

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

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка»

(код та назва)

Спеціалізація _____

(код та назва)

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 2024 року

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ

Панченко Євген Валерійович

(прізвище, ім'я, по батьков)

1. Тема роботи (проекту) Розробка системи управління узгодженою роботою суміжних дільниць обтискного цеху в умовах металургійного виробництва
керівник роботи Пазюк Юрій Михайлович, доктор техн. наук, професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «01» 05 2023 року № 639-с

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: технічна документація, технологічні інструкції, дані, отримані під час проходження виробничої практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) Опис об'єкта автоматизації, моделювання САУ, розрахунок параметрів регулятора і дослідження САУ

технічна розробка САУ, розробка програмного забезпечення системи праці, техніко-економічне обґрунтування проекту

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

креслень) схеми налаштування системи, функціональна схема

регулятора системи, зображення системи регулювання

системи із координатною системою регуляторів, ІРС, координатна система

для дослідження характеристик

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
1	Пазюк М.Ю., д.т.н., професор		
2	Пазюк М.Ю. д.т.н., професор		
3	Пазюк М.Ю. д.т.н., професор		
4	Пазюк М.Ю. д.т.н., професор		
5	Пазюк М.Ю. д.т.н., професор		
6	Пазюк М.Ю. д.т.н., професор		
7	Пазюк М.Ю. д.т.н., професор		

1. Дата видачі завдання 01.09.2023

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Визначення особливостей технологічного процесу	21.09.23	
2	Розробка технічного завдання	26.10.23	
3	Математичне моделювання САР	14.11.23	
4	Розробка схема автоматизованої системи регулювання	27.11.23	
5	Розробка програмного забезпечення	4.12.23	
6	Визначення і опис небезпечних і шкідливих факторів на виробництві	19.12.23	
7	Розрахунок техніко-економічних показників проекту	10.01.24	
8	Розробка презентації роботи, проходження нормконтролю	15.01.24	
9	Підготовка доповіді	7.02.24	

Студент

(підпис)

Панченко Є.В.

(ініціали та прізвище)

Керівник роботи (проекту)

(підпис)

Пазюк М.Ю.

(ініціали та прізвище)

Нормоконтроль пройдено

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

Кафедра електричної інженерії та кіберфізичних систем

Рівень вищої освіти другий (магістерський)

Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
 робототехніка»

Спеціалізація _____ (код та назва)

(код та назва)

Освітня програма Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 2024 року

З А В Д А Н Н Я
 НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ (ПРОЄКТ) СТУДЕНТОВІ

Панченко Євген Валерійович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи (проекту) Розробка системи управління узгодженою роботою
 суміжних дільниць обтискного цеху в умовах металургійного виробництва
 керівник роботи Пазюк Юрій Михайлович, доктор техн. наук, професор

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом ЗНУ від «01» 05 2023 року № 639-с

2. Строк подання студентом роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: технічна документація, технологічні інструкції, дані,
 отримані під час проходження виробничої практики

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно

розробити) Опис об'єкта автоматизації, моделювання
 САУ, розрахунок параметрів регулятора і загальне САР
 технічна розробка САР, розробка програмного забезпечення
 охорона праці, техніко-економічне обґрунтування проекту

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

креслень) схеми номограмми еври, блок-схема системи

регулювання потужності, блок-схема системи регулювання

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ.....	6
ВСТУП	7
1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ.....	12
1.1 Принцип роботи прокатного стану	12
1.2 Принцип роботи моталки прокатного стану	14
1.3 Проблема підвищення якості сталепрокатної продукції	18
1.4 Постановка задачі.....	20
2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ	22
2.1 Розробка математичної моделі об'єкта управління	22
3 РОЗРАХУНОК ПАРАМЕТРІВ РЕГУЛЯТОРА І ДОСЛІДЖЕННЯ САР	44
4 ТЕХНІЧНА РОЗРОБКА САР.....	50
4.1 Розробка структурної схеми САР.....	50
4.2 Тиристорний перетворювач постійного струму	53
4.3 Програмований контролер	55
5 РОЗРОБКА ПРОГРАМНОГО ЗАБЕСПЕЧЕННЯ	59
6 ОХОРОНА ПРАЦІ	68
6.1. Загальні заходи з охорони праці сталепрокатного цеху	68
6.2 Організація пожежної безпеки.....	72
6.3 Охорона праці оператора АСУ ТП.....	73
7 ТЕХНІКО–ЕКОНОМІЧНЕ ОБГРУНТУВАННЯ ПРОЕКТУ	79
7.1 Організаційне забезпечення системи автоматизації	79
7.2 Розрахунок техніко – економічних показників.....	80
7.2.1 Визначення капітальних вкладень	80
7.2.2 Розрахунок річних експлуатаційних витрат.....	81
7.2.3 Річні витрати на ЗП.....	82
7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань.....	83

7.2.5 Річні витрати на ремонт.....	83
7.2.6 Витрати електроенергії на живлення.....	83
7.2.7 Інші витрати.....	83
7.2.8 Валова річна економія витрат.....	85
7.2.8 Фактична економія витрат.....	86
7.8.9 Річний економічний ефект.....	86
ВИСНОВКИ.....	88
ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА.....	89

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 становить критичну складову економіки України, є основою для функціонування сучасної держави та її розвитку. Цех змотування металопрокату є суміжною дільницею обтискного цеху в металургійному виробництві. 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. На сьогоднішній день у сталепрокатній галузі України та світу загальний обсяг виробництва сортового металопрокату зменшується, але попит на сортовий прокат, поставлений в рулонах, зростає. Вимоги до якості цього прокату стосуються як точності геометричних розмірів, так і специфічних характеристик рулонів, обумовлених умовами транспортування та подальшої обробки.

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. Модернізація ліній змотування, які забезпечують високу якість рулонів, є дорогим заходом, тому необхідно шукати шляхи оптимізації процесу виробництва на існуючих лініях. Технології нескінченної прокатки відкривають можливості для комплексної механізації та автоматизації виробництва, що робить модернізацію систем автоматизації намотування актуальною і перспективною задачею.

Якість виробів металургійної галузі визначається ефективністю працюючих елементів прокатного обладнання. Для перевірки довгомірного прокату, такого як круглий прокат або арматура, у вигляді стрижнів в мотки, а також для змотування гарячекатаної протруєної смуги у рулони в кінці

безперервних травильних агрегатів використовуються моталки. Ці машини є ключовими елементами безперервних ліній та прокатних станів, оскільки від їх роботи залежить успішна експлуатація всього обладнання та якість випущеної продукції. 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 вирішити 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 системи синхронізації швидкості і рівномірності намотування листа в рулони моталкою прокатного стану в умовах металургійного виробництва.

Об'єктом дослідження є моталка прокатного стану.

Предметом дослідження є технологічний процес керування намотуванням листа в рулони за допомогою моталки на прокатному стані.

Відповідно до мети дослідження, в роботі сформульовано наступні завдання:

- надати коротку характеристику об'єкта управління;
- провести огляд і аналіз існуючих рішень з управління процесом намотування листа в рулони за допомогою моталки прокатного стану;
- проаналізувати вимоги до керування змотуванням листового прокату на моталці та сформулювати завдання для автоматизації керування перехідними режимами змотування для запобігання утягнень профілю прокату;
- розробити математичну модель роботи моталки;
- спроектувати систему автоматичного управління рівномірним намотуванням листа в рулони за допомогою моталки;

- вибрати алгоритми керування та оптимізації процесу намотування;
- розробити програмне забезпечення для автоматизованої системи управління;
- провести імітаційне моделювання системи управління;
- розглянути організацію охорони праці, проаналізувати умови праці та визначити заходи для зниження впливу небезпечних та шкідливих факторів;
- виконати розрахунок економічного обґрунтування проекту та визначити його ефективність.

МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Для дослідження процесу захоплення та транспортування прокату моталкою, а також оптимізації процесу змотування прокату з використанням тиску і керування ним, використовуються методи аналітичної механіки, теорії опору матеріалів, теорії автоматичного керування, і методи математичного моделювання. Також проводяться дослідження з використанням методів обробки металу тиском для встановлення закономірностей транспортування прокату. При розробці системи укладальника використовуються принципи механіки та гідравліки.

НАУКОВА НОВИЗНА ОТРИМАНИХ РЕЗУЛЬТАТІВ

1. Розроблена модель системи управління електроприводом моталки, яка забезпечує постійний натяг полоси незалежно від режимів роботи, таких як швидкість руху та діаметр рулону, що намотується.

2. Встановлено, що для підтримки сталого натягу полоси потрібно регулювати статичний момент на валу приводного двигуна пропорційно діаметру рулону. Також виявлено, що динамічний момент потрібно компенсувати під час зміни швидкості руху, а частота обертання повинна збільшуватись пропорційно зменшенню діаметру рулону.

3. Розроблене програмне забезпечення, яке базується на програмованому логічному контролері (ПЛК), надає гнучкі параметри управління моталкою прокатного стану. Це дозволяє уникнути необхідності ручного втручання під час експлуатації та швидко вносити будь-які зміни у систему.

ПРАКТИЧНЕ ЗНАЧЕННЯ

Отримані результати дослідження мають практичне значення, оскільки розроблена система оптимізації процесу намотування листа в рулони моталкою прокатного стану готова для впровадження на виробництві. Систему можна протестувати та налаштувати для різних типів прокату зміною параметрів програми відповідно до виробничого асортименту сталевих продукції.

ОСОБИСТИЙ ВНЕСОК

Автор особисто провів теоретичні та наукові дослідження, які включали аналіз існуючих систем керування змотуванням прокату, теоретичні та експериментальні вивчення процесу, а також узагальнення отриманих наукових знань і рекомендацій. Він також вніс значний особистий внесок у розробку системи управління процесом намотування прокату моталкою, забезпечивши його гнучкість та налаштованість під різні умови виробництва. Результати дослідження також підтверджують надійність розробленої системи та її відповідність стандартам безпеки. Готова система має потенціал для подальшого розвитку та удосконалення.

АПРОБАЦІЯ РЕЗУЛЬТАТІВ

Матеріали магістерської роботи були повідомлені та обговорені на наукових конференціях ЗНУ.

ПУБЛІКАЦІЇ

Основні результати магістерської роботи опубліковані в друкарських

роботах, а саме в тезах в працях і матеріалах наукових конференцій ЗНУ.

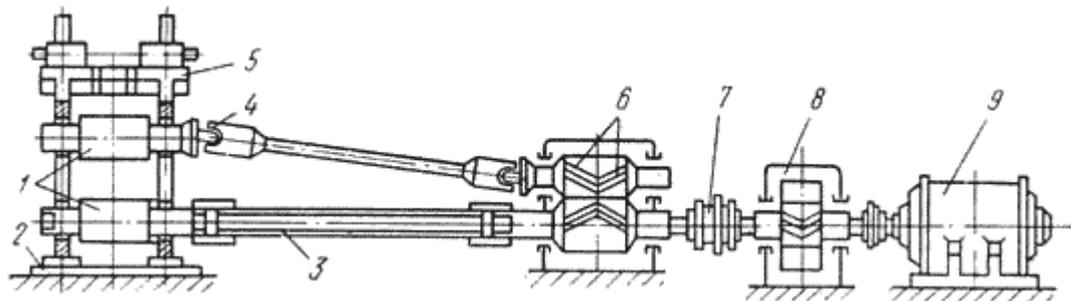
СТРУКТУРА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

Магістерська робота складається з вступу, семи розділів, загальних висновків, списку літератури із 51 найменування і вміщує 93 сторінки основного тексту, 2 таблиці, 28 рисунків, усього 97 сторінок.

1 ОПИС ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

1.1 Принцип роботи прокатного стану

Прокатний стан – це складний комплекс машин та обладнання, який використовується для прокатки металу, його подальшої обробки та транспортування. (рис.1.1).



1 – прокатні валки; 2 – плита; 3 – тріфазний шпиндель; 4 – універсальний шпиндель; 5 – робоча клітка; 6 – шестернева клітка; 7 – муфта; 8 – редуктор;
9 – двигун [30]

Рисунок 1.1 – Схема прокатного стану

Його можна розділити на основне обладнання, яке знаходиться в робочій лінії, та допоміжне, яке використовується для транспортування та обробки прокату. Робоча лінія складається з робочих кліток та приводу, кожна з яких може мати свою лінію приводу. Кількість кліток у прокатному стані залежить від його призначення, і в деяких випадках їх може бути декілька десятків.

На рисунку 1.2 наведені прокатні клітки.

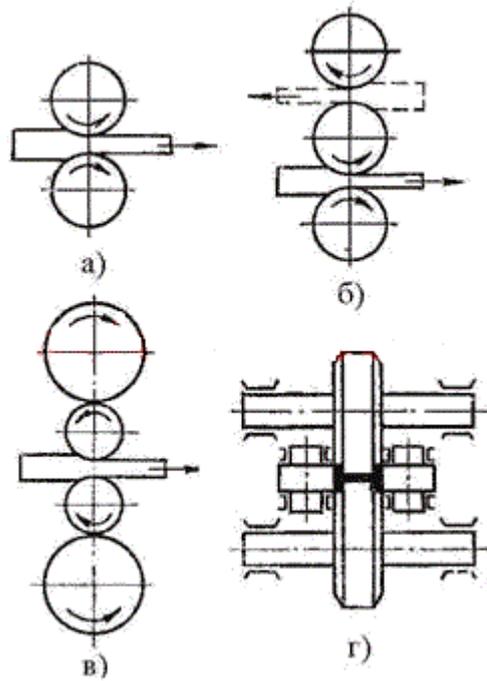


Рисунок 1.2 – Прокатні кліті [30]

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

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

Шестернева кліть 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:

1. Підвищення продуктивності стану завдяки відсутності простою між проходами рулонів.
2. Мінімізація відходів металу завдяки відсутності необхідності у відрізанні головної і хвостової частин рулону.
3. Постійно високі швидкості прокатки завдяки безперервності процесу, що забезпечує стабільну роботу обладнання та зменшує поломки.
4. Забезпечення стабільних технологічних умов, що підвищує якість виробленої продукції.
5. Збільшення терміну служби прокатного устаткування.
6. Зменшення потреби у технічному обслуговуванні, запасних частинах та витратних матеріалах.
7. Можливість намотування рулонів більшої ваги або згідно з конкретними замовленнями.
8. Можливість виробництва рулонів більшого розміру без необхідності дорогих модифікацій іншого обладнання.

1.2 Принцип роботи моталки прокатного стану

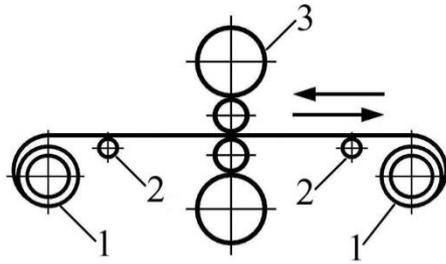
Моталки – це частина технологічного обладнання, яка використовується для намотування тонких аркушів сталі у великі рулони або бунти. Головне призначення моталок – контроль натягу смуги під час намотування та розмотування рулону під час роботи пристрою. Вони використовуються як на гарячому, так і на холодному прокаті, а також для дрібносортних профілів і дроту.

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

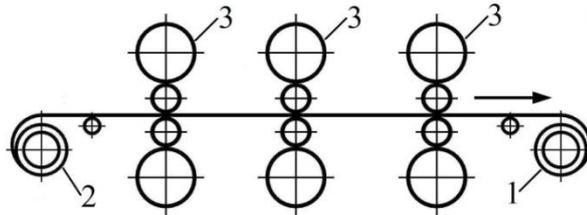
встановлюються по обидва боки робочої кліті.



1 – моталки; 2 – напрямні холости ролики; 3 – робоча клітка 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 клітки стану [32]

Рисунок 1.4 – Схема намотування смуги на безперервних станах холодної прокатки

Сучасні гарячі прокатні стани використовують моталки для намотування штаб у великі рулони. Останнім часом найпопулярнішими стали ролико-барабанні моталки, оскільки вони мають численні переваги порівняно з 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;

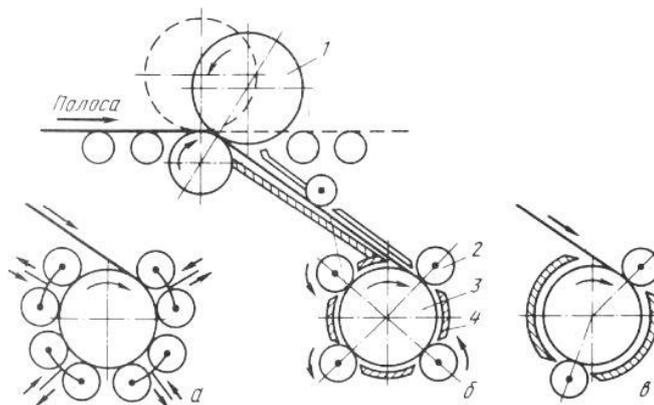
- при захопленні смуги моталкою та її змотуванні на відводить рольгангу стану не повинні утворюватися петлі або складки на смугі;

- 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 – восьмироликової, 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

Під час намотування вузької смуги (2 мм), після утворення перших двох-трьох витків, формуючі ролики відводяться від рулону. Подальше змотування здійснюється з використанням натягу смуги барабаном моталки. Верхні тягаючі ролики працюють у режимі генератору або мають зазор між собою. Для цього достатньо лише двох-трьох формуючих роликів з провідками між ними.

Для змотування товстих смуг (5-16 мм) можна використовувати

перший спосіб, але це потребує великої потужності електродвигуна приводу барабана моталки. У більшості випадків використовується інший метод, де в моталці встановлюють 2-3 пари жорстких притискних роликів. Після захоплення переднього кінця смуги барабаном моталки, притискні ролики залишаються притиснутими до смуги, а змотування з натягом відбувається як за допомогою притискних роликів, так і барабана моталки. Верхні ролики в цьому випадку працюють як тягуть смугу на рольгангу та подають її для направлення у моталку.

Для уникнення захльостування заднього кінця під час завершення намотування, швидкість розмотування смуги підбирається близькою до швидкості барабана моталки. При перехідному напрямку смуги для наступної моталки верхній ролик попередньої моталки піднімається, а провідники опускаються. Особливістю такої моталки є трипозиційний барабан, який може працювати у трьох режимах. Після намотування деякої кількості витків барабан розтягується, а його сегменти тісно прилягають до смуги, щоб уникнути її прослизання. Іноді виникають проблеми з захопленням смуги моталкою, і це може призводити до того, що смуга випинається вже після одного обороту. Цей процес потребує уважності та точного налаштування обладнання для забезпечення ефективної роботи.

Для досягнення ефективної роботи необхідно точно налаштувати різницю у відстані між барабаном моталки та формуючими роликками, а також вибрати оптимальний момент для розширення барабана до максимального діаметра. Під час цих налаштувань швидкість захоплення переднього кінця смуги потрібно збільшити на 1-3 м/с і налаштувати на рівень 12-14 м/с для тонких смуг.

Під час намотування смуги на барабан моталки створюється значний натяг, що знижує тиск металу на валки прокатного стану, покращує рівномірність смуги і сприяє правильному намотуванню металу на барабан моталки.

Швидкість прокатки і намотування смуги на сучасних станах досягає

дуже великих значень, до 15 м/с для триклітьових станів та 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 кутова 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.

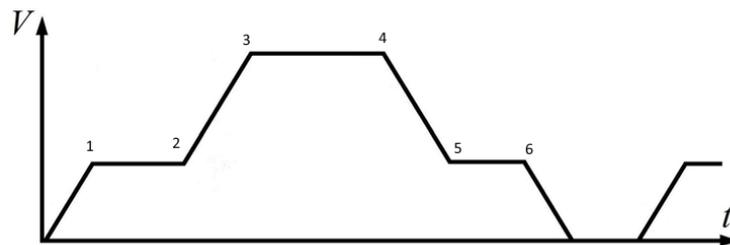


Рисунок 1.6 – Зразковий вид тахограми моталки [34]

1.4 Проблема підвищення якості сталепрокатної продукції

Основна вимога до моталок полягає в забезпеченні створення щільного рулону без телескопічності. Важливо також, щоб натяг смуги був стійким під час процесу прокатки. Навіть невеликі коливання натягу можуть призводити до нерівності товщини смуги і утворення урвищ. У більшості випадків точність підтримки натягу або регулювання його впливає на якість виготовленої продукції. Головна вимога до електроприводу моталок - це забезпечення стійкого натягу смуги як під час роботи моталки, так і під час прискорення та уповільнення. Для виконання цих вимог необхідні:

- 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 встановлено:

- керування столом моталки без врахування взаємодії з прокатом не забезпечує якісне змотування сортового прокату;
- під час змотування сортового прокату в режимі стабілізації струму стола моталки спостерігаються ривки натягу, що негативно впливає на якість змотування;
- існуючий гідропривод укладальника не забезпечує плавне регулювання швидкості його руху в широких межах;

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

– потрібна оптимізація процесу рівномірного намотування листа в рулони моталками та модернізація існуючої автоматизованої системи управління та технологічного процесу.

1.3 Постановка задачі

В наш час виробництво сортового прокату у вигляді мотків постійно зростає, навіть у періоди кризи в металургійній промисловості. Це зростання вимагає підвищення якості змотування сортового прокату для того, щоб продукція була конкурентоспроможною на світовому ринку. Однак вкладення значних коштів у реконструкцію ділянки змотування і заміну моталок може бути неефективним. Тому підвищення якості змотування моталками шляхом вдосконалення взаємозалежного керування механізмами є актуальною задачею для металургійного комплексу України.

Необхідні заходи для оптимізації процесу рівномірного намотування листа в рулони включають такі аспекти:

1. Регулювання натягу змотування шляхом керування взаємозалежними механізмами ділянки змотування сортового прокату.

2. Точне регулювання швидкості руху укладальника в залежності від поточного змотуваного шару і швидкості обертання стола моталки.

3. Дослідження можливості зменшення ризику зриву витків за рахунок керування швидкістю руху укладальника і натягом прокату під час переходу до змотування нового шару.

4. Впровадження бездатчикової системи управління для електропривода моталки, яка використовує спостереження швидкості і отримує необхідні дані від частотного перетворювача.

5. Створення комплексу технічних засобів для керування системою ділянок моталки.

Система керування механізмами ділянки змотування сортового прокату повинна бути централізованою, що означає, що вона керується одним центральним пунктом. Ця система формує настройки і відправляє команди для керування окремими механізмами на місцевому рівні, які відповідають за різні етапи процесу змотування сортового прокату.

Висновки. Навіть при зниженні загального обсягу виробництва сортового металопрокату спостерігається зростання попиту на прокат, який поставляється у формі рулонів. Вимоги до цього типу прокату стосуються не лише точності його геометричних параметрів, але й особливостей рулону для забезпечення зручного транспортування та подальшої обробки. Хоча сучасні лінії змотування пропонують високу якість рулонів, їх вартість є дуже великою, що робить реконструкцію таких ліній економічно необґрунтованою. Для збільшення виробництва прокату у формі рулонів і підвищення експортних можливостей металургійного виробництва необхідно покращити якість самоподібних мотків на існуючих лініях змотування прокату.

Використання технологій нескінченної прокатки дозволяє впроваджувати широкий спектр механізації та автоматизації виробництва. Тому вдосконалення процесу однорідного намотування листа в рулони за допомогою високошвидкісних моталок та модернізація існуючих систем автоматизації управління процесом намотування є важливою та перспективною задачею.

2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ

2.1 Розробка математичної моделі об'єкта управління

Під час намотування (або розмотування) рулону його діаметр постійно змінюється. Ця зміна діаметру при не змінній кутовій швидкості намотувальних пристроїв призводить до відповідних змін у 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.

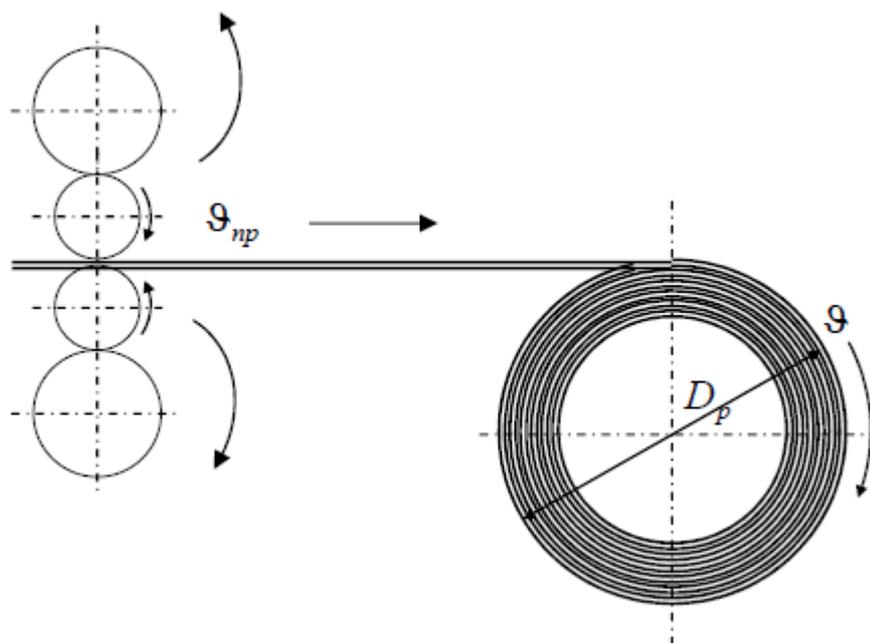
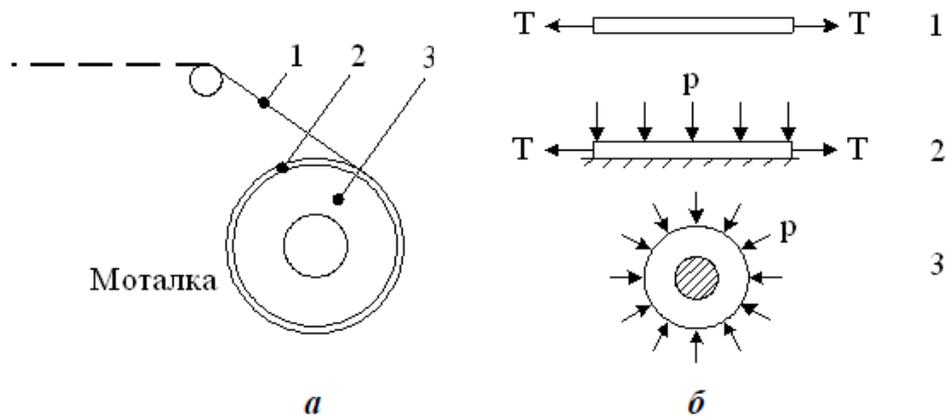


Рисунок 2.3 – Схема намотування смуги на барабан моталки [30]

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:

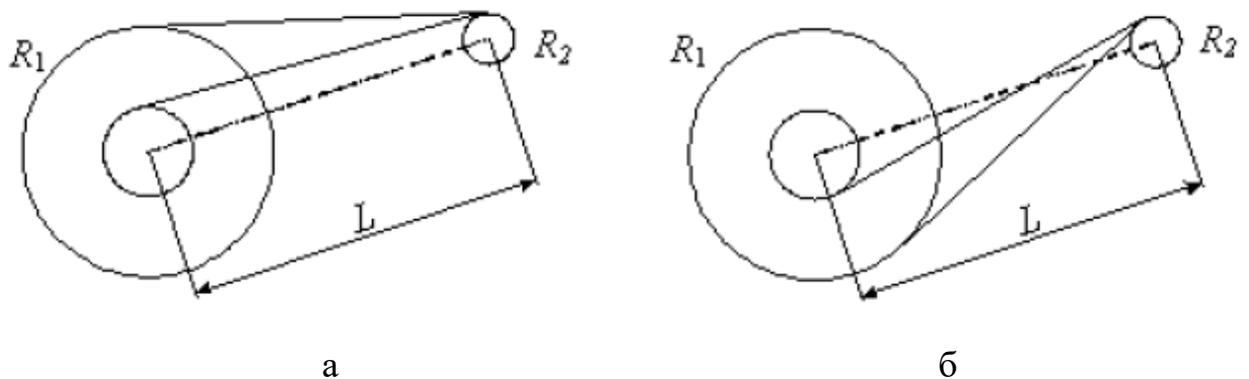
$$T = c \cdot \Delta L, \quad (2.2)$$

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 змінює довжину. На рис. 2.3 представлено положення смуги для двох способів намотування матеріалу.



а – прямий; 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 $L_{\text{п}}$:

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

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

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

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;

$$k = \sqrt{\frac{E_2}{E_1}}, \quad (2.8)$$

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 :

$$\Delta L = 2 \cdot \pi \cdot u, \quad (2.9)$$

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:

$$c_{\text{екв3}} = \frac{E_1 \cdot B \cdot (R^{2 \cdot k} - R_6^{2 \cdot k})}{2 \cdot \pi \cdot (k - \mu) \cdot R^{2 \cdot k} + (k + \mu) \cdot R_6^{2 \cdot k}}, \quad (2.10)$$

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:

$$R \geq 1,105 \cdot R_6, \quad (2.11)$$

При намотуванні тонкої сталеві смуги (0,4...0,25 мм) на барабан моталки з радіусом $R_6 = 0,25$ м умова (2.11) 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:

$$c_{\text{екв3}} = \frac{E \cdot B \cdot (R - R_6)}{2 \cdot \pi \cdot (0,5 - \mu) \cdot R + (0,5 + \mu) \cdot R_6}, \quad (2.12)$$

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

$$c_{\Pi} = \frac{c_1 \cdot c_{\text{екв2}} \cdot c_{\text{екв3}}}{c_1 \cdot c_{\text{екв2}} + c_{\text{екв2}} \cdot c_{\text{екв3}} + c_1 \cdot c_{\text{екв3}}}, \quad (2.13)$$

Підставивши формулу (2.13) вирази для c_1 – формулу (1.4), для $c_{\text{екв2}}$ – формулу (2.6), для $c_{\text{екв3}}$ – формулу (2.12), отримаємо математичну залежність сукупної жорсткості при зміні радіуса рулону:

$$c_{\Pi} = \frac{E \cdot B \cdot h}{L_{\Pi} + 2 \cdot \pi \left(R + (h - 1) \cdot \mu + \frac{R - R_6}{2 \cdot (R - R_6)} \right)}, \quad (2.14)$$

де L_{Π} – довжина смуги, що розраховується за формулою (2.9).

Отримані залежності (2.13), (2.14) характеризують зміну сукупної жорсткості смуги і рулону при зміні радіуса і можуть бути основою для побудови спостерігачів автоматичних систем управління, що регулюють натяг смуги.

Врахування зміни жорсткості смуги та рулону дозволить автоматично налаштувати регулятори системи управління. Це забезпечить стабільність характеристик холоднокатаної сталі після прокатки незалежно від того, як змінюється діаметр 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:

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

З (2.14) випливає рівняння для електромагнітної потужності:

$$U_a I_a = E_{дв} I_a + I_a^2 R_a, \quad (2.15)$$

де $U_a I_a$ – потужність, що отримується двигуном з мережі;

$P_{em} = E_{дв} I_a$ – електромагнітна потужність;

$\Delta P_a = I_a^2 R_a$ – втрати потужності в обмотках якоря двигуна;

$E_{дв} = C_e \Phi \omega_{дв}$ – 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:

$$P_v = \frac{P_{BM}}{\eta} = T \cdot v_n, \quad (2.16)$$

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:

$$\omega_{дв} = \frac{v_p \cdot i_p}{R_p}, \quad (2.17)$$

де i_p – передаточне число редуктора,

R_p – радіус рулону.

З формули (2.17) видно, що при заданому значенні v_p діапазон регулювання швидкості двигуна дорівнює діапазону зміни радіусу рулону.

З урахуванням формул (2.14) – (2.17) і нехтуючи постійними втратами у двигуні можна отримати:

$$T = \frac{C_e \cdot \Phi \cdot I_a \cdot i_p}{R_p} \quad (2.18)$$

З умови $T = \text{const}$ і формул (2.16) та (2.18) 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 ($R_p = \text{var}$) $P_v = \text{const}$;
- 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_v , 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.

У режимі регулювання швидкості, система керування електроприводом натяжних механізмів працює подібно до двоконтурної схеми з підпорядкованим налаштуванням параметрів. У режимі регулювання натягу, важливо розрізнити режими стабілізації натягу в двигуні та режими гальмування. Для забезпечення сталого потоку, потрібна відповідна система стабілізації струму збудження двигуна. Основним завданням є регулювання положення якоря у перехідних і 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

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 $\vartheta_{об}$.

У сигналах системи керування це обмеження має вигляд:

$$|U_{\omega,з} - u_{\delta\omega}| = U_{об} \quad (2.19)$$

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:

$$\left| \vartheta_{п} - \frac{R_p\omega_{дв}}{i_p} \right| = \vartheta_{об}. \quad (2.20)$$

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 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 елeприводом повинно бути два контури.

При збільшенні радіусу рулону збільшується момент опору двигуна і, 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 $\mathcal{Q}_{об}$. Тому контур регулювання ЕРС у якорному колі двигуна розімкнений.

На регуляторі $W_{pe,2}$ виконується порівняння сигналу завдання на лінійну швидкість прокатки $\mathcal{Q}_п$ 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.

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.

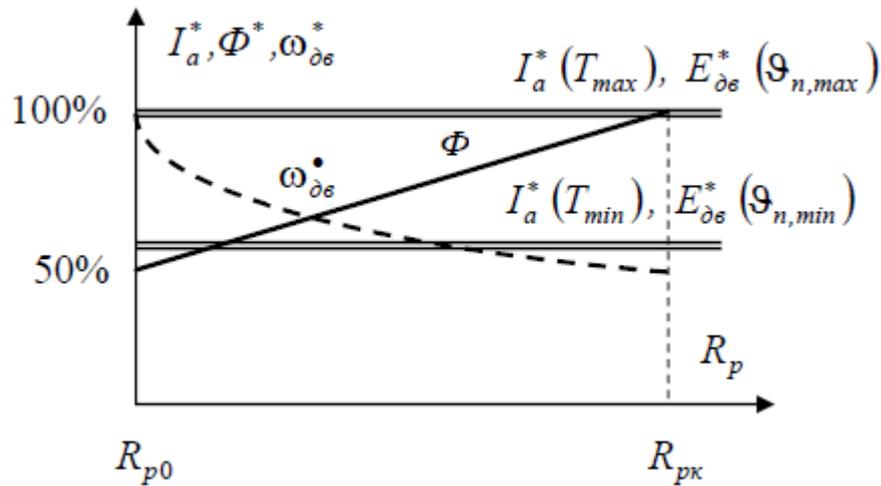


Рисунок 2.7 – Діаграми регулювання потоку збудження і ЕРС двигуна у залежності від радіуса рулону

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 $\mathcal{G}_{об}$. 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

Щоб виправити недолік існуючої системи регулювання натягу, де весь діапазон швидкості електропривода контролюється шляхом зниження потоку, двозонна система регулювання дозволяє регулювати швидкість як за рахунок зміни потоку, так і за рахунок регулювання струму якоря двигуна.

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

$$D_1 = \omega_{\max}/\omega_n \quad (2.21)$$

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

$$D_2 = \omega_n/\omega_k \quad (2.22)$$

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.

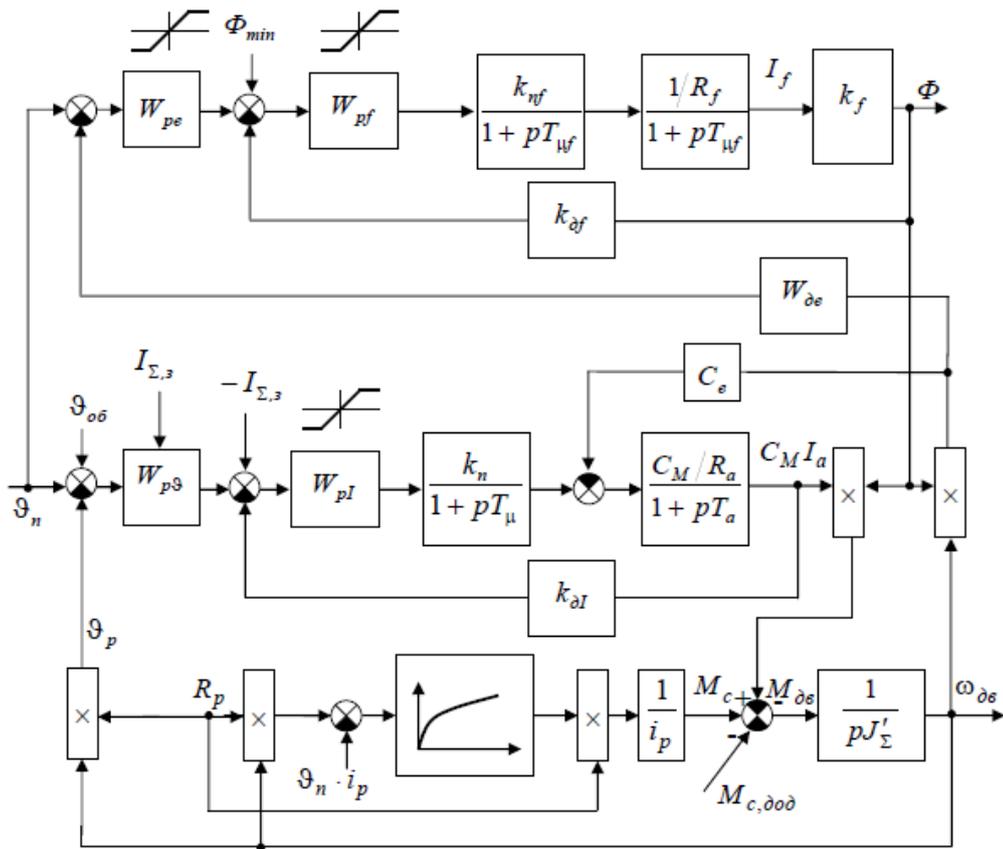


Рисунок 2.8 – Двохзонної системи регулювання натягу

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

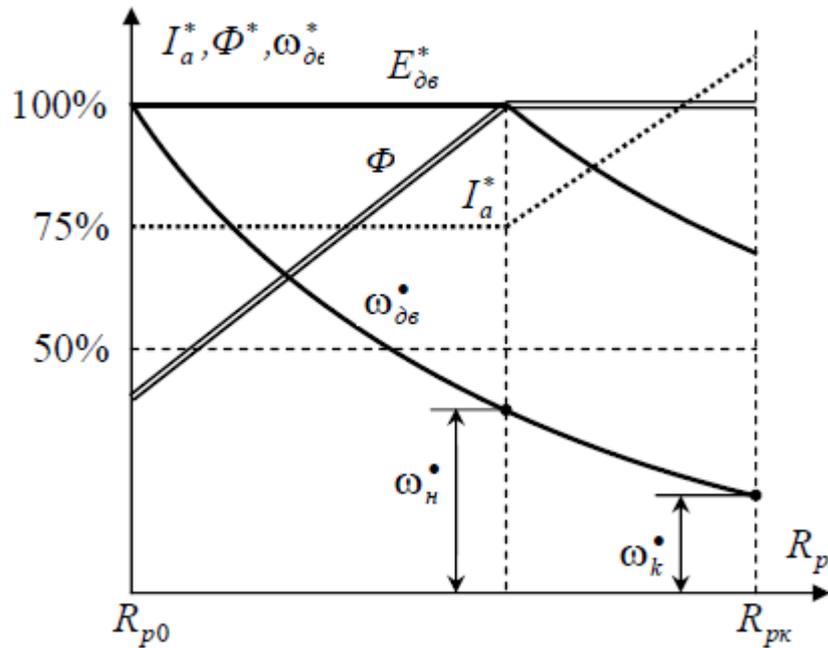


Рисунок 2.9 – Діаграми регулювання натягу у двохзонній САР

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

У першій зоні регулятор лінійної швидкості рулону W_{p9} знаходиться у насиченні за рахунок сигналу обгону $\vartheta_{об}$. 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 $\vartheta_{об}$ 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 (2.23) на частоту зрізу:

$$\omega_{cl} = \frac{k_n(k_{\delta I} + k_{\delta e} \Phi_n u_n / R_{po}) C_M}{T_l R_a}, \quad (2.23)$$

Сигнал ЕРС формується за допомогою сигналів струму й напруги якоря. Тому передавальна функція регулятора натягу буде:

$$W_{\delta e}(p) = \frac{k_{\delta e}}{1 + pT_a} \quad (2.24)$$

Стала часу T_a приводиться до некомпенсованої сталої контуру струму T_μ .

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

$$W_{pf}(p) = \frac{1 + pT_2}{pT_1} \quad (2.25)$$

Передаюча функція розімкненого контуру потоку приймає вигляд:

$$W_f(p) = \frac{(1 + pT_2)}{pT_1} \cdot \frac{k_n k_f k_{\delta f} / R_{f\Sigma}}{(1 + pT_\mu)(1 + pT_{f\Sigma})} \quad (2.26)$$

Частота зрізу контуру в цьому випадку:

$$\omega_{cf} = A \cdot \frac{T_2}{T_1} \quad (2.27)$$

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

$$T_1 = \frac{A \cdot T_{f\Sigma}}{\omega_{cf}} \quad (2.28)$$

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.

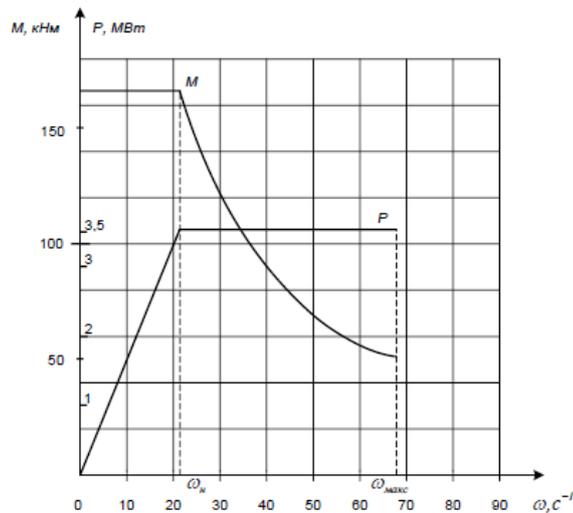


Рисунок 3.1 – Механічні характеристики синхронного двигуна двохзонного регулювання швидкості обертання

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.

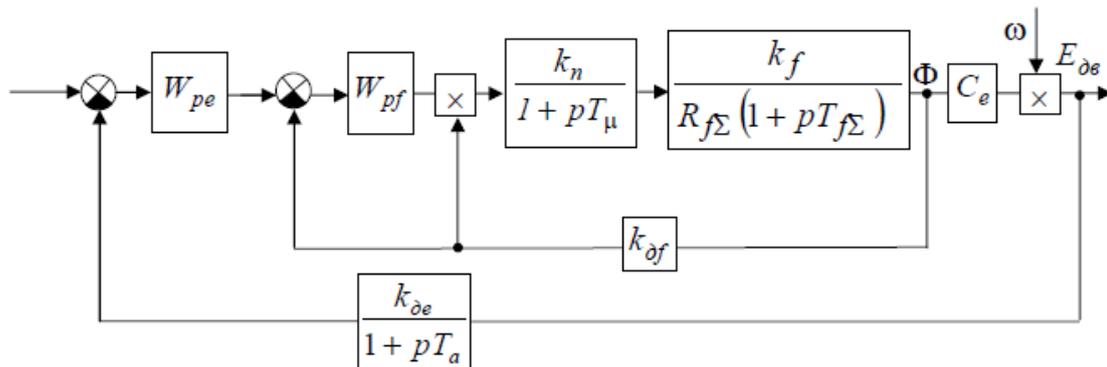


Рисунок 3.2 – Двоконтурна система регулювання потоку із корекцією сигналу регулятора ЕРС

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.

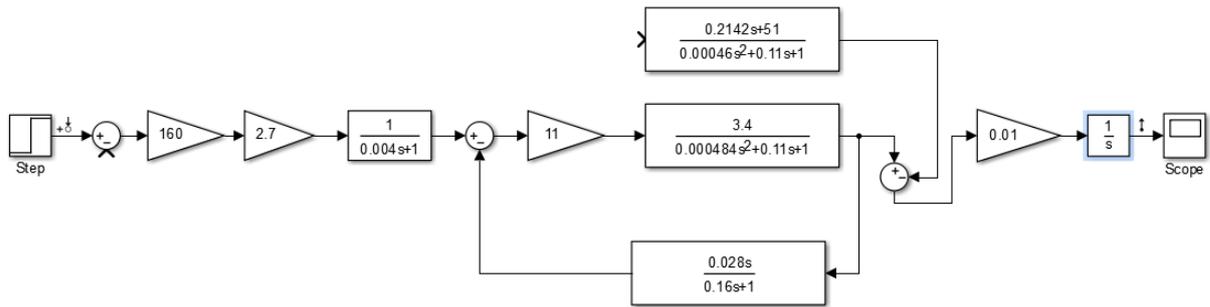


Рисунок 3.3 – Коригована система для частотних характеристик

Знаходимо частотні характеристики системи, що наведено рисунку 3.4.

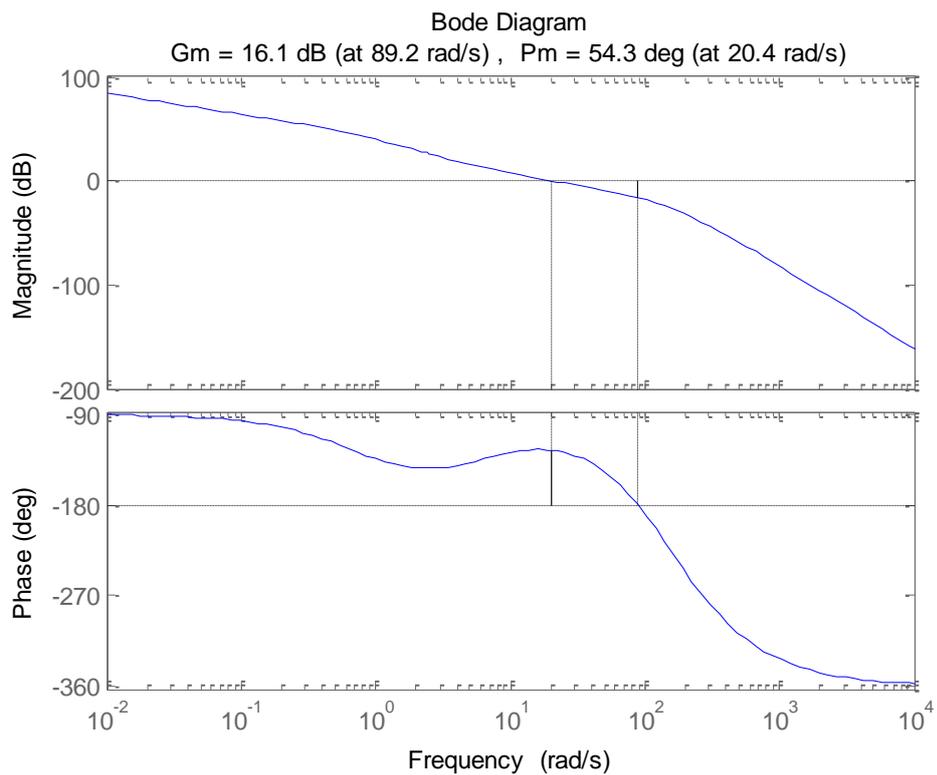


Рисунок 3.4 – Частотные характеристики скорректированной системы

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).

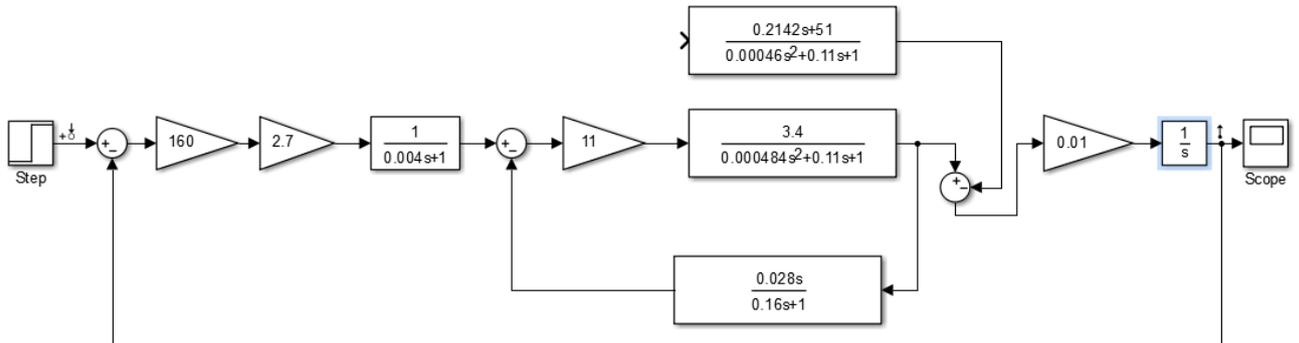


Рисунок 3.5 – Коригована система для перехідних характеристик

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)`

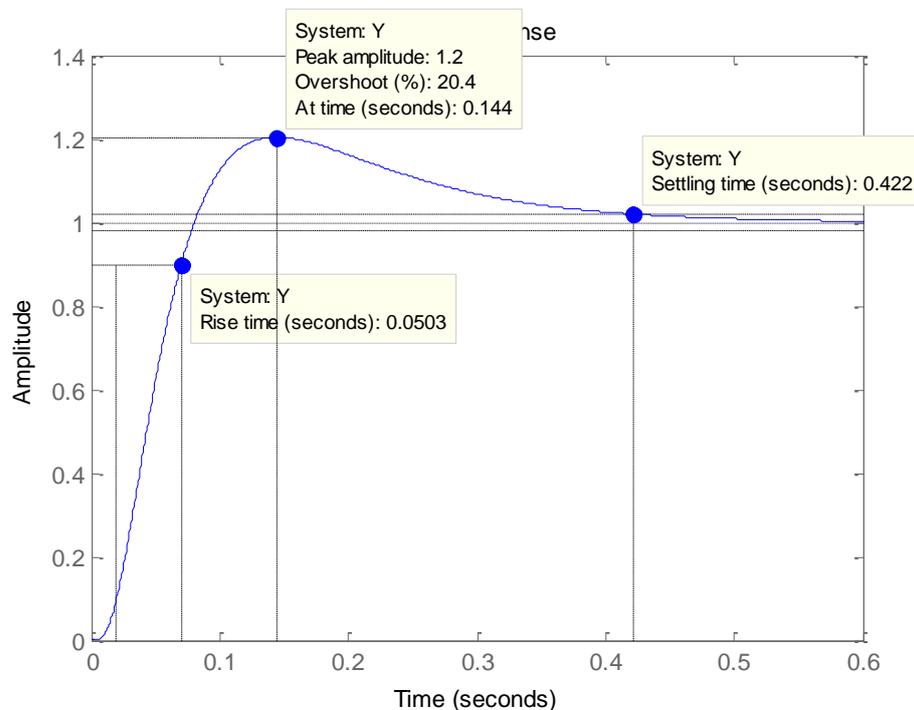


Рисунок 3.6 – Перехідна характеристика скоригованої системи

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

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

Час наростання перехідного процесу $T_{\text{н}} = 0,0503$ 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

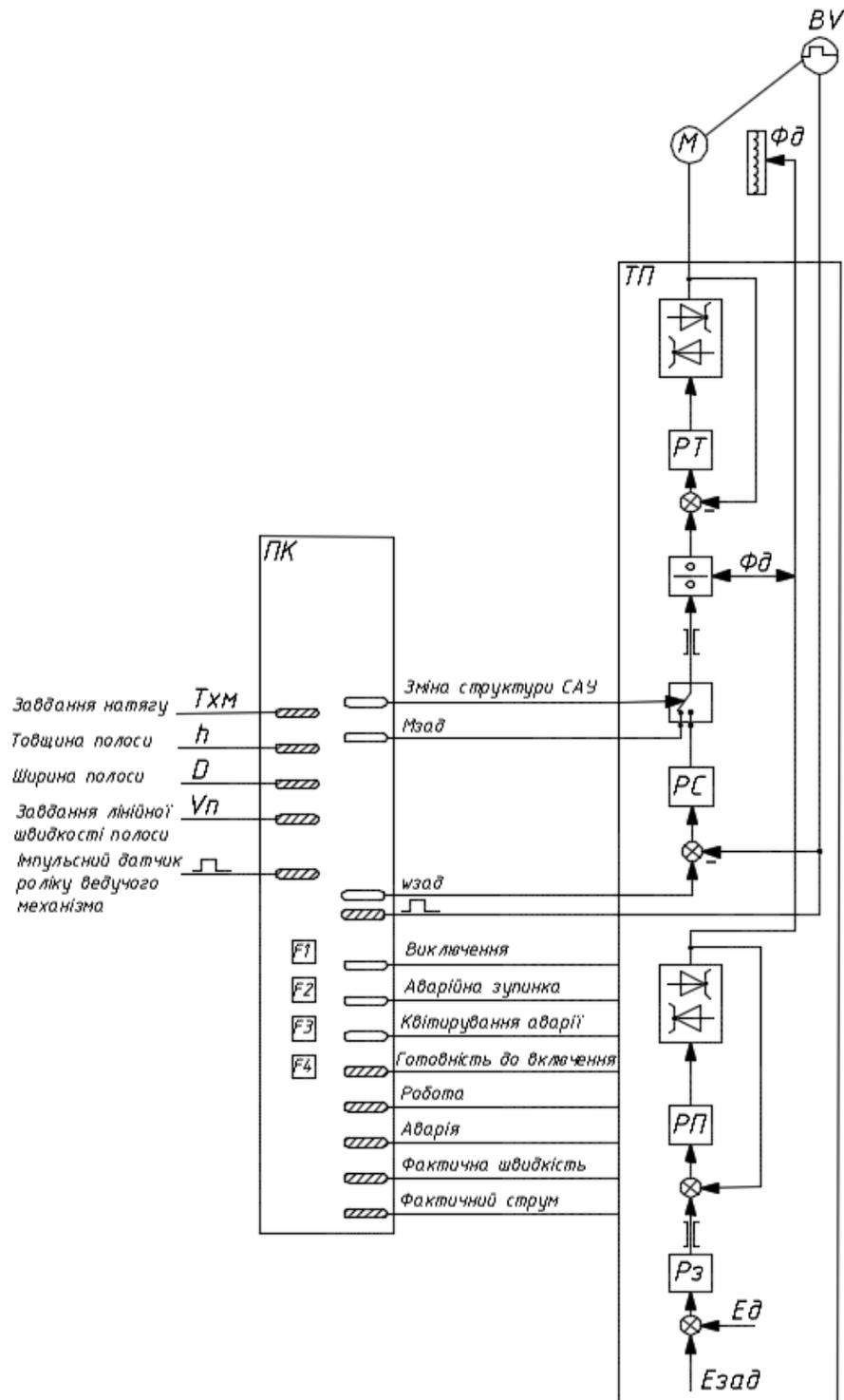
Електропривод моталки повинен забезпечувати намотування смуги з постійним заданим натягом і при постійній швидкості смуги є електроприводом постійної потужності. Система мікропроцесорного управління реалізована на електроприводах розмотувача та моталки агрегату поздовжнього різання АПрР 1...6×1500.

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.



F1 – обчислення статистичної складової моменту;

F2 – обчислення динамічної складової моменту; F3 – обчислення радіусу ролону; F4 – контроль обриву полоси

Рисунок 4.1 – Функції

У режимі поштовхів або при обриві смуги система управління ТП перетворюється на двоконтурну САУ 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 рахунку. 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.

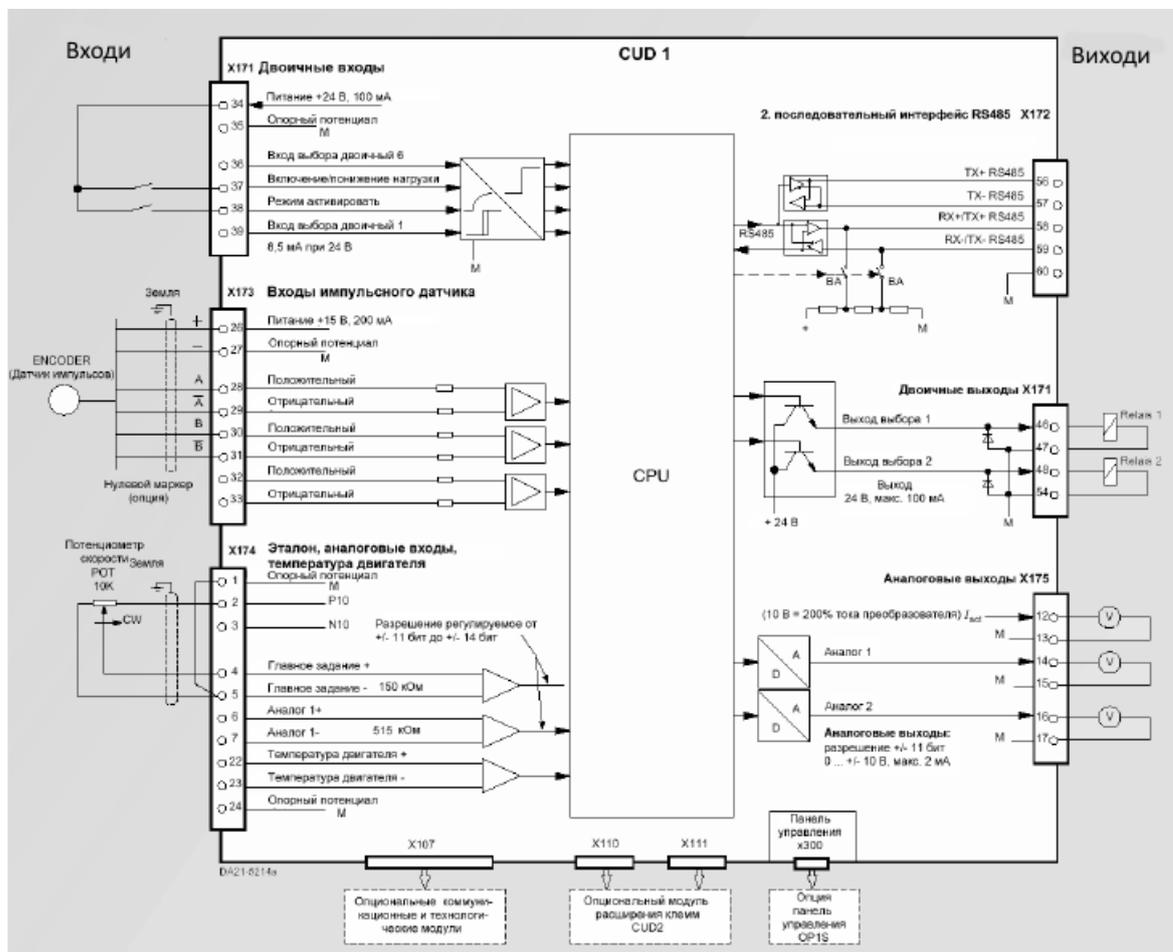


Рисунок 4.3 – Блоковая схема підключення CUD1 [46]

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 ізолюваними тиристорними модулями. При цьому корпус тепловідведення не несе потенціалу. У перетворювачах з номінальним струмом ≥ 1500 А силова частина якірного контуру виконана на таблеткових тиристорах та їх тепловідведення знаходяться під напругою.

4.3 Програмований контролер

Система управління агрегатом використовує програмований контролер SIMATIC S7-300. Це невеликий, але потужний мікропроцесорний контролер, призначений для автоматизації та керування різними технологічними процесами.

Зовнішній вигляд контролера показаний на рисунку 4.4.



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

Контролери SIMATIC S7-300 від Siemens – це універсальна платформа для вирішення завдань у сфері промислової автоматизації. Завдяки своїй модульній будові вони можуть ефективно керувати як простими, так і складними технологічними процесами на будь-якому рівні, включаючи виробничі підприємства. За допомогою контролерів SIMATIC S7-300 можна створювати різноманітні конфігурації вводу-виводу, які складаються з різних модулів та компонентів.

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 центральних 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, позиціонування, 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 (ІМ), 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 вводів-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.

Після обробки вхідних сигналів контролер здійснює керування витратою повітря, палива і димових газів за допомогою виконавчих механізмів, які регулюються імпульсними сигналами. Оскільки ці механізми повинні компенсувати збурення шляхом зміни витрати, для кожного з них передбачено два виходи – «збільшити» і «зменшити». У випадку, коли змінюються витрати трьох технологічних параметрів, 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 6ES7315-2АН14-0АВ0). Він має можливість підключення до 32 модулів S7-300 (4-рядна конфігурація), вбудований блок живлення =24 в, 256 кбайт робочей пам'яті, 2 інтерфейси 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 В 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 призначений для забезпечення намотування смуги з постійним натягом і однаковою швидкістю. Для керування цим приводом використовується програмована мікропроцесорна система, яка базується на тиристорному перетворювачі постійного струму SIMOREG 6RA70 від фірми SIEMENS. Ця система керування розроблена на базі програмованого контролера SIMATIC S7-300 і використовується для управління процесом намотування смуги на моталку агрегату поздовжнього різання. Опис програмування цього контролера буде наведено 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 5.2 наведено маркування сигналів входів та виходів блоків регулятора на мові FBD.

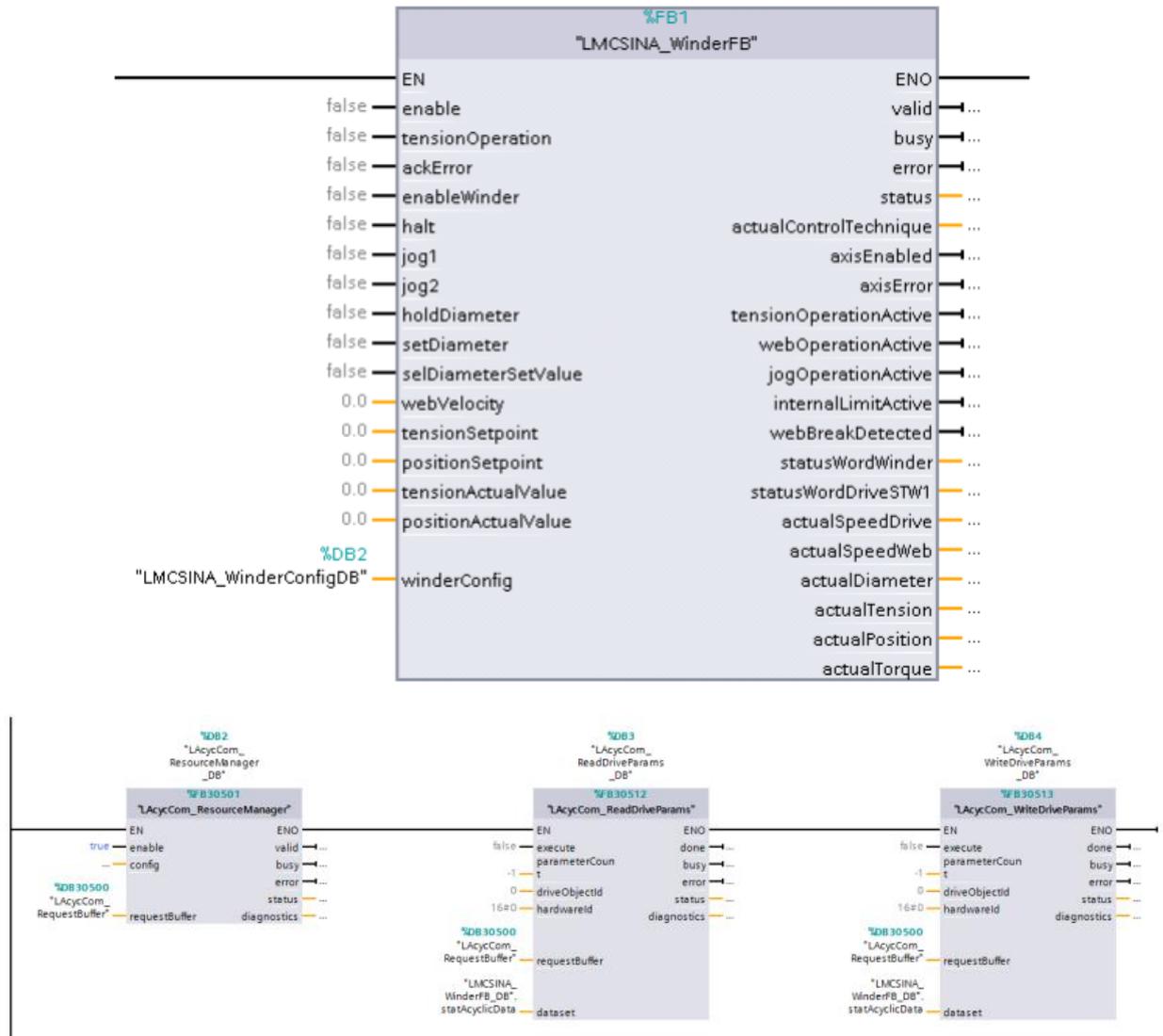


Рисунок 5.3 – Блоки регулятора FB1 на мові FBD

Для зручності налаштування регулятора приводиться відображення функціональної діаграми роботи адаптивної системи управління рівномірного намотування листа в рулони моталкою прокатного стану, воно наведено на рисунку 5.4.

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.

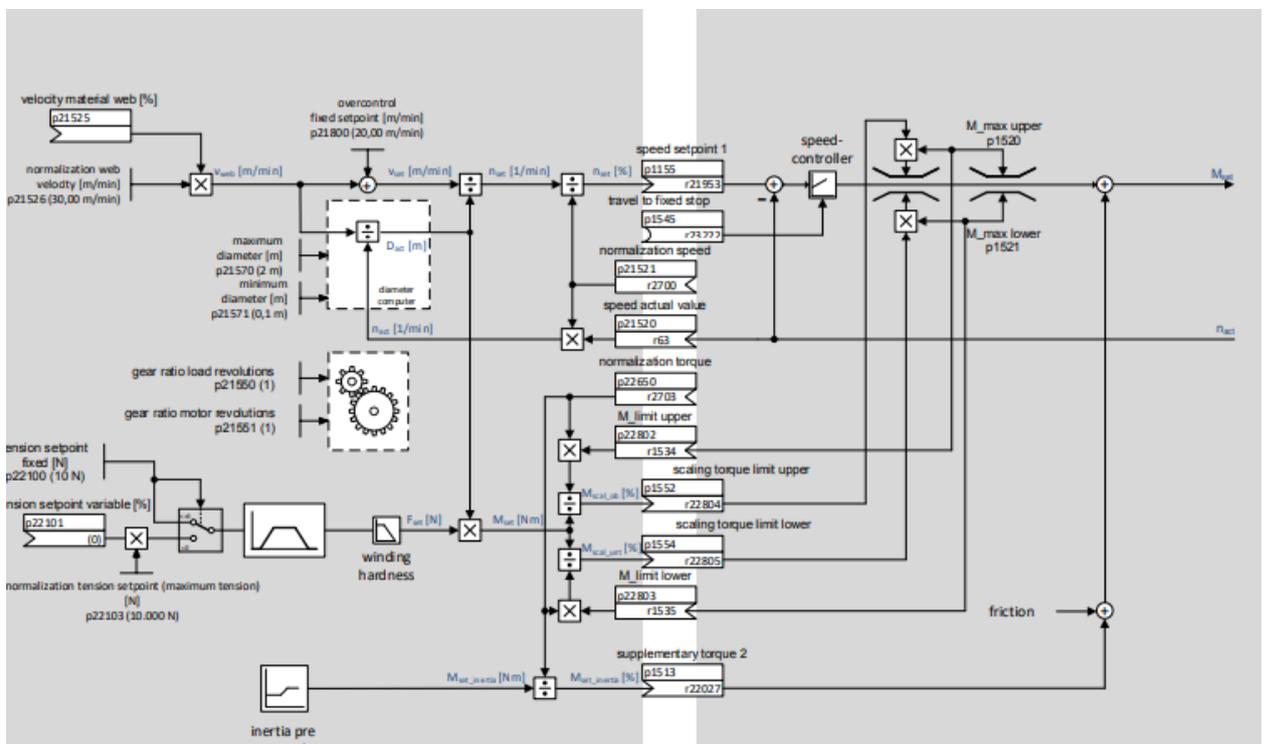


Рисунок 5.3 – Відображення функціональної діаграми роботи САР

На рисунку 5.4 наведений комп'ютерний інтерфейс оператора управління моталкою.

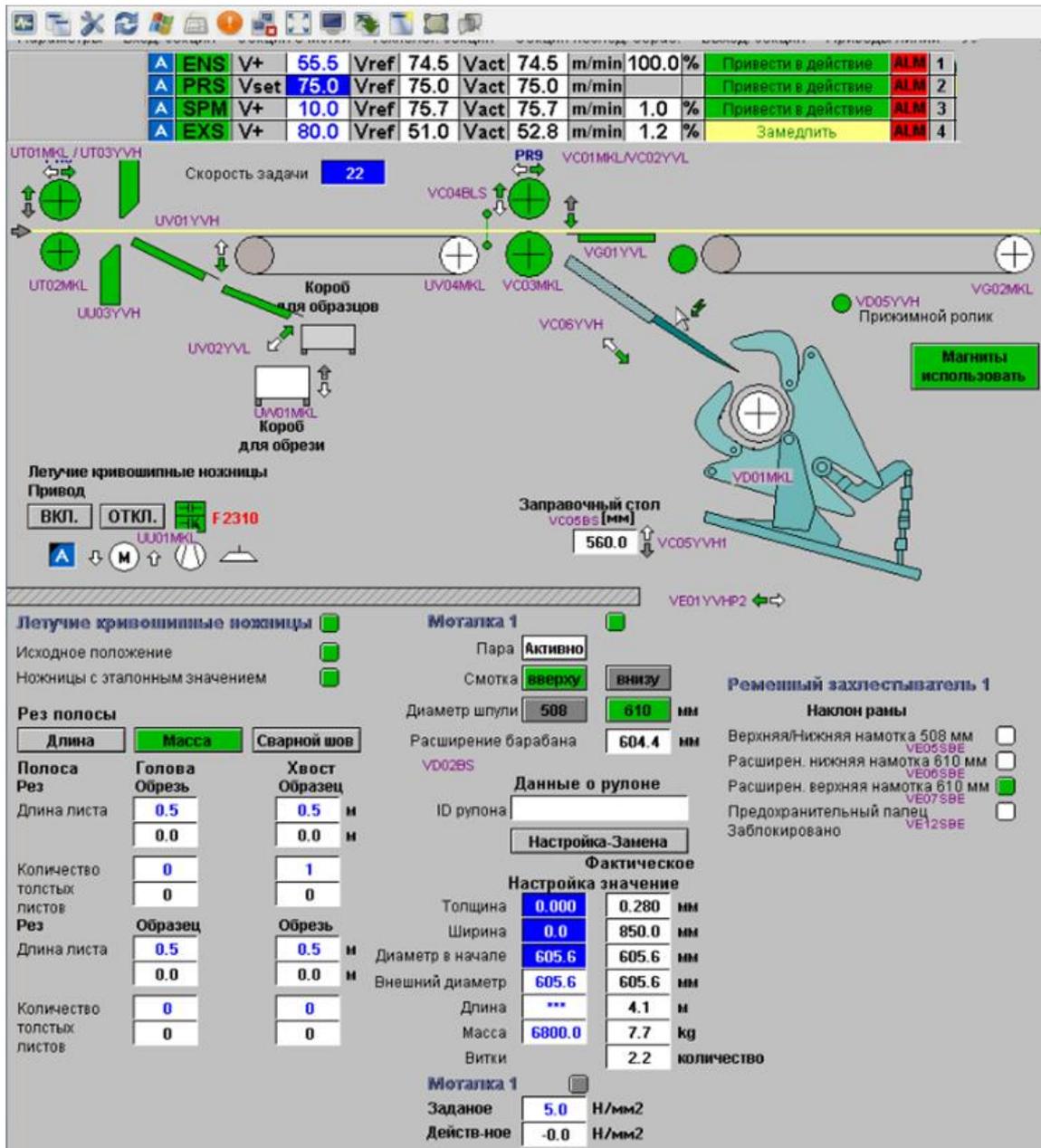


Рисунок 5.2 – Комп’ютерний інтерфейс управління моталкою

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. У цьому розділі було створено програмне забезпечення для системи автоматизованого регулювання процесу намотування листа в рулони за допомогою моталки прокатного стану. Програмне забезпечення було розроблено на базі контролера SIMATIC S7-300 за допомогою програмного середовища STEP7. Воно включає інтерфейс для оператора та частину коду для управління контролером. Завдяки гнучкості введення початкових даних, програмне забезпечення може легко адаптуватися під умови виробництва та проводити необхідні модифікації в майбутньому. Розроблена панель оператора дозволяє уникнути ручного втручання під час експлуатації системи.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ

6.1 Загальні заходи з охорони праці сталепрокатного цеху

При роботі на прокатному стані необхідно бути уважним до наступних потенційно небезпечних факторів:

- високий рівень шуму на робочому місці;
- вібрація;
- рухливі елементи транспортних засобів та пересування вантажів;
- матеріали, особливо в умовах обмеженого простору, наприклад, в тунелях або галереях;
- обертові частини приводних систем, натяжних установок та іншого обладнання;
- ризик ураження електричним струмом;
- запиленість та наявність шкідливих речовин у повітрі робочої зони та 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 вібронебезпечного обладнання;

3 Рухомі частини небезпечні травмами робочих пов'язаних з затулюванням 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 витoku 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 368 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, борті 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

На прокатних станах необхідно встановлювати автоматичні системи пожежогасіння з водою для швидкої локалізації та гасіння пожеж. Вони повинні відповідати встановленим стандартам та технічним вимогам виробників. Розташування та кількість протипожежних пристроїв, водойм, засобів пожежогасіння, а також особливості прокладання пожежно-зрошувального водопроводу визначаються спеціальними інструкціями щодо протипожежного захисту підприємств. Ці вимоги конкретизуються в проекті протипожежного захисту, який погоджується з Державною службою з надзвичайних ситуацій та затверджується у встановленому порядку.

У кожній приводній голівці прокатного стану розміщуються автоматичні установки водяного пожежогасіння, які працюють неперервно. На вентиляційних ділянках, де встановлено гідрофіцировані виїмкові комплекси, використовують переносні пожежогасники. Це забезпечує ефективний протипожежний захист прокатного стану та збільшує безпеку на виробництві.

На кожному прокатному стані також мають бути встановлені інші протипожежні заходи, такі як датчики виявлення пожежі, пожежні тривожні системи, автоматичні вимикачі електроживлення у разі виявлення загрози пожежі, а також вогнегасники для ручного застосування. Важливо також регулярно проводити навчання персоналу з евакуації та дій у випадку виникнення пожежі, а також забезпечити належне технічне обслуговування усіх систем протипожежного захисту. Такий комплексний підхід допоможе мінімізувати ризик виникнення пожеж та забезпечити безпеку праці на виробництві.

6.3 Охорона праці оператора АСУ ТП

На підставі аналізу функціонування поточного обладнання та відповідальностей оператора автоматизованої системи управління технологічним процесом було розроблено заходи щодо забезпечення безпеки праці. Приміщення, де виконуються ці заходи та проводяться дослідження та розрахунки, є спеціально обладнаним приміщенням, оснащеним персональним комп'ютером з відеодисплейним терміналом.

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 АСУ ТП 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.

Можливість отримання травм у результаті механічного впливу може виникнути через неправильне розташування робочих місць, їх переповненість або через неуважність персоналу. Для уникнення таких травм, відповідно до Державних санітарних норм роботи з візуальними дисплейними терміналами, було здійснено оптимізацію розміщення робочих місць. Це включало збільшення відстані між ними, що відповідає встановленим нормам (не менше 6,0 м² площі на одне робоче місце та об'єм не менше 20,0 м³). Крім того, підлога в приміщенні має бути рівною, неслизькою та обладнана 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 забезпечення безпеки на промисловому підприємстві, включаючи сталепрокатне, важливо встановити політику та процедури, які гарантують, що користувачі інформаційної системи отримують необхідні навчальні матеріали перед отриманням доступу до системи. Навчання персоналу повинно бути систематичним і документованим. Для системи автоматизації технологічного процесу (АСУ ТП) це означає включення інформаційної безпеки, зокрема вивчення особливостей безпеки самої системи та вимог щодо неї. Також важливо ідентифікувати, документувати та навчати весь персонал, який має ключові ролі та відповідальність у сфері АСУ ТП. Це навчання повинно охоплювати всі аспекти фізичного процесу, який контролюється системою.

Крім вищевказаних заходів, важливо також регулярно переглядати та оновлювати політику та процедури безпеки інформаційної системи з урахуванням змін у загрозах та технологіях. Також рекомендується проводити аудит безпеки, щоб виявити можливі слабкі місця і вжити відповідних заходів для їх вирішення.

Для забезпечення ефективної безпеки інформаційної системи, важливо також розглядати питання фізичної безпеки, доступу до приміщень з обладнанням, а також застосування методів ідентифікації та аутентифікації користувачів, наприклад, за допомогою карток доступу або біометричних систем.

Поміж іншого, персонал повинен регулярно проходити навчання з питань кібербезпеки та процедур дії в разі виявлення підозрілих або загрозливих ситуацій. Також необхідно мати чітко визначені процедури реагування на інциденти та план відновлення після кібератаки або випадку втрати даних.

Загальна усвідомленість з питань кібербезпеки та відповідальність кожного співробітника за дотримання встановлених процедур є важливими складовими успішної безпекової політики підприємства.

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 включають у себе як технічні компоненти, так і людський фактор. У таких системах людина відіграє важливу роль у визначенні цілей управління, встановленні критеріїв якості та у прийнятті рішень у ситуаціях, які вимагають творчого підходу. Організаційне забезпечення автоматизованих систем управління включає ряд функцій, таких як аналіз поточної системи управління, підготовка завдань для розв'язання на комп'ютері, вироблення управлінських рішень для оптимізації ефективності управління.

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, упровадження, функціонування і супроводження автоматизованих систем управління.

Нагромаджений досвід упровадження 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 ($B_{уст}$) та витрати на транспортні ($B_{тр} = 6\%$) і заготівельно-складські ($B_{зс} = 5\%$) операції у визначених відсотках від $B_{уст}$.

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

де $B_{уст} = B_{ШУ}$;

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

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

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 ($V_{а}$);
- поточний ремонт нового обладнання ($V_{р}$);
- електричну енергію для живлення нового обладнання ($V_{ел}$);

– інші експлуатаційні витрати (B_i).

$$B_{\text{САР}} = B_{\text{ЗП}} + B_a + B_p + B_{\text{ел}} + B_{\text{ін}}. \quad (7.3)$$

7.2.3 Річні витрати на ЗП

Річні витрати на ЗП обслуговуючого персоналу визначається за формулою:

$$B_{\text{ЗП}} = n \cdot \text{ФОП}, \quad (7.4)$$

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:

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

де $K_{\text{ін}} = 1,1$

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

$$\Phi_{\text{ЗП}} = 12 \cdot \text{ЗП} \cdot N_{\text{ЗП}}, \quad (7.6)$$

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

$N_{\text{ЗП}}$ – нарахування на ФОП складають 20%.

Тоді:

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

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

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

7.2.4 Розрахунок річних амортизаційних відрахувань

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

$$V_a = K_{CAP} * N_A / 100, \quad (7.7)$$

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

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

7.2.5 Річні витрати на ремонт

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

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

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

7.2.6 Витрати електроенергії на живлення

Річні витрати на живлення САР визначаються так:

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

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 ($K_з = 0,8$);

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

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

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 персоналу $V_{\text{зп}}$	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:

$$E_{з.п.} = (p_1 - p_2) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot \left(1 + \frac{Д}{100}\right) \cdot V_2, \quad (7.11)$$

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;

V_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:

$$E_M = (H_1 \cdot Ц_1 - H_2 \cdot Ц_2) \cdot V_2, \quad (7.12)$$

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:

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

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

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

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

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

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

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

У випускній кваліфікаційній роботі магістра була проведена розробка математичної моделі об'єкта управління для рівномірного намотування листа в рулони моталкою прокатного стану. Для вдосконалення системи регулювання натягу була вибрана двохзонна система, яка дозволяє регулювати швидкість за допомогою регулювання потоку та струму якоря двигуна.

За допомогою пакета MATLAB у пакеті Simulink було проведено моделювання системи автоматичного управління з корекцією сигналу регулятора ЕРС. В результаті аналізу було виявлено, що скоригована система забезпечує менше перерегулювання і відповідає вихідним даним, задовольняючи вимоги щодо початкових параметрів. Час перехідного процесу також відповідає вихідним умовам.

Система мікропроцесорного управління для електроприводу моталки була реалізована на базі програмованої мікропроцесорної системи управління тиристорного перетворювача постійного струму серії SIMOREG 6RA70 фірми SIEMENS з використанням програмованого контролера загальної системи керування агрегату серії SIMATIC S7-300.

Також було розроблено програмне забезпечення для системи автоматизованого управління в програмному середовищі STEP7, що надає можливість швидко підлаштувати систему під умови виробництва та впроваджувати зміни в майбутньому. Панель оператора АСУ ТП спрощує процес експлуатації та дозволяє уникнути ручного втручання.

Надалі, у роботі були наведені рекомендації з охорони праці, що відповідають законодавству України, а також проведено техніко-економічні розрахунки, згідно з якими термін окупності проекту становить 1,2 року, свідчачи про його ліквідність та можливість повернення витрачених коштів.

ВИКОРИСТАНІ ДЖЕРЕЛА

1. Конституція України: Закон України від 26.06.1996 р. № 254к/96-ВР Редакція від: 01.01.2020. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/254%D0%BA/96-%D0%B2%D1%80#> (дата звернення: 13.11.2024)
2. Закон України «Про охорону праці» : Закон України № 2694-ХІІ від 14.10.1992 р. Редакція від 19.08.2022. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/Laws/main/2694-12> (дата звернення: 13.11.2024)
3. ГОСТ 12.0.003-74* Система стандартів безпеки труда. Опасные и вредные производственные факторы. Классификация. [Введ. 1976-01-01]. М. : Госстандарт СССР, 1974. 4 с.
4. Жидецький В. Ц. Основи охорони праці : підручник вид. 5-те, доп. Київ : 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> (дата звернення: 13.11.2024).
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. URL: <http://docs.pravo.ru/document/view/32704903/> (дата звернення: 20.11.2024)
7. ПУЕ-2021. Правила улаштування електроустановок. [На заміну ПУЕ-86; чинний з 2021-01-01]. Київ : 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]. Київ : 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 устро́йства електроустановок, затв. Міненерго СРСР 06.07.1984 р. ; чинний від 2002-01-01]. Київ : Мінпраці України, 2001. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0272203-01/card2#Card> (дата звернення: 13.11.2024).

10. НАПБ А.01.001-14. Правила пожежної безпеки в Україні. [На заміну НАПБ А.01.001-04 ; чинний від 2014-12-30]. Київ : 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]. Київ : 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]. Київ : 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]. Київ : Мінсоцполітики України, 2018. 6 с. URL: <http://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18> (дата звернення 22.01.2024 р.)

14. ДБН В.2.5-28-2018. Природне і штучне освітлення. [На заміну ДБН В.2.5-28-2006 ; чинний з 2019-03-01]. Київ : 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> (дата звернення: 13.11.2024).

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]. Київ : 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]. Київ : 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]. Київ : 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]. Київ : 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]. Київ : 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]. Київ : 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: 13.11.2024).

25. Вимоги до системи. URL: <https://mydocx.ru/2-120435.html> (дата звернення: 13.11.2024).

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. Москва: Металургія, 2007. 180 с.

30. Куваєв В.М., Розробка електрогідропривода укладальника моталки для процесу змотування сортового прокату / Куваєв В.М., Д.О. Бешта. *Гірнича 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. Розвиток наукових основ термомеханічної прокатки плоскої металопродукції з отриманням підвищеного рівня механічних властивостей, ПГТУ, Маріуполь. 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. Гриднева, 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 авто-тичних 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. Київ: 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. Київ : 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 «КП», 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 Київ : 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.