навчати весь персонал, який має значні ролі та відповідальність у АСУ ТП. Поінформованість та навчання повинні охоплювати фізичний процес, що контролюється.

Усвідомлення безпеки є важливою частиною попередження інцидентів в АСУ ТП, особливо коли йдеться про загрози соціальної інженерії. Соціальна інженерія – це метод, який використовується для маніпулювання індивідуумами в наданні приватної інформації, наприклад, паролів. Ця інформація може бути використана для того, щоб скомпрометувати інші системи безпеки. Реалізація програми безпеки АСУ ТП може змінити спосіб

доступу персоналу до комп'ютерних програм, додатків і самого робочого столу комп'ютера.

Організації повинні розробити ефективні навчальні програми та засоби комунікації, щоб допомогти співробітникам зрозуміти, чому потрібні нові методи доступу та контролю, ідеї, які вони можуть використовувати для зниження ризиків, та вплив на організацію, якщо методи контролю не включені. Програми навчання також демонструють прагнення керівництва до програми кібербезпеки та її цінність. Зворотній зв'язок від персоналу, що піддається такому типу навчання, може бути цінним джерелом інформації для уточнення статуту та обсягу програми безпеки.

Висновки. В даному розділі подані рекомендації що до охорони праці праціві сталепрокатного цеху і оператора АСУ ТП, що відповідають законодавству України.

7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ

7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації

Автоматизовані системи управління належать до класу людино-машинних систем. В автоматизованих системах управління, призначених для управління не лише технікою, а й людьми, чисто автоматичне управління принципово неможливе. Людина тут відіграє керівну роль при визначенні цілей управління і критеріїв його якості, остаточному виборі багатьох управлінських рішень у процесі розв'язання не повністю формалізованих задач управління, особливо таких, які вимагають творчого підходу.

Організаційне забезпечення – сукупність методів і засобів, що регламентують взаємодію працівників з технічними засобами і між собою в процесі розробки і експлуатації інформаційної системи.

Організаційне забезпечення реалізує наступні функції:

- аналіз існуючої системи управління організацією, де буде використовуватися ІС, та виявлення задач, що підлягають автоматизації;
- підготовку завдань до вирішення на комп'ютері, включаючи технічне завдання на проектування ІС та техніко-економічне обґрунтування її ефективності;
- розробку управлінських рішень по складу та структурі організації, методології рішення задач, спрямованих на підвищення ефективності системи управління.

Організаційне забезпечення створюється за результатами перед проектного обстеження на першому етапі побудови баз даних.

Організаційне забезпечення автоматизованих систем управління – це комплекс документів, які регламентують діяльність персоналу автоматизованих систем управління в умовах функціонування. У процесі розв'язування задач управління даний вид забезпечення визначає взаємодії працівників

автоматизованих систем управління з технічними засобами та між собою. Це реалізується в різноманітних методичних і керівних документах за стадіями розробки, впровадження, функціонування і супроводження автоматизованих систем управління.

Нагромаджений досвід впровадження і використання автоматизованих систем довів порівняно високу ефективність багатьох із них, а саме прямий економічний ефект впровадження галузевих автоматизованих систем управління дав великий вплив на зміну характеру діяльності управлінського персоналу міністерств і відомств, підприємств та організацій. У результаті автоматизації процесів інформаційного обслуговування підвищилась інформованість управлінського персоналу.

7.2 Розрахунок техніко – економічних показників

7.2.1 Визначення капітальних вкладень

У зв'язку з розробкою і оптимізацію процесу рівномірного намотування листа в рулони моталкою прокатного стану, позначеною як САР, проводиться заміна застарілого устаткування на сучасний програмно-технічний комплекс, який має значно більш високі технічні і експлуатаційні можливості, та впровадження нової інформаційно-модулюючої системи управління технологічними режимами.

До складу САР входять 5 шаф управління (ШУ) на базі технічних засобів і ПЛК-управлінням, вартістю 75000 гривень за одиницю.

Сума капіталовкладень ($K_{об}$) на устаткування без урахування ПДВ включає вартість придбаного устаткування ($V_{уст}$) та витрати на транспортні ($V_{тр} = 6\%$) і заготівельно-складські ($V_{зс} = 5\%$) операції у визначених відсотках від $V_{уст}$.

$$K_{об} = V_{уст} + V_{тр} + V_{зс}, \quad (7.1)$$

де $V_{уст} = V_{ШУ}$

$$V_{ШУ} = 750000 \cdot 5 = 3750000, \text{ грн.};$$

$$K_{об} = 3750000 \cdot (1 + 0,06 + 0,05) = 4162500, \text{ грн.};$$

Додаткові капіталовкладення $K_{САР}$ на модернізацію САР складаються з таких витрат:

$$K_{САР} = K_{дм} + K_{об} + K_{м}, \quad (7.2)$$

де $K_{дм}$ – витрати на демонтаж існуючої апаратури ($K_{дм} = 0,05 \cdot K_{об}$, грн.);

$K_{м}$ – витрати на монтаж нового устаткування ($K_{м} = 0,4 \cdot K_{об}$, грн.).

$$K_{дм} = 0,05 \cdot 4162500 = 208125, \text{ грн.}$$

$$K_{м} = 0,4 \cdot 4162500 = 1665000, \text{ грн.}$$

$$K_{САР} = 208125 + 1665000 + 208125 = 582750, \text{ грн.}$$

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.1.

Таблиця 7.1 – Визначення капітальних вкладень

Визначення капітальних вкладень	
Витрати на монтаж нового устаткування $K_{м}$	1665000 грн.
Сума капіталовкладень $K_{об}$	4162500 грн.
Витрати на демонтаж існуючої апаратури $K_{дм}$	208125 грн.
Вартість придбаного устаткування $V_{уст}$	3750000 грн.
Додаткові капіталовкладення модернізацію САР $K_{САР}$	582750 грн.

7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Експлуатаційні витрати ($V_{САР}$), пов'язані з обслуговуванням нової САР складаються з річних витрат на:

– зарплату персоналу ($V_{зп}$);

- амортизацію нового обладнання (V_a);
- поточний ремонт нового обладнання (V_p);
- електричну енергію для живлення нового обладнання ($V_{ел}$);
- інші експлуатаційні витрати (V_i).

$$V_{CAP} = V_{зп} + V_a + V_p + V_{ел} + V_{ін}. \quad (7.3)$$

7.2.3 Річні витрати на ЗП

Річні витрати на ЗП обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$V_{зп} = n \cdot \text{ФОП}, \quad (7.4)$$

де n – чисельність обслуговуючого персоналу ($n = 25$ роб.);

ФОП – середньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори.

Розрахуємо середньорічний фонд оплати праці одного робітника з обов'язковими нарахуваннями на соціальні збори:

$$\text{ФОП} = \Phi_{зп} \cdot K_{ін}, \quad (7.5)$$

де $K_{ін} = 1,1$

$\Phi_{зп}$ – щорічна витрата на зарплату робітника з урахуванням нарахувань на ФОП, грн.

$$\Phi_{зп} = 12 \cdot ЗП \cdot H_{зп}, \quad (7.6)$$

де ЗП – середня місячна зарплата робітника ($ЗП = 6500$ грн.);

$H_{зп}$ – нарахування на ФОП складають 20%.

Тоді:

$$\Phi_{зп} = 12 \cdot 6500 \cdot (1+0,2) = 93600, \text{ грн.}$$

$$\text{ФОП} = 93600 \cdot 1,1 = 102960, \text{ грн.}$$

$$B_{зп} = 25 \cdot 102960 = 2574000, \text{ грн.}$$

7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

Амортизаційні відрахування (B_a) на реновацію придбаного устаткування на соціальні збори підприємства визначаються за виразом:

$$B_a = K_{CAP} \cdot H_A / 100, \quad (7.7)$$

де H_A – річна норма амортизації на реновацію ($H_A = 24\%$);

$$B_a = 582750 \cdot 24/100 = 139860, \text{ грн.}$$

7.2.5 Річні витрати на ремонт

Ці витрати обчислюють через коефіцієнт $K_p = 3\%$ від загальної суми капіталовкладень.

$$B_p = K_p \cdot K_{CAP}, \text{ грн.} \quad (7.8)$$

$$B_p = 0,03 \cdot 139860 = 4196, \text{ грн.}$$

7.2.6 Витрати електроенергії на живлення

Річні витрати на живлення САР визначаються так:

$$B_{ел} = P_{ел} \cdot T_{ф} \cdot K_з \cdot CB_{ел}^{од}, \text{ грн.} \quad (7.9)$$

де $P_{ел}$ – встановлена електрична потужність САР ($P_{ел} = 3,5$ кВт);

$T_{ф}$ – фактичний термін роботи САР за рік ($T_{ф} = 7800$ год.);

$K_з$ – коефіцієнт для врахування реального споживання ($K_з = 0,8$);

$CB_{\text{ел}}^{\text{од}}$ – собівартість виробленого 1кВт · год ($CB_{\text{ел}}^{\text{од}} = 90$ коп.)

$$V_{\text{ел}} = 3,5 \cdot 7800 \cdot 0,8 \cdot 0,90 = 19656 \text{ грн.}$$

7.2.7 Інші витрати

Інші витрати визначаються так:

$$V_{\text{ін}} = 0,25 \cdot (V_a + V_{\text{зп}} + V_p) \quad (7.10)$$

$$V_{\text{ін}} = 0,25 \cdot (139860 + 2574000 + 4196) = 679514 \text{ грн.}$$

Підставляючи отримані значення маємо загальну суму річних експлуатаційних витрат ($V_{\text{САР}}$, грн.):

$$V_{\text{САР}} = 2574000 + 139860 + 4196 + 19656 + 679514 = 3417226 \text{ грн.}$$

Данні по розрахунку зведені в таблиці 7.2.

Таблиця 7.2 – Розрахунок річних експлуатаційних витрат

Розрахунок річних експлуатаційних витрат	
Зарплата персонала $V_{\text{зп}}$	2574000 грн.
Амортизація нового обладнання V_a	139860 грн.
Поточний ремонт нового обладнання V_p	4196 грн.
Електричну енергію для живлення нового обладнання $V_{\text{ел}}$	19656 грн.
Інші експлуатаційні витрати $V_{\text{ін}}$	679514 грн.
Експлуатаційні витрати $V_{\text{САР}}$	3417226 грн.

7.2.8 Валова річна економія витрат

Валова річна економія витрат. Залежно від сутності інновації охоплює економію заробітної плати, економію матеріалів, економію умовно-постійних витрат.

а) економія заробітної плати – наявна за використання нового способу виконання робіт, який потребує менше часу, ніж старий:

$$E_{з.п.} = (p_1 - p_2) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot B_2, \quad (7.11)$$

де p_1 і p_2 – розцінки на операцію відповідно до і після впровадження інновації;

$Д$ і $Н$ – відповідно відсоток додаткової заробітної плати і нарахувань на заробітну плату;

B_2 – річний обсяг випуску продукції після впровадження інновації.

$$E_{з.п.} = (25 - 15) \cdot \left(1 + \frac{25}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{25}{100}\right) \cdot 375600 = 5868750 \text{ грн.}$$

б) економія витрат матеріалів – розраховується у разі застосування дешевшого замітника (зміна ціни матеріалу) або нового способу оброблення матеріалу, завдяки чому зменшуються його питомі витрати:

$$E_M = (H_1 \cdot Ц_1 - H_2 \cdot Ц_2) \cdot B_2, \quad (7.12)$$

де H_1 і H_2 – норми витрат матеріалів на одиницю продукції відповідно до і після впровадження інновації;

$Ц_1$ і $Ц_2$ – ціна одиниці матеріалу.

$$E_M = (3,75 \cdot 25 - 3,50 \cdot 25) \cdot 375600 = 2347500 \text{ грн.}$$

Тоді умовно-річна економія витрат дорівнює:

$$\Delta C = E_{з.п.} + E_M - B_{CAP}, \quad (7.17)$$

$$\Delta C = 5868750 + 2347500 - 3417226 = 4799024, \text{ грн.}$$

Перевищення прогнозованої економії над додатковими витратами свідчить про доцільність реалізації запропонованого інноваційного рішення.

7.2.8 Фактична економія витрат

Розраховується шляхом приведення умовно – річної економії до періоду використання інновації в даному році за формулою:

$$E_{\phi} = \frac{\Delta C \cdot n}{12} \quad (7.18),$$

де n – кількість місяців до кінця року з моменту впровадження інновації.

$$E_{\phi} = \frac{4799024 \cdot 6}{12} = 2399512 \text{ грн.}$$

7.8.9 Річний економічний ефект

Визначається приведенням капітальних витрат до поточних протягом умовного року за формулою:

$$E_{p.ек} = \Delta C - E_n \cdot K_{CAP}, \quad (7.19)$$

де K_{CAP} – додаткові капіталовкладення, пов'язані з реалізацією інновацій;

E_n – показник нормативної економічної ефективності, величина якого залежить від прийнятого для підприємства рівня віддачі від капіталовкладень (як правило, для устаткування достатнім є рівень 15%, тобто $E_n = 0,7$).

$$E_{p.ек} = 4799024 - 0,15 \cdot 582750 = 4711612 \text{ грн.}$$

Термін окупності (T_o) через суму капіталовкладень (K_{OB}) визначається:

$$T_o = K_{об} \cdot (1 + \alpha_a + \alpha_p + \alpha_{зсв}) / E_{р.ек}, \text{ років} \quad (7.20)$$

де α_a – додаткові нарахування на амортизацію ($\alpha_a = 0,14$);

α_p – додаткові нарахування на поточний ремонт ($\alpha_p = 0,01$);

$\alpha_{зсв}$ – доля загальностанційних витрат, визначена додатковими капіталовкладеннями ($\alpha_{зсв} = 0,20$).

$$T_o = 4162500 \cdot (1 + 0,14 + 0,01 + 0,20) / 4711612 = 1,2 \text{ років.}$$

Висновки. В результаті проведеного розрахунку економічних показників були визначені капітальні витрати на будівництво, щорічні витрати, чистий приведений прибуток, внутрішня норма прибутку, індекс доходності, термін окупності проекту, рентабельність і так далі.

Термін окупності проекту 1,2 року, що свідчить про його ліквідність, тобто можливості повернути витрачені спочатку засоби на реалізацію проекту за можливо менший термін.

ВИСНОВКИ

На сьогоднішній день у сталепрокатній промисловості України і світу в цілому спостерігається спад загального обсягу виробництва сортового металопрокату існує тенденція збільшення попиту сортового прокату, що поставляється в рулонах. До сортового прокату, що поставляється в рулонах, пред'являються як вимоги по точності геометричних розмірів поперечного перетину прокату, так і ряд специфічних вимог до рулону прокату, обумовлених умовами його транспортування до споживача і технологією його подальшої переробки. Сучасні лінії змотування сортового прокату забезпечують високу якість рулонів, однак вартість їх настільки велика, що реконструкція ділянки змотування прокату на існуючих станах з установкою сучасних ліній економічно недоцільна. Для збільшення обсягу виробництва сортового прокату в рулонах і підвищення експортного потенціалу стану ПАТ «Запоріжсталь» необхідно підвищити якість мотків в умовах їхнього виробництва на існуючій лінії змотування листового прокату.

Технології нескінченної прокатки дозволяють широко застосовувати комплексну механізацію і автоматизацію виробництва. Тому оптимізація процесу рівномірного намотування листа в рулони високошвидкісними моталками і модернізація існуючих АСУТП намотування є актуальною та перспективною темою.

В даній випускній кваліфікаційній роботі магістра розроблена математична модель об'єкта управління рівномірним намотуванням листа в рулони моталкою прокатного стану. Для усунення недоліку існуючої схеми регулювання натягу сталепрокатного цеху, коли увесь діапазон швидкості електропривода забезпечується за рахунок зниження потоку, була обрана двохзонна система регулювання натягу. Двохзонна система регулювання надає можливість регулювання швидкості, як за рахунок регулювання потоку, так і за рахунок регулювання струму якоря двигуна. Перша зона регулювання дає діапазон зміни кутової швидкості двигуна від максимальної до номінальної.

Друга зона зміни кутової швидкості двигуна від номінальної до кінцевої (рулон з максимальним радіусом).

За допомогою пакета MATLAB в пакеті Simulink було проведено моделювання САУ із корекцією сигналу регулятора ЕРС. Проаналізуємо скориговану систему без негативного зворотного зв'язку. За даними перехідної характеристики, перерегулювання в системі при $T_n = 0,144$, перерегулювання в скоригованій системі менше вихідних даних, яке задовольняє початковому параметру. Час перехідного процесу $T_{\text{пп}} = 0,422$, що задовольняє початкову умову. Час наростання перехідного процесу $T_n = 0,0503$ с.

Аналіз отриманих параметрів САУ показує, що система повністю задовольняє умовам забезпечення заданих вимог якості.

Електропривод моталки повинен забезпечувати намотування смуги з постійним заданим натягом і при постійній швидкості смуги є електроприводом постійної потужності. Система мікропроцесорного управління реалізована для електроприводу моталки агрегату поздовжнього різання. САУ електроприводу моталки побудована на базі програмованої мікропроцесорної системи управління тиристорного перетворювача постійного струму (ТП) серії SIMOREG 6RA70 фірми SIEMENS з використанням програмованого контролера загальної системи керування агрегату (ПК) серії SIMATIC S7-300.

Також було розроблено програмне забезпечення САУ в програмному середовищі STEP7. Початкове введення вхідних даних до системи робить розроблене програмне забезпечення достатньо гнучким, і дає можливість швидко підлаштувати САУ під умови виробництва, а також проводити будь-яку модифікацію і легше впроваджувати будь-які зміни в майбутньому. Панель оператора АСУ ТП дозволяє усунути ручне втручання при експлуатації.

Також подані рекомендації що до охорони праці, що відповідають законодавству України. А також проведено техніко-економічні розрахунки. Термін окупності проекту 1,2 року, що свідчить про його ліквідність, тобто можливості повернути витрачені спочатку засоби на реалізацію проекту за можливо менший термін.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Конституція України: Закон України від 26.06.1996 р. № 254к/96-ВР
Редакція від: 01.01.2020. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#>.
2. Закон України «Про охорону праці» : Закон України № 2694-ХІІ від 14.10.1992 р. Редакція від 19.08.2022. Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/Laws/main/2694-12>.
3. ГОСТ 12.0.003-74* Система стандартів безпеки труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Введ. 1976-01-01]. М. : Госстандарт ССРСР, 1974. 4 с.
4. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. К. : Знання, 2014. 373 с.
5. ДСанПіН 3.3.2.007-98. Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин. [Чинний від 1998-12-10]. К. : МОЗ України, 1998. URL: <http://mozdocs.kiev.ua/view.php?id=2445>.
6. 90/270/ЄЕС. Про мінімальні вимоги безпеки та здоров'я при роботі з екранними пристроями. [Чинний від 1990-05-29]. Брюссель. : Рада Європейських співтовариств, 1990. 14 с. Режим доступу: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/>.
7. ПУЕ-2021. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86; чинний з 2021-01-01]. К. : Міненерговугілля України, 2021. 617 с. (Правила)
8. ДСТУ Б В.2.5-82:2016. Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом. [На заміну ДБН В.2.5-27-2006 ; чинний від 2017-04-01]. К. : ДП «УкрНДНЦ», 2016. 109 с.
9. НПАОП 40.1-1.32-01. Правила будови електроустановок. Електрообладнання спеціальних установок. [На заміну глав 5.4 5.5 7.1 7.2 7.3 7.4 7.6 Правил устроювання електроустановок, затв. Міненерго СРСР 06.07.1984 р. ; чинний від 2002-01-01]. К. : Мінпраці України, 2001. URL:

<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01/card2#Card>.

10. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30]. К. : МВС України, 2014. 91 с.

11. НПАОП 40.1-1.01-97. Правила безпечної експлуатації електроустановок. [На заміну НАОП 1.1.10-1.01-85 ; чинний з 1997-10-06]. К. : Держнаглядохоронпраці, 1997. 97 с.

12. НПАОП 40.1-1.21-98. Правила безпечної експлуатації електроустановок споживачів. [На заміну ДНАОП 0.00.1.21-84 ; чинний з 1998-01-09]. К. : Мінпраці України, 1998. 89 с.

13. НПАОП 0.00-7.15-18. Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроям. [На заміну НПАОП 0.00-1.28-10 ; чинний від 2018-05-18]. К. : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18>.

14. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. К. : Мінрегіон України, 2018. 133 с.

15. ДСН 3.3.6.042-99. Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень. [Чинний від 1999-12-01]. К. : МОЗ України, 1999. 106 с. URL: <http://zakon2.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99>.

16. ДБН В.2.5-67:2013. Опалення, вентиляція та кондиціонування. [На заміну СНиП 2.04.05-91 ; крім розділу 5 та додатка 22. ; чинний від 2014-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2013. 149 с.

17. ДСТУ EN 2:2014. Класифікація пожеж (EN 2:1992; EN 2:1992/A1:2004, IDT). [На заміну ГОСТ 27331-87; чинний з 01.01.2016]. К. : Мінекономрозвитку України, 2014. 7 с.

18. ДСТУ Б В.1.1-36:2016. Визначення категорій приміщень, будинків та зовнішніх установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою. [На заміну НАПБ Б.03.002-2007 ; чинний від 2017-01-01]. К. : Мінрегіонбуд України, 2016. 66 с.

19. ДБН В.1.1-7:2016. Пожежна безпека об'єктів будівництва. Загальні вимоги. [На заміну ДБН В.1.1.7-2002 ; чинний від 2017-06-01]. К. : Мінрегіон

України, 2017. 47 с.

20. ДБН В.2.5-56:2014. Системи протипожежного захисту. [На заміну ДБН В.2.5-56:2010 ; СНиП 2.04.05-91 (розділи 5 та 22) ; чинний від 2015-07-01]. К. : Мінрегіон України, 2014. 191 с.

21. Правила експлуатації та типових норм належності вогнегасників. [На заміну НАПБ Б.03.001-2004 ; чинний від 2018-02-23]. К. : МВС України, 2018. 23 с.

22. Авраменко В. С., Авраменко А. С. Проектування інформаційних систем : навч. посібник. Черкаси : ЧНУ ім. Б. Хмельницького, 2017. 434 с.

23. Автоматизированные системы управления технологическими процессами: справочник/ Под ред. Тимофеева Б.Б. Киев: Техника, 1983. 351 с.

24. Вимоги до ергономіки та технічної естетики. URL: <http://wikipage.com.ua/1x400f.html> (дата звернення: 13.11.2022).

25. Вимоги до системи. URL: <https://mydocx.ru/2-120435.html> (дата звернення: 13.11.2022).

26. Бондаренко С.Н., Креславский А.И., Некрасова Л.В. Система микропроцессорного управления электропривода моталки агрегата обработки полосы. АОЗТ «Тяжпромавтоматика», Харьков, 2019. – 221 с.

27. Збірник наукових праць студентів, аспірантів і молодих вчених «Молода наука – 2020» : у 5 т. / Запорізький національний університет. – Запоріжжя : ЗНУ, 2020. – Т.5. 280 с.

28. Конспект лекцій з дисципліни «Конструкції технологічних агрегатів в процесах ОМТ. Частина 4. Обладнання прокатних та волочильних цехів» для здобувачів вищої освіти першого (бакалаврського) рівня спеціальності 136 – Металургія за освітньо-професійною програмою «Металургія» / Укладач В. М. Самохвал – Кам'янське, ДДТУ, 2019. 91 с.

29. Кустов К.І., Шершевер М.А. Автоматичне регулювання і регулятори.– М.: Металургія, 2007. 180 с.

30. Куваєв В.М., Розробка електрогідропривода укладальника моталки для процесу змотування сортового прокату / Куваєв В.М., Д.О. Бешта // Гірнична

електромеханіка та автоматика – 2016. – №97. 56 с.

31. Куваєв В.М., Динамічна модель взаємодії механізмів ділянки кліть-моталка при змотуванні сортового прокату моталкою типу Гаррета / Куваєв В.М., Бешта Д.О. // *Науковий вісник НГУ: Науково-технічний журнал*. Дніпро – 2017 – № 4. 160 с.

32. Куваєв В.М., Аналітичні дослідження механізму зриву витків у процесі намотування прокату на барабан моталки / Куваєв В.М., Д.О. Бешта // *Теория и практика металлургии* – 2017. – №3-4. 111 с.

33. Кухарь, В.В., Присяжный, А.Г., Балалаева, Е.Ю., Тузенко, О.А., Курпе, А.Г., Анищенко, А.С., Кармазина, И.В. Управление тепловым состоянием тонколистового проката для повышения равномерности распределения механических свойств, ПГТУ, Мариуполь. – 2018. 144 с.

34. Курпе О.В. Развитие научных основ термомеханической прокатки плоской металлопродукции с получением повышенного уровня механических свойств, ПГТУ, Мариуполь. – 2020. 534 с.

35. Манько О. О. Методичні вказівки та завдання до виконання контрольної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології» для студентів заочної форми навчання. Рівне, 2012. 40 с.

36. Манько О. О., Кутя В. М. Методичні вказівки до виконання розрахунково – графічної роботи з дисципліни «Основи проектування систем автоматизації» для студентів, які навчаються за напрямом підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології». Рівне, 2010. 31 с.

37. Методичні вказівки до виконання курсового проекту «Розрахунок ректифікаційної установки періодичної дії. Проектування насадкової колони.» з курсу «Процеси та апарати хімічних виробництв» для студентів III–IV курсів; уклад. В. М. Задорожній, В. І. Зражевський, С. О. Опарін. Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2010. 38 с.

38. Методичні вказівки з розрахунку насадкової ректифікаційної колони періодичної дії з курсу «Основні процеси та апарати хімічної технології» для

студентів IV–V курсів усіх спеціальностей і форм навчання ; уклад. П. Г. Сорока, В. В. Івашкевич, В. І. Зражевський. Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2000. 25 с.

39. Методичні вказівки до виконання курсового проекту на тему «Розрахунок ректифікаційної установки безперервної дії» проектування насадкової колони з курсу «Основні процеси та апарати хімічної технології» для студентів IV – V курсів усіх спеціальностей і форм навчання ; уклад. Т. П. Єльцова, Т. В. Гриднєва, П. В. Рябік. Дніпропетровськ : ДВНЗ УДХТУ, 2012. 46 с.

40. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: метод. вказівки до вик. курс. проекту для студ. спец. 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» ден. та заоч. форм навчання ; уклад. К. С. Архангельська, О. Й. Рішан. Київ : НУХТ, 2005. 223 с.

41. Мікропроцесорні та програмні засоби автоматизації: методичні вказівки до курсового проекту для студентів спеціальності 151 «Автоматизація так комп'ютерно-інтегровані технології» / ред. А. М. Ніколаєнко. Запоріжжя : ЗДІА, 2016. 34 с.

42. Мочалін В.Н., Кочнев Н.В. Моделювання та дослідження систем автоматичних управління з використанням ПЕОМ: Учеб. посібник. – Череповець: ЧГП, 2005. 178 с.

43. Основи охорони праці: Підручник. 2-ге видання, доповнене та перероблене. / К.Н. Ткачук, М.О. Халімовський, В.В. Зацарний, Д.В. Зеркалов, Р.В. Сабарно, О.І. Полукаров, В.С. Коз'яков, Л.О. Мітюк. За ред. К.Н. Ткачука і М.О. Халімовського. – К.: Основа, 2006. 448 с.

44. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР: Метод. вказівки до практичних занять для студ. напряму 0925 «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. форм навч./ Уклад.: В.Г. Трегуб. – К.:НУХТ, 2008. 67 с.

45. Проектування систем керування : конспект лекцій для студентів спеціальності «Автоматизоване управління технологічними процесами»; уклад. М. З. Кваско, Я. Ю. Жураковський, А. І. Жученко, В. В. Миленський, Київ : НТУУ «КПІ», 2015. 279 с.

46. Промислові мікропроцесорні мережі. URL: <http://um.co.ua/8/8-11/8-110801.html> (дата звернення: 15.11.2022).

47. Рішан О. Й. Метрологія, технологічні вимірювання та прилади: Курс лекцій для студентів спеціальностей: 7.092501 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 7.092502 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» ден. та заочн. форм. навчан. Київ : НУХТ, 2007. 162 с.

48. Сідлецький В. М., Трегуб В. Г. Проектування систем автоматизації : методичні рекомендації до виконання курсового проекту для студентів напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно – інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. Київ, 2013. 46 с.

49. Трегуб В. Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації: Навч. посібник – К.: НМК ВО, 2015. 80 с.

50. Тимофеев Б. Б. Автоматизированные системы управления технологическими процессами. *Справочник*/ ред. Б. Б. Тимофеева. Киев : Техника, 1983. С. 87 – 88.

51. Kuzmenko M. Active control system of mill products tension at the outlet of roughing train in continuous light-section mill / M. Kuzmenko, M. Rybalchenko, O. Boyko, D. Beshta // *Naukovyi Visnyk NHU* – 2018 – № 5. – 167 p.