

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ

ННІ/факультет Навчально-науковий технологічний інститут
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації
Спеціальність 174 «Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та
робототехніка
Форма навчання Денна

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до випускної кваліфікаційної роботи

бакалавра

(освітньо-кваліфікаційний рівень)

Соломченко Артем Олександрович

(прізвище, ім'я, по батькові здобувача)

на тему: Автоматизована система керування електроприводом редукційного
стану

(повна назва теми)

за матеріалами ТПЦ №7 ТОВ ІНТЕРПАЙП НІКО Т'ЮБ

(повна назва бази дослідження)

науковий керівник доцент, к.т.н. Батарєєв В.В.
(наук. ступінь, вчене звання) (підпис) (прізвище, ініціали)

Робота допущена до захисту в ЕК

Протокол засідання кафедри

від _____ 202_ р. № _____

Завідувач кафедри

(підпис)

доцент, к.п.н.
Наук. ступень, вчене звання

Є.О. Модло
Ініціали, прізвище

ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ЕКОНОМІКИ І ТЕХНОЛОГІЙ
ТЕХНОЛОГІЧНИЙ НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ
Кафедра Електричної інженерії та автоматизації

Освітньо-кваліфікаційний рівень бакалавр

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

(шифр і назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

« _____ » _____ 2026 року

ЗАВДАННЯ

НА ВИПУСКНУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТКИ

Соломченко Артема Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема випускної кваліфікаційної роботи Автоматизована система керування електроприводом редукційного стану.

керівник випускної роботи Батарєєв Віктор Володимирович, доцент, к.т.н.

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

затверджені наказом вищого навчального закладу від «06» квітня 2026 року
№ 239-ст

2. Строк подання студентом випускної кваліфікаційної роботи 12.06.2026

3. Вихідні дані до випускної кваліфікаційної роботи: Привод 22-ох чорнових клітей редукційного стану диференційно-груповий. Валки клітей стану з диференційно-груповим приводом приводяться в обертання через диференціальний редуктор від двох двигунів постійного струму типу П-18-60, 1500кВт, 355/710 об/хв. Валки 2 чистових клітей приводяться в обертання від двигуна постійного струму типу ДП-72, 85кВт, 570/1100 об/хв. Живлення двигунів редукційного стану здійснюється від тиристорних перетворювачів із процесорним керуванням КТЕ 2500/750.

4. Зміст розрахунково-пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити) 4.1 Аналітична частина: технологічні особливості САР, огляд існуючих рішень, розробка основних вимог до системи. 4.2 Основна частина: розробити функціональну схему автоматизації; вибір технічних засобів автоматизації; розробити структурну схему системи електроприводу; обґрунтувати вибір обладнання; розробити алгоритм функціонування системи; розглянути заходи з охорони праці та пожежної безпеки; сформулювати висновки.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)
 ВРБ.174.239-ст.16.Е2 - Функціональна схема системи керування натягом
 редуційного стану; ВРБ.174.239-ст.16.Е1.1 - Алгоритми функціонування системи
 та опитування датчиків; ВРБ.174.239-ст.16.Е0 - Графіки зміни товщини стінки
 труби прокатої без та з додатковим натягом; ВРБ.174.239-ст.16. Е1.1 -
 Компоновка керованого обчислювального комплексу електрична структурна
 знакозмінного уніполярного регулятора

6. Консультанти розділів випускної кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Аналітична частина	Батарєєв В.В.	10.04.2026	10.04.2026
Основна частина	Батарєєв В.В.	10.04.2026	10.04.2026

7. Дата видачі завдання 10.04.2026

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів випускної роботи	Строк виконання етапів випускної роботи	Примітка
1.	Аналітична частина	01.05.2026	
2.	Основна частина	24.05.2026	
3.	Оформлення пояснювальної записки	29.05.2026	
4.	Виконання графічної частини	02.06.2026	
5.	Подання роботи до кафедри	13.06.2026	
6.	Захист роботи в ЕК	20.06.2026	

Студент

(підпис)

Соломченко А.О.,

(прізвище та ініціали)

Керівник випускної кваліфікаційної роботи

(підпис)

Батарєєв В.В.

(прізвище та ініціали)

№ ряд ка	Фор мат	Позначення			Назва	Кіл. листів	№ екз.	Прим.
1	A3	ВРБ.174.239-ст.16.Е2			Функціональна схема			
2					системи керування натягом			
3					редукційного стану	1		
4								
5	A3	ВРБ.174.239-ст.16.Е1.1			Алгоритми функціонування			
6					системи та опитування			
7					датчиків	1		
8								
9	A3	ВРБ.174.239-ст.16.Е0			Графіки зміни товщини			
10					стілки труби прокатаної			
11					без та з додатковим			
12					натягом	1		
13								
14	A3	ВРБ.174.239-ст.16. Е1.1			Компоновка керованого			
15					обчислювального			
16					комплексу	1		
17								
18	A4	ВРБ.174.239-ст.16.ПЗ			Пояснювальна записка	65		
19								
20								
21								
22								
23								
24								
25								
26								
					ВРБ.174.239-ст.16.ВР			
Зм.	Арк.	№ документа	Підпис	Дата	Автоматизована система керування електроприводом редукційного стану Відомість роботи	Літера	Аркуш	Аркушів
Розроб.		Соломченко А.О.					4	65
Пров.		Батарєєв В.В.				ННТІ ДУЕТ Каф.ЕІА гр. АВ-23ск		
Н.контр.		Батарєєв В.В.						
Затв.		Модло Є.О.						

РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до кваліфікаційної роботи бакалавра: 65 с., 14 рис., 4 табл., 11 джерел використаної літератури.

Об'єкт розробки – система автоматизованого керування електроприводом редукційного стану.

Мета роботи – підвищення ефективності експлуатації технологічного обладнання трубопрокатного виробництва, зменшення енергетичних витрат, забезпечення високої точності регулювання технологічних параметрів та підвищення надійності функціонування електроприводів.

Методи дослідження та апаратура – технологічні особливості САР, огляд існуючих рішень, розробка основних вимог до системи, розробка функціональної схеми автоматизації; вибір технічних засобів автоматизації; розробка структурної схеми системи електроприводу; обґрунтування вибору обладнання, розробка алгоритму функціонування системи.

Результати дослідження: розроблено функціональну схему системи автоматичного регулювання натягу редукційного стану ТПА 30-102 з метою рівномірного розподілу товщини стінки труб, алгоритм керування й обраний комплекс технічних засобів. Виконано розрахунок САК частотою обертання головного й чистового привода редукційного стану. Зазначена система побудована за принципом підпорядкованого регулювання параметрів.

Ключові слова: автоматизація, кліть, електропривод, датчик, регулятор, редукційний стан

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА.....	9
1.1 Загальні відомості про виробництво та опис технологічного процесу.....	9
1.2 Технологічні особливості САР.....	13
1.3 Огляд існуючих рішень.....	18
1.4 Розробка основних вимог до системи	21
2 ОСНОВНА ЧАСТИНА.....	23
2.1 Розробка функціональної схеми автоматизації.....	23
2.2 Вибір технічних засобів автоматизації	33
2.3 Розробка структурної схеми системи електроприводу.....	37
2.4 Вибір регуляторів для контурів, розрахунок їх параметрів у складі системи підпорядкованого регулювання координат електропривода.....	46
2.5 Розробка алгоритму функціонування системи.....	50
2.6 Аналіз умов праці в трубопрокатному цеху	54
2.7 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів	56
2.8 Пожежна профілактика	59
ВИСНОВКИ.....	61
ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ.....	64

ВСТУП

Металургійна галузь є однією з провідних складових промислового комплексу України та відіграє важливу роль у забезпеченні економічного розвитку держави. Сучасні умови функціонування металургійних підприємств характеризуються високим рівнем конкуренції, постійним зростанням вимог до якості продукції, необхідністю раціонального використання енергетичних ресурсів та впровадженням новітніх технологій виробництва. У зв'язку з цим особливої актуальності набуває модернізація існуючих виробничих потужностей та впровадження сучасних систем автоматизації технологічних процесів.

Одним із найважливіших напрямів розвитку промислових підприємств є вдосконалення систем електропривода та автоматизованого керування технологічним обладнанням. Сучасний електропривод являє собою складний комплекс електротехнічних, електронних та програмно-технічних засобів, призначених для забезпечення необхідних режимів роботи виробничих механізмів. Використання автоматизованих систем керування дозволяє підвищити продуктивність обладнання, забезпечити стабільність технологічних параметрів, зменшити витрати електричної енергії, підвищити надійність роботи агрегатів та покращити якість кінцевої продукції.

Особливе місце серед технологічного обладнання трубопрокатних виробництв займають редуційні стани, які призначені для зменшення діаметра труб та формування їх кінцевих геометричних параметрів. Від точності роботи редуційного стану залежить відповідність готової продукції встановленим стандартам якості, а також економічність виробничого процесу. Для забезпечення безперервної роботи стану необхідно підтримувати оптимальні режими функціонування всіх приводів клітей, здійснювати контроль швидкості обертання валків, координувати роботу окремих механізмів та своєчасно реагувати на зміну технологічних навантажень.

На сучасних металургійних підприємствах значна увага приділяється застосуванню частотно-регульованих електроприводів, програмованих логічних контролерів, промислових мереж передачі даних та систем диспетчерського контролю. Такі технічні рішення забезпечують високий рівень автоматизації виробничих процесів, дозволяють реалізовувати складні алгоритми керування та створюють умови для підвищення ефективності використання виробничих ресурсів. Впровадження сучасних засобів автоматизації є необхідною умовою підвищення конкурентоспроможності промислових підприємств та забезпечення їх стабільного розвитку.

Актуальність теми кваліфікаційної роботи обумовлена необхідністю підвищення ефективності експлуатації технологічного обладнання трубопрокатного виробництва, зменшення енергетичних витрат, забезпечення високої точності регулювання технологічних параметрів та підвищення надійності функціонування електроприводів. В умовах зростання вартості енергоресурсів та посилення вимог до якості продукції питання модернізації систем автоматизованого керування набувають особливо важливого значення.

Практичне значення роботи полягає в можливості використання отриманих результатів для вдосконалення систем автоматизованого керування електроприводами редукційних станів трубопрокатного виробництва. Реалізація запропонованих технічних заходів дозволить підвищити надійність роботи обладнання, покращити якість готової продукції, зменшити енергоспоживання та забезпечити більш ефективне використання виробничих ресурсів підприємства.

Таким чином, дослідження системи автоматизованого керування електроприводом редукційного стану є актуальним науково-технічним завданням, вирішення якого сприятиме підвищенню ефективності функціонування трубопрокатного виробництва та подальшому розвитку сучасних технологій автоматизації промислових процесів.

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1 Загальні відомості про виробництво та опис технологічного процесу

Об'єктом дослідження в даній кваліфікаційній роботі є система автоматизованого керування електроприводом редукційного стану, який фактично розташований у трубопрокатному цеху №7 ТОВ ІНТЕРПАЙП НІКО ТЮБ, м. Нікополь і безпосередньо входить до складу трубопрокатного агрегату 30-102 (ТПА 30-12)[1].

В даному цеху, питома вага виробництва вказаних труб складає близько 75% від загального об'єму річної продуктивності, рівного 200тис.тон, інші 25% складають вуглецеві і леговані гарячекатані труби, труби для шахтної стійки.

В даному цеху труби виготовляють з круглих катаних заготовок, які у вигляді штанг довжиною 6-8м кранами подаються на завантажувальний стелаж, звідки, після інспекції, по одній дозуються до пристрою для розподілу і попередньої нарізки за допомогою газових пальників.

Нарізані заготівки рольгангом подаються до пресу зусиллям 600 тон для холодної ломки на мірні довжини. Після чого ламана заготовка транспортується до кільцевих печей. Для відліку кількості і ваги заготовок, що подаються до печей, транспортний рольганг обладнаний спеціальним автоматичним пристроєм. Заготовки нагріваються в двох кільцевих печах, обладнаних завантажувальними і вивантажувальними машинами. Укладання заготовок на подину виконується в один, два і три ряди залежно від довжини і діаметру заготовок, а також режиму нагріву. Нагріті заготівки через певні проміжки часу відповідно до уставки регулятора темпу прокату, за заданою програмою вивантажуються з печі і поступають до вхідної сторони прошивного стану, заздалегідь пройшовши центровку.

Потім, за умови готовності механізмів вихідної сторони для прийому чергової гільзи, заготовка задається за допомогою штовхача у валки прошивного стану. Прошивна гільза приймається на стержень, який утримується по осі плющення за допомогою чотирьох роликів центровачів. Після закінчення прошивки гільза видаючими роликами знімається із стержня і подається в жолоб перед розкатним станом, де в неї вводиться оправка довжиною 10,5м. Потім за допомогою двох штовхачів гільза з оправкою задається в розкатний стан, де одночасно з розкочуванням обробляється зовнішня і внутрішня сторона труби. Після розкатного стану пристрій, обладнаний спеціальними захватами, забезпечує витягання оправки з труби, і остання транспортується до калібрувального стану, де їй надається зовнішній діаметр.

Витягнута оправка передається до ванни для охолодження і потім, пройшовши через промаслюючий пристрій, потрапляє в жолоб перед розкатним станом для повторного використання.

Труби після калібрувального стану подаються на охолоджувальні столи, де охолоджуються із заданою технологічною швидкістю.

Періодично відрізується проба, для чого за калібрувальним станом встановлена дискова пила. Після охолоджувальних столів труби для подальшої термічної обробки транспортуються до спеціальних роликів печей безперервної дії і через 4-8 годин видаються на наступний ряд охолоджувальних столів.

Після чого, залежно від призначення, труби поступають в правильне відділення або передаються до правильних машин. Труби, що не вимагають технологічної обробки, після калібрувального стану пройшовши чотири секції охолоджувальних столів видаються також до правильних машин. Виправлені труби перевіряються на твердість і передаються до станів для відрізки загорнених і роздавлених кінців. Труби, що не вимагають подальшої обробки, проходять інспекцію, зважуються, тавруються і передаються на стенд готової продукції. Інші, пройшовши попередню інспекцію,

передаються до станів для обробки (обточування зовнішньої поверхні і розрізання на задані довжини). Потім оглядаються, зважуються, тавруються, проходять промаслюючий пристрій і передаються на стенд готової продукції.

Редуціювання труб та їх калібрування є заключною операцією прокату, мета якої полягає у формуванні остаточних розмірів труб по діаметру і товщині стінки. На великих агрегатах ці операції виконуються в багатоклітьових безперервних станах, що здійснюють прокатку без оправки. Обтиск ведеться в системі овальних, чорнових і круглого чистового калібрів, утворених в кожній кліті двома або трьома валками. Калібри суміжних клітей розгорнені один відносно одного: двохвалкові - на 90° , трьохвалкові - на 60° . Ці стани залежно від призначення діляться на: калібрувальні, включаючи 3 - 12 клітей і виробляючі обтиск по діаметру до 30%, редуційні до 22 клітей, обтиск до 50%, редуційно-розтяжні - до 28 клітей, обтиск до 80% .

Товстостінні і особливотовстостінні труби проходять калібрування, обтиск, при якому температура тим менше, чим більше товщина стінки труб. Калібрувальні стани працюють без натягнення або з невеликим натягненням. Такий режим плющення приводить в процесі обтиску по діаметру до потовщення стінки труб.

Величина потовщення залежить від обтиску по діаметру і показника тонкостінності. Потовщення стінки при прокаті в кожному калібрі відбувається нерівномірно по периметру, найбільшу величину воно має у випусках калібру, найменшу – у вершині. Це пояснюється тим, що від валів найбільше натягнення виникає на ділянках периметра, що знаходиться в зазорах між валками. Після плющення в одному калібрі виникає поперечна різностінність з двома симетричними потовщеннями. Оскільки прокатка ведеться в не переривчастому стані, в якому ділянки периметра труби з випусків попереднього калібру потрапляють в подальші, то відбувається накладення різних потовщень і утворюється

граненність - симетрична різностінність з числом утовщень, рівної подвоєному числу валків в кліті.

Двохвалкові кліті допускають великі навантаження, тому використовуються за наявності в сортаменті товстостінних і високоміцних труб. Трьохвалкові кліті переважні при плющенні тонкостінних труб, оскільки в їх калібрах деформація більш рівномірна і точність плющення труб більш висока.

Зростання товщини стінки при калібруванні може грати позитивну або негативну роль. З одного боку такий процес раціональний для виробництва труб з невеликим внутрішнім каналом (малого зовнішнього діаметру і товстої стінкою), яку неможливо одержати на оправних станах через малі діаметри оправок і упорних стрижнів. З другого боку, при плющенні товстостінних труб цей процес вимагає, щоб чорнова труба була прокатана з товщиною стінки меншої, ніж готова ; в цьому випадку процес без натягнення не є цілком раціональним, у зв'язку з обмеженістю обжимань по величині діаметру. Проте, в цілому, установка редуційних станів ефективна, так як збільшує продуктивність агрегатів, продуктивність плющення на прошивному і розкатному станах.

Двохвалковий калібрувальний стан призначений для отримання остаточного зовнішнього діаметру труб і зменшення овальності.

Перед початком калібрування труб перевіряють настройку калібрувального стану. Калібруванню належать труби діаметром 6-12" (168 мм - 325 мм) з товщиною стінки до 24 мм. Калібрування труб роблять в 3 проходи з обов'язковою кантівкою перед кожним проходом на 90°. При настройці валків слідять, щоб не було перенесення валків в горизонтальній і вертикальній площинах, не допускаючи при цьому зрушення валків один до одного.

1.2 Технологічні особливості САР

У даній кваліфікаційній роботі мова йде про редукційний стан, що являє собою 24-х клетьовий стан у складі якого 22 чорнові й 2 чистові кліті[1].

Привод 22-ох чорнових клітей редукційного стану диференційно-груповий. Валки клітей стану з диференційно-груповим приводом приводяться в обертання через диференціальний редуктор від двох двигунів постійного струму типу П-18-60, 1500кВт, 355/710 об/хв. Валки 2 чистових клітей приводяться в обертання від двигуна постійного струму типу ДП-72, 85кВт, 570/1100 об/хв. Живлення двигунів редукційного стану здійснюється від тиристорних перетворювачів із процесорним керуванням КТЕ 2500/750. Регулювання швидкості здійснюється за допомогою зміни підведеної до якоря напруги (перша зона регулювання), і шляхом послаблення поля (друга зона).

Суть диференційно-групового привода полягає в тому, що обертання валків робочих клітей відбувається за рахунок підсумовування швидкостей, що передаються по двох ланках диференціалу двома незалежними трансмісіями, які у свою чергу приводяться в обертання двигунами. Кожна із цих трансмісій являє собою груповий нерегульований привод, але їхня спільна дія дає новий ефект – можливість плавного регулювання співвідношення швидкостей стану.

Жорсткий зв'язок між всіма диференціалами по обох лініях приводів визначає основний недолік такого типу привода – неможливість роздільного регулювання швидкостей по клітях, тому вони якоюсь мірою поступаються редукційним станам з індивідуальним приводом, які працюють на базі сучасних автоматизованих систем керування технологічними процесами (АСК ТП). Основні переваги диференційно-групового привода наступні: сталість у часі швидкісного настроювання стану, що особливо важливо при

роботі стану з високим натягом; твердість привода в перехідному процесі; простота керування; значно менша встановлена потужність двигунів.

На ТПА 30-120 було споконвічно освоєне виробництво труб діаметром від 42 мм. Прокатка труб меншого діаметра пов'язана з певними труднощами при редуціюванні, однак останнім часом був розроблений і впроваджений ряд нових технологій, які дозволили розширити діапазон діаметрів труб, що прокочуються, від 32,0 до 114,3 мм. способом гарячої прокатки. В 2002 році було освоєне виробництво даним способом труб діаметром 28 мм.

На редуційному стані ТПА 30-102 використовують трьохвалкові кліті. У практиці їх називають клітями із трьома вступними валками.

Конструктивною особливістю робочої лінії цього редуційного стану є так звана скобна конструкція постаменту. Скоба являє собою литу раму, на якій встановлені всі редуктори приводу робочих валків клітей і самі робочі кліті, валки яких з'єднуються з редукторами валами із зубчастими муфтами. Встановлені гідравлічні пристрої призначені для від'єднання робочих валків від приводних валів при перевалках. Особливістю цього стану є також застосування в чистових клітях регулювання робочих валків. Тут три валки, як і в чорновій кліті, є приводними.

До тяжких умов роботи відносять практично всі випадки штучної прокатки труб, коли при прокатці кожної труби виникають так звані пікові навантаження, у кілька разів перевищуючі навантаження в сталому режимі роботи (див. рисунок 1.1). Видалення конічних зубчастих зачеплень від валків дозволяє підсилити зачеплення й підшипникові вузли робочих валків.

Калібрування валків полягає у розрахунку режиму обтиснень по клітях, вибір калібрів і визначення параметрів швидкісного режиму.

Розміри калібрів визначаються на підставі прийнятого режиму деформації труби по клітях. Гранична величина відносного обтиснення по діаметру в кліті обмежується факторами, які впливають на якість готових труб: стійкістю труби в калібрі, переповненням калібру й утворенням внутрішніх граней.

У зв'язку із цим у перших трьох клітях обтиснення приймаються поступово зростаючими, а в останніх - знижуються до нуля. При редукованні труб з відношенням діаметра до товщини стінки $d/S=7,0$ обтиснення в середніх клітях приймають рівними 6-9%.

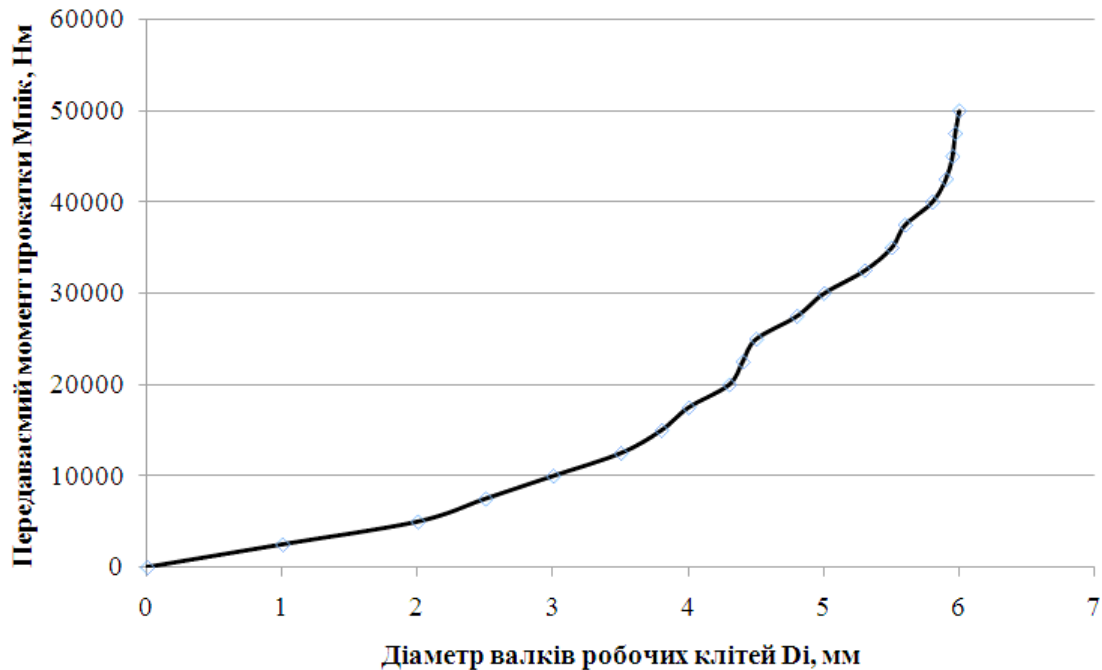


Рис.1.1. Залежність передаваного моменту прокатки M_{pi} від діаметру валків трьохвалкових робочих клітей $D_i(1 \cdot 100)$

Ступінь деформації металу при прокатці в калібрі i -ої кліті характеризується:

- відносним обтисненням:

$$\varepsilon_i = \frac{\Delta \delta_i}{\delta_{i-1}}, \quad (1.1)$$

де $\Delta \delta_i = \delta_{i-2} - \delta_i$ – абсолютне обтиснення, мм.;

δ_{i-2} – товщина стінки труби у вершині калібру до прокатки, мм.;

δ_i – товщина стінки труби у вершині калібру після прокатки, мм.

- сумарним коефіцієнтом витяжки:

$$\lambda_i = \text{EXP}[\varepsilon_{\text{BI}} \cdot (1 - \beta_i) - \varepsilon_{\text{MI}}], \quad (1.2)$$

де ε_{BI} – відносне обтиснення по середньому діаметру у валках, мм²;

ε_{MI} – пластична деформація труби по діаметру між клітьми, мм²;

β_i – показник зміни товщини стінки труби в клітьми, мм;

i – індекс, що вказує на порядковий номер кліті.

Якість редукційованих труб при однакових обтисненнях у передчистових клітьми залежить від розподілу обтиснень у середній групі клітьми. Калібрування з поступовим зниженням обтиснень у середній групі клітьми у порівнянні з калібруваннями з постійними частотними деформаціями дозволяє поліпшити якість труб по зовнішній поверхні й поперечній різностінності, знизити навантаження в останніх клітьми стану й збільшити стійкість калібру.

Вертикальна складова тиску металу на валки P_v визначається по наступній формулі:

$$P_v = P \cdot F_r = p \cdot d \cdot l \cdot \sin \frac{\pi}{\alpha}, \quad (1.3)$$

де P – питомий тиск при редукціонуванні, кг/мм;

l – довжина труби, мм.

Горизонтальна складова P_r дорівнює різниці зусиль передньої й задньої напруг:

$$P_r = T_{\text{II}} - T_{\text{III}} = \sigma_{\text{fi}} \cdot F_i \cdot X_i - \sigma_{\text{fi}} - 1 \cdot F_i \cdot X_i - 1. \quad (1.4)$$

Тиск металу на валок є геометричною сумою вертикальної й горизонтальної складових:

$$P = \sqrt{P_{\Gamma}^2 + P_{\text{В}}^2}. \quad (1.5)$$

Максимальний тиск металу на валок, що виникає при прокатці переднього й заднього кінців труб внаслідок дії однобічного натягу й стовщення стінки, визначається по формулі 1.3.

При розрахунку пікових тисків варто враховувати розходження в температурі середини й кінців труб, що може становити 100-1500С.

При захвату труби тиск досягає максимальної величини. По мірі просування труби тиск зменшується, досягаючи сталого значення, коли передній кінець труби заповнить три-чотири наступні кліті. Різке збільшення тиску в перехідних режимах у порівнянні зі сталим значенням пояснюється кінцевим стовщенням стінки. Чим більше натяг у стані, тим значніше різниця між піковим і сталим тиском. При редуціюванні з найбільшим зтоншенням стінки розходження в тисках незначне.

Крутний момент на валу двигуна, необхідний для обертання валків і процесу прокатки (див. рисунок 1.2), дорівнює:

$$M_{\text{дві}} = \frac{M_{\text{прі}}}{j \cdot \eta} + M_{\text{хх}}, \quad (1.6)$$

де $M_{\text{прі}}$ – повний момент прокатки, т.м.,

j – передаточне число механічної передачі між валками й двигуном;

$M_{\text{хх}}$ – момент холостого ходу.

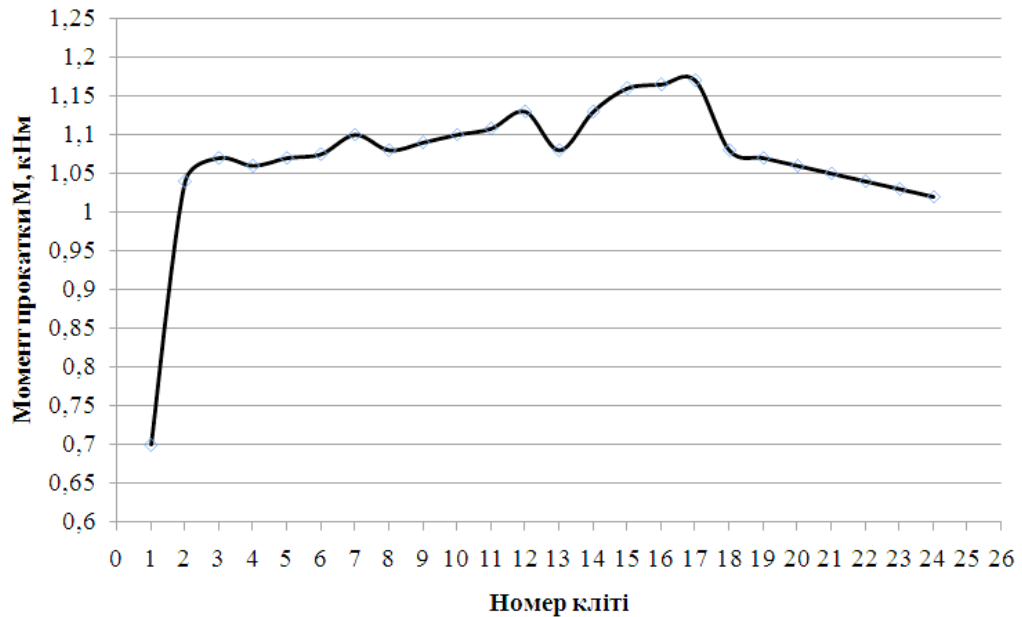


Рис. 1.2. Зміна моментів прокатки M ($1 \cdot 100$) по клітям редукційного стану (труба $2,9 \cdot 37,5$ мм. з заготівки $108 \cdot 4,0$ мм., сталь 20 при початковій температурі 1000°C)

1.3 Огляд існуючих рішень

Проектована система призначена для здійснення двухетапного збільшення частот обертання валів електродвигунів допоміжного й чистового приводів редукційного стану з наступною зміною й корекцією частот обертання при зміні параметрів прокатки.

Метою створення системи є одержання готового покату високої якості із заданими геометричними розмірами (рівномірно розподіленої товщина стінки по всій довжині труби) і відповідно зменшення браку випускаємої продукції. Це досягається за рахунок застосування автоматичної системи керування додатковим натягом редукційного стану.

Основними показниками надійності системи є ймовірність безвідмовної роботи протягом 2000 не нижче 0,95.

По стійкості до впливу температури система ставиться до групи В4, що характеризується наступними параметрами: діапазон температур від 0 до $+400^{\circ}\text{C}$; припустима вологість 95%.

По стійкості до впливу атмосферного тиску система ставиться до групи Р1, так як задовольняє наступним параметрам: діапазон тиску - 84-106,7 кпа; місце установки - до 1000 м над рівнем моря.

По стійкості до вібрацій система автоматизації ставиться до групи L3, що характеризується наступними показниками: діапазон частот - 5-25 Гц; амплітуда зсуву - 0,1 мм.

Для визначення основних напрямків покращення функціонування автоматичної системи керування швидкістю головного електроприводу редукційного стану ТПА 30-102, розглянемо технологію виробництва продукції та вимоги, що висуваються до об'єкту модернізації.

На трубопрокатному агрегаті ТПА 30-102 у цеху №7 виготовляють труби гарячекатані безшовні діаметром від 32 до 114,3 мм.

Технологічний процес відбувається у наступній послідовності (див. рисунок 1.3).

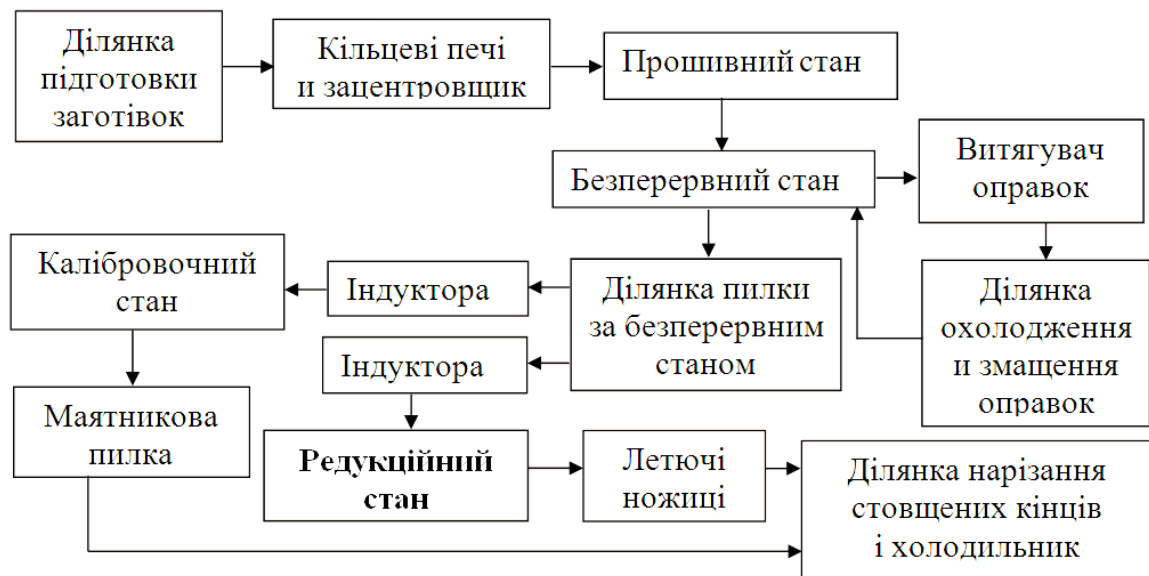


Рис.1.3. Схема технологічного процесу виробництва труб на ТПА 30-102

Здійснюється процес доставки заготовки в цех. Якщо температура заготовки низька, то її занурюють у ванну з гарячою водою, а потім вона подається на преси мостовим краном, там вона ламається на частині. Після пресів заготовка рольгангом подається в кільцеву піч завантажувальною

машиною, керування якою може здійснюватися автоматично або з пульта оператором. Після нагрівання до 800-11500С заготівка розвантажувальною машиною подається на рольганг наприкінці, якого вона центрується. Далі заготівка подається до прошивного стану, де вона накручується на оправлення. Далі гільза, заготівка на оправленні, іде до безперервного стана, на якому формується товщина стінки. Потім гільза подається на рольганг, і на оправкознімаючу машину. Далі оправка йде на ділянку циркуляції оправлень, а труби по рольгангу йдуть на пилку, яка обрізає кінці труби. Після пилки труба йде на калібровочний або редукційний стани. Перед станами труба підігрівается індукторами до температури 800-12000С. Калібровочний стан розгортає трубу до 70-114мм. Після стану труба нарізається на частини по 30м. летючими ножицями. Сировина для виробництва горячекатаних труб у вигляді круглих штанг надходить із металургійних комбінатів.

Редуціювання здійснюється в 24-х кліт'євому редукційному або 12-ти кліт'євому калібровочному станах - залежно від розмірів труб.

На редукційному стані прокочують труби діаметром від 32 до 76 мм., на калібровочному - від 73 до 108 мм. Кожна кліть обох станів має три валки, розташованих під кутом 120 градусів по відношенню один до одного.

У результаті застосування редукційно-розтяжних станів збільшується продуктивність агрегату ТПА 30-102 й розширюється сортамент труб, що випускаються; забезпечується одержання широкого діапазону труб по діаметру і товщині стінки з однієї заготівки; досягається значне сумарне обтиснення труби по діаметру (до 85%) і зменшення товщини стінки (до 35%); підвищується якість труб[2, 7].

Сучасні трубопрокатні установки оснащуються багатоклітьовими безперервними редукційними станами із кількістю клітей до 26 шт.

1.4 Розробка основних вимог до системи

Проектна схема автоматизації редукційного стану в першу чергу буде призначена для реалізації додаткового натягу в електроприводній системі. Також приділено увагу системі якості продукції в тому числі. Далі питання додаткового натягу розглянуті в другій частині кваліфікаційної роботи в тому числі з реалізацією відповідного алгоритму функціонування системи.

Основними вимогами до системи електроприводу редукційного стану є: плавний розгін всіх двигунів вхолосту на протязі 2с.; для двигунів головних, допоміжних і чистових приводів підтримка заданої швидкості обертання двигунів з точністю 3% при номінальній швидкості (зазначена точність задана з умови одержання необхідного допуску по товщині стінки труби при прокатці з натягом); забезпечення регулювання швидкості двигуна головного привода стану в діапазоні 1:2 вгору від номінальної за рахунок потоку двигуна й у діапазоні 1:1.25 униз від номінальної за рахунок зниження напруги двигуна; забезпечення регулювання швидкості двигуна допоміжного привода стану в діапазоні 1:2 вгору від номінальної за рахунок потоку двигуна й у діапазоні 1:5 униз від номінальної за рахунок зниження напруги двигуна; забезпечення регулювання швидкості двигуна чистової кліті стану в діапазоні 1:4.5, причому угору від основної в діапазоні 1:1.7 забезпечується підвищенням напруги двигуна[3, 7].

У вітчизняній практиці головним критерієм якості продукції є не самі техніко-економічні параметри продукції, що відбивають її якість, а переваги реального споживача, засновані на цінності для нього цієї продукції.

Процес керування якістю включає основні напрямки діяльності в області якості й здійснюється шляхом реалізації управлінських функцій. До складу функцій входить: планування, організація, мотивація й контроль забезпечення якості продукції, виробничих (технологічних) процесів і роботи підприємства в цілому.

У цей час існують два види міжнародних стандартів в області якості: стандарти на продукцію (специфікація продукції, специфікація виробництв, показники якості, засоби й методи контролю й т.д.) і стандарти забезпечення якості, пов'язані з постачальником.

Першим міжнародним стандартом був стандарт ISA (International Association of Standardization), випущений в 1929р. В 1946р. створена Міжнародна організація ISO (The International Organization for Standardization). В 1987р. цією організацією розроблене сімейство стандартів ISO 9000.

Координацію робіт із сертифікації систем якості підприємств (фірм) здійснює Міжнародна організація по стандартизації (ISO), що розробила стандарти сімейства ISO 9000 і здійснює їхній розвиток.

На підприємстві ТОВ ІНТЕРПАЙП НІКО Т'ЮБ діюча системи якості охоплює всі етапи виробництва продукції. Впровадження її сприяло підвищенню відповідальності керівників всіх рівнів, зміцненню виконавської дисципліни кожного працівника, поліпшенню контролю за якістю виготовленої продукції.

2 ОСНОВНА ЧАСТИНА

2.1 Розробка функціональної схеми автоматизації

Система автоматичного регулювання швидкісним режимом головного і чистових приводів редукційного стану ТПА 30-102 призначена для реалізації додаткового натягу.

Необхідність реалізації цього режиму обумовлена специфічною особливістю процесу редукціонування труб з однобічним натягом – утворення стовщених кінців (див. рисунок 2.1)[1].

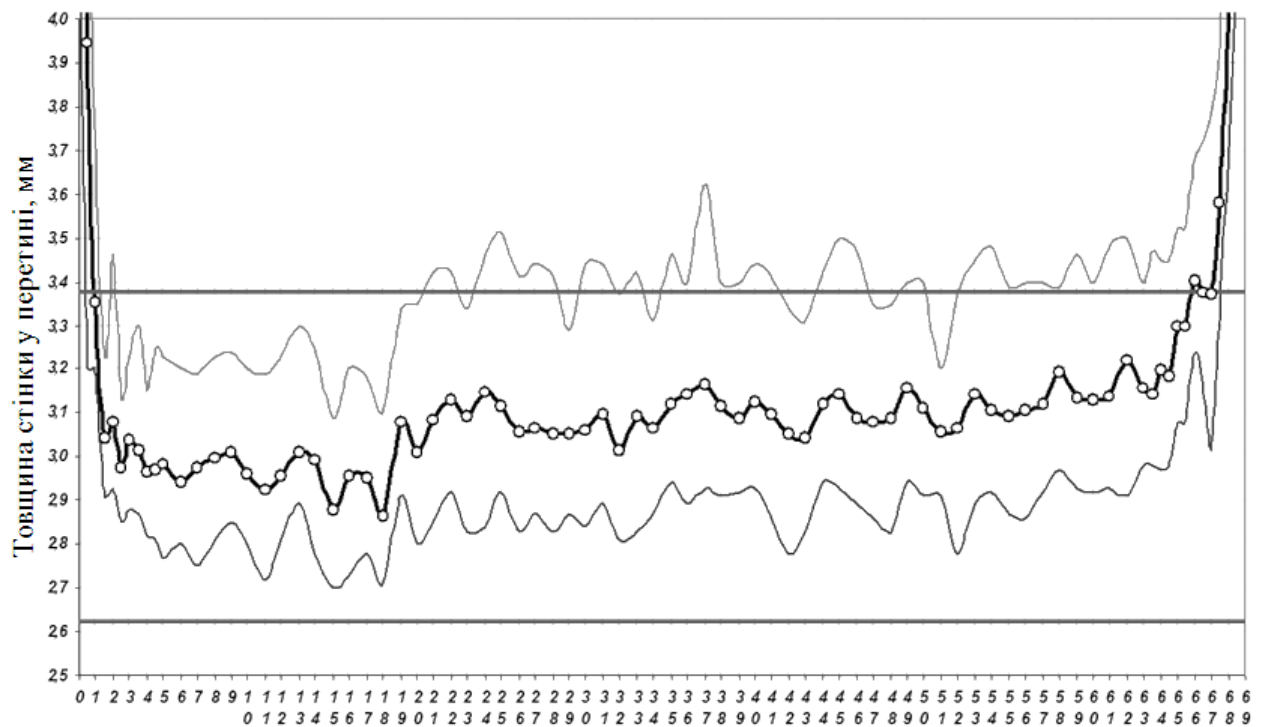


Рис. 2.1. Графік зміни товщини стінки по довжині труби 45·3,0

Стовщення стінки труб при штучному редукціонуванні відбувається за рахунок зміни натягу в трубі при проходженні переднього й заднього кінців через стан у порівнянні зі сталим режимом.

Так, при проходженні переднім кінцем труби межклетьового проміжку має місце тільки задній натяг, і товщина стінки на цій ділянці труби одержує максимальне стовщення. По мірі надходження переднього кінця труби в

наступні кліті, передній і задній натяг у розглянутій кліті зростає до значення, що відповідає сталому режиму редукціонування, коли труба перебуває одночасно у всіх клітях стану. Експериментально встановлено, що сталий режим у даній кліті настає, коли труба заповнить 3-5 наступних клітей. Аналогічна картина має місце при проходженні заднього кінця труби через стан.

Ручне керування не дозволяє зменшити довжину кінців, що обрізаються, отже, є необхідність у реалізації автоматичної системи керування, ефективність якої визначається значним зменшенням кінців, що обрізаються, і це дозволяє зменшити видатковий коефіцієнт металу й, відповідно, підвищити продуктивність стану.

Для одержання готової труби із заданими геометричними розмірами на редукційному стані (див. рисунок 2.2), необхідно щоб швидкісний режим прокатки був погодженим, тобто виконувалися умови сталості секундних обсягів металу, що проходить через всі кліті редукційного стану [1]. Для цього потрібно, щоб у процесі прокатки виконувалися певні співвідношення частот обертання клітей. Однак труба, що прокочується приносить із собою збурення (зміна температури й перетину по довжині смуги), у силу чого виникає необхідність корекції уставок частот обертання приводів. Тому не випадково на трубопрокатних станах засобам виміру й керування міжклетьового зусилля приділяють важливу увагу.

На редукційних станах у процесі редукціонування відбувається зміна товщини стінки труби: стовщення при відсутності або наявності малого натягу й зтоншення в умовах прокатки зі значним натягом.

При одночасній прокатці в клітях двох груп зі збільшенням швидкості валків другої групи виникає натяг, що призводить до зменшення моменту двигуна першої групи:

$$M_1 = M_{01} - T \cdot D_{1/2}, \quad (2.1)$$

і збільшенню моменту двигуна другої групи:

$$M_2 = M_{02} - T \cdot D_{2/2}, \quad (2.2)$$

де M_{01} , M_{02} – моменти двигунів груп без врахування натягу, Нм;

T – величина натягу;

D_1 , D_2 – діаметри робочих валків, мм.

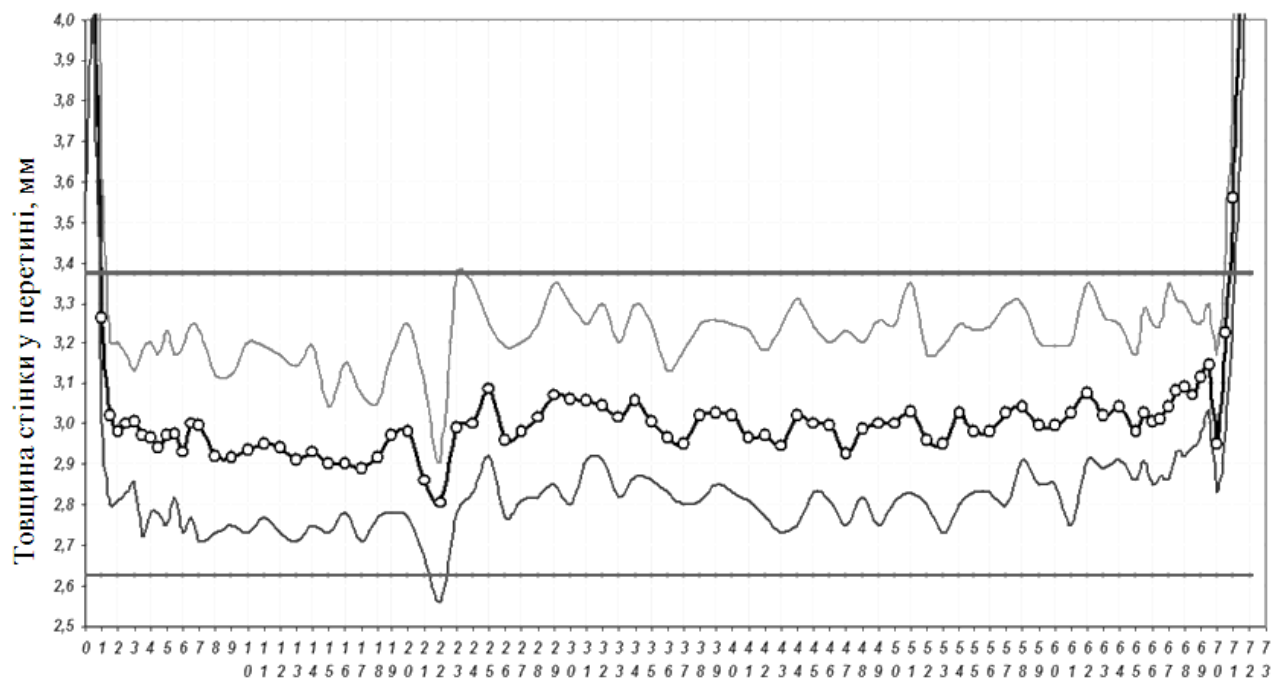


Рис. 2.2. Графік зміни товщини стінки по довжині труби 45·3,0, яка прокатана з додатковим натягом

Така зміна навантажень при м'яких механічних характеристиках двигунів викличе збільшення швидкості двигуна першої групи, що приведе до обмеження росту натягу металу.

Ця обставина є позитивним з погляду підтримки сталості натягу. Тому при прокатці з натягом бажане застосування двигунів з м'якими характеристиками. Однак дуже більша м'якість характеристики недоцільна за характером перехідних процесів, що викликані ударними навантаженнями.

На безперервну прокатку впливають пружні деформації валків і станини. Зі зменшенням моменту навантаження двигуна першої групи пружна деформація зменшується, у результаті чого обтиснення в першій кліті збільшується, а перетин металу зменшується. Тому що в цьому випадку одночасно збільшується швидкість його виходу, те секундний обсяг металу, що виходить із першої кліті, може збільшитися, залишитися без зміни або зменшитися.

Таким чином, випередження металу, м'якість механічних характеристик двигуна й пружна деформація валків, станини є важливими факторами самовирівнювання процесу прокатки з натягом. Таке самовирівнювання звичайно не забезпечує повністю вимог безперервної прокатки, тому в системах керування редуційного стану необхідно передбачати застосування автоматичних систем керування додатковим натягом. Швидкісний режим прокатки значною мірою, як і калібрування валків, впливає на точність геометричних розмірів труб, у зв'язку із цим автоматична система керування швидкісним режимом прокатки відіграє важливу роль у виробництві якісних труб.

Метою кваліфікаційної роботи є розробка системи керування додатковим натягом при прокатці, яка б урахувала умови прокату, тобто визначала оптимальний швидкісний режим, що спрямований на вирівнювання товщини стінки труби, і підтримувала його в заданих параметрах.

Беручи до уваги те, що дана система розраховується для редуційного стану з диференційно-груповим приводом, частота обертання валків у кожній кліті визначається як сума частот обертання головного й допоміжного електродвигунів:

$$n_i = \frac{N_{\text{гол}}}{i_i^{\text{гол}}} + \frac{N_{\text{доп}}}{i_i^{\text{доп}}}, \quad (2.3)$$

$$n_i = n_i^{\text{гол}} + n_i^{\text{доп}}, \quad (2.4)$$

де $N_{\text{гол}}, N_{\text{доп}}$ – частота обертання головного й допоміжного електродвигунів, об/хв;

$i_i^{\text{гол}}, i_i^{\text{доп}}$ – передаточне число від головного й допоміжного електродвигунів редуційного стану до валів i -тої кліті по головній і допоміжній трансмісії;

$n_i^{\text{гол}}, n_i^{\text{доп}}$ – частота обертання валів i -тої кліті по головній і допоміжній трансмісії, об/хв.

Частоту обертання валу головного й допоміжного електродвигунів у станах з диференційно-груповим приводом можна визначити по формулах:

$$N_{\text{гол}} = n_1^{\text{гол}} \cdot i_1^{\text{гол}} \cdot \frac{I_B - k_n}{I_B - I_{\Gamma}}, \quad (2.5)$$

$$N_{\text{доп}} = n_1^{\text{доп}} \cdot i_1^{\text{доп}} \cdot \frac{k_n - I_{\Gamma}}{I_B - I_{\Gamma}}, \quad (2.6)$$

де $i_1^{\text{гол}}, i_1^{\text{доп}}$ – передаточне число відповідно від головного й допоміжного електродвигунів до валів першої кліті;

$n_1^{\text{гол}}, n_1^{\text{доп}}$ – частота обертання валів першої кліті по головній і допоміжній трансмісії, об/хв;

I_B, I_{Γ} – відношення передаточних чисел від двигунів до валів першої кліті, до передаточних чисел останньої робочої кліті, відповідно в лінії головного й допоміжного приводів.

$$I_{\Gamma} = \frac{i_1^{\text{гол}}}{i_n^{\text{гол}}}, \quad (2.7)$$

$$I_B = \frac{i_1^{\text{доп}}}{i_n^{\text{доп}}}, \quad (2.8)$$

де k_n – коефіцієнт частоти обертання валків, що враховує деформаційні умови прокатки, через діаметри що катають і коефіцієнт витяжки стана

$$k_n = \frac{D_{k1} \cdot \mu_\Sigma}{D_{kn} \cdot \mu_1}. \quad (2.9)$$

Як видно з наведених залежностей, на стані з диференційно-груповим приводом при зміні частоти обертання валу допоміжного привода змінюються пропорційно передаточним числом частота обертання валків кожної кліті, що призводить до зміни натягу труби між клітями. Отже з'являється можливість регулювати стінку труби в припустимих межах.

У виді того, що редуційний стан ТПА 30-102 має власні технологічні особливості, то наведені вище формули для визначення частоти обертання валу головного й допоміжного приводів, мають деякі відмінності. Так додавання частоти обертання валу головного й допоміжного приводів у диференційно-груповому редукторі починається тільки із четвертої кліті. Отже частота обертання валків першої кліті залежить тільки від частоти обертання валків головного привода.

Система керування швидкісним режимом умовно реалізує два алгоритми: інформаційний і керуючий. Керуючий є основним, інформаційний – додатковим. Робота системи по керуючому алгоритмі обирається оператором вручну, набором відповідної команди. Інформаційний режим застосовується на всьому сортаменті прокатної продукції й забезпечує видачу інформації про роботу устаткування стану, про хід прокатки, технологічних параметрах прокатки, а також, про аварійні ситуації. Керуючий режим застосовується тільки при прокатці труб з натягом і передбачає вироблення і реалізацію керуючих впливів при прокатці задніх кінців труб [4, 8]. У вихідному положенні системи автоматично обирається інформаційний алгоритм. Відпрацьовування алгоритму починається після введення оператором у систему вихідних даних.

У групі клітей від 4-ої по 22-гу, що відповідають допоміжному приводу, частота обертання двигуна підвищується до значення відповідному першому етапу підвищення швидкості (18% – 65об/хв). Це відбувається в момент часу, що відповідає початку режиму додаткового натягу. Початком цього режиму є момент проходження труби через датчик температури, що розташований на вході в стан на відстані 2 метрів, і відпрацьовування тимчасового інтервалу, відповідаючому заповненню стану трубою аж до чистових клітей.

Перший етап підвищення швидкості допоміжного привода триває до тих пір, коли задній кінець труби не вийде з поля зору датчика температури й не відрахується певний інтервал часу. Після закінчення першого етапу відбувається чергове підвищення швидкості (20% – 75об/хв), що відповідає другому етапу, і відлік певного інтервалу часу після закінчення якого швидкість двигуна зменшується й відповідає номінальному значенню. У такий спосіб загальне збільшення швидкості склало – 40%.

Двохетапна зміна швидкості відбувається також із двигуном чистової 23-ої і 24-ої клітей. Перший етап відповідає збільшенню швидкості на (8% – 60об/хв), а другий етап відповідає збільшенню швидкості на (13% – 100об/хв). Загальне збільшення швидкості дорівнює – 23%.

Кліті з 1-ої по 3-ю, що відповідають головному приводу, у режимі натягу не беруть участі. Це мотивується тим, що сигнал зворотного зв'язку по швидкості двигуна головного привода задіяний у систему вирівнювання температури труби з метою забезпечення лінійної швидкості переміщення труби через нагрівальні індуктора, рівної швидкості захвату труби першими клітями редуційного стану.

За номінальне значення частоти обертання двигуна кожної кліті приймається значення частоти обертання холостого ходу, що вимірюється при включенні системи й при відсутності труби на стані більше 5с.

Розробка системи регулювання швидкісного режиму включає в себе такі стадії й етапи: розробка інформаційного забезпечення; розробка

алгоритмічного й програмного забезпечення; вибір комплексу технічних засобів; розробка при необхідності нестандартного технічного устаткування.

Розробка інформаційного забезпечення складається з визначення вхідних і вихідних сигналів у системі, періодичність введення й виводу інформації, створення різних мнемосхем і звітних документів, що полегшують роботу системи. У таблицях 2.1-2.3 наведено перелік вхідних сигналів від датчиків струму якоря й частоти обертання двигунів, наявності прокату в стані й перелік вихідних сигналів.

Таблиця 2.1

Перелік вхідних безперервних сигналів

Найменування	Діапазон виміру	Форма подання	Період відновлення	Джерело надходження
Частота обертання двигунів гол., доп. і чист. приводів	0-1500 об/хв	U=0 - 10 В	0,5с	Тахогенератор BR1 - BR3
Струм якоря двигунів гол., доп. і чист. приводів	0 - 1 ка	U=10 - 100mВ	0,5с	Датчика струму DT1 – DT3

Таблиця 2.2

Перелік вхідних двопозиційних сигналів

Найменування	Періодичність надходження	Джерело надходження
Наявність прокату	Не частіше одного разу в 5с	Датчик наявності прокату D1
Перезапуск системи	Не частіше одного разу в хв.	Кнопка «Restart»

Перелік вихідних дискретних сигналів

Найменування	Розрядність	Одержувач
Завдання на корекцію частоти обертання двигунів гл., всп. і чист. приводів	12 біт	САРШ двигунів доп. і чист. приводів
Індикація уставки й фактичної частоти обертання двигунів гол., доп. і чист. приводів	Відео кадр	Монітор на пульту оператора

Ці сигнали необхідні для регулювання натягу прокату й розрахунків керуючих впливів. Вихідні сигнали подаються коло завдання системи автоматичного регулювання швидкості (САРШ) електроприводу валків допоміжної й чистової групи клітей.

Відповідно до переліку вхідних і вихідних сигналів, алгоритмом роботи системи побудуємо функціональну схему системи керування натягом редукційного стану (див. рисунок 2.3). Перелік елементів функціональної схеми наведений у таблиці 2.4.

Таблиця 2.4

Перелік елементів функціональної схеми

№ п/п	Позиційне позначення	Кіл-сть	Найменування	Прим.
1	1, 2, 3	3	Двигун постійного струму незалежного збудження	—
2	4, 5, 6	3	Датчик струму кола якоря	—
3	7, 8, 9	3	Тахогенератор	—
4	10, 11, 12	3	Регулятор струму	—
5	13, 14, 15	3	Регулятор швидкості	—
6	16, 17, 18	3	Тиристорний перетворювач	—
7	19	1	Датчик наявності прокату	—
8	20	1	Регулятор натягу	—

2.2 Вибір технічних засобів автоматизації

Вибір технічних засобів фірми SIEMENS пов'язаний в першу чергу з вже встановленим обладнанням цієї фірми у даному прокатному цеху. Встановлення технічних засобів одного виробника, як відомо, полегшує систему зв'язку між обладнанням, що є дуже важливим етапом при створенні САК наприклад – групою зв'язаних прокатних станів. Для керування технологічним процесом використовуються компоненти системи SIMATIC фірми SIEMENS (див. рисунок 2.3). Це промисловий комп'ютер стійкового виконання SIMATIC RACKPC840V2 і модульна станція розподіленого вводу-виводу SIMATIC ET200S.

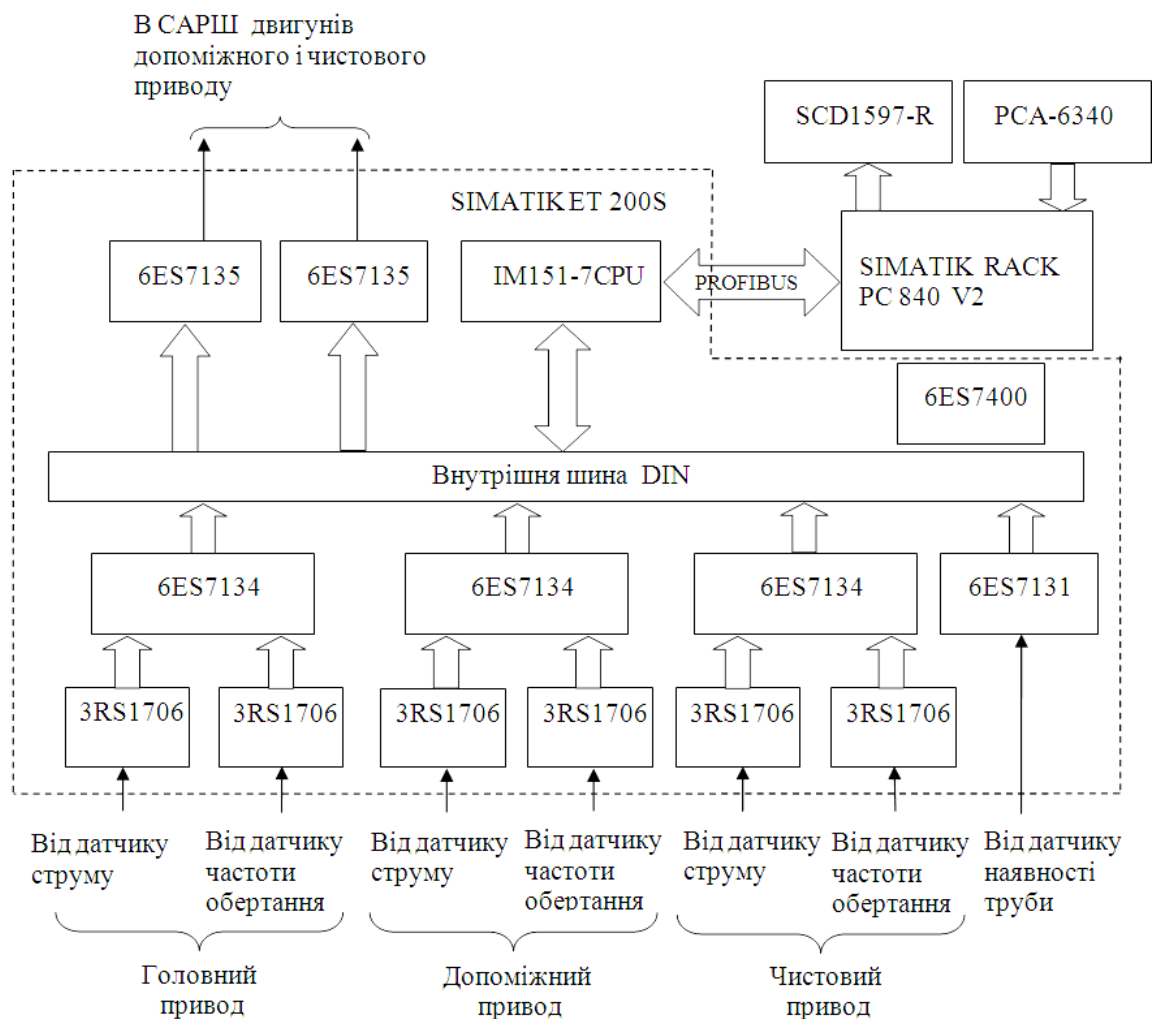


Рис. 2.4. Компонівка керованого обчислювального пристрою (КОП)

Для організації швидкісного (до 12 Мбіт/с) циклічного обміну даними між промисловим комп'ютером і станцією розподіленого вводу-виводу використовується промислова мережа польового рівня PROFIBUS, що відповідає вимогам європейських норм і міжнародного стандарту.

Основними перевагами мережі PROFIBUS є: високий ступінь готовності мережі; високий ступінь захисту передачі даних; стандартна структура повідомлень; можливість вільного підключення й відключення вузлів під час роботи мережі.

Промисловий комп'ютер застосовується для вирішення складних задач контролю й керування з високими вимогами до продуктивності комп'ютеру у жорстких промислових умовах. Він є основою для систем візуалізації й керування технологічним процесом.

SIMATIC RACKPC840V2 повністю відповідає спеціальним вимогам промислового застосування: висока електромагнітна сумісність; висока стійкість до ударів і струсів; відповідність національним і міжнародним стандартам (ДЕРЖСТАНДАРТ, DIN, UL, ISO 9001); PC 99 сумісність і оптимізація для Microsoft додатків.

До складу SIMATIC RACKPC840V2 входять:

- процесор PENTIUM-4 2.4 ГГц, у якому здійснюються всі обчислення, також він є джерелом всіх керуючих команд;
- оперативна пам'ять, у якій утримується програма, за якою виконуються технологічні операції на об'єкті керування;
- графічна карта 16МБ убудована в материнську плату AGP;
- жорсткий диск 80 Гбайт UDMA EIDE;
- CD-ROM RW;
- дисковод для флоппи дисків 1.44 Мбайт;
- вільні слоти розширення PCI/ISA;
- PROFIBUS-DP зі швидкістю 12 Мбіт/с;
- інтерфейси USB, COM1, COM2, VGA, паралельний LPT1;
- клавіатура PCA6304;

- монітор SCD 1597-R.
- джерело живлення 120/240V AC.

Модульна станція розподіленого вводу-виводу SIMATIC ET 200S служить для вирішення широкого кола задач автоматичного керування. При цьому кількість каналів вводу-виводу обирається в точній відповідності з вимогам поставленого завдання. Заміна модулів може здійснюватися без зупинки станцій.

Відповідно до типів і кількості електричних сигналів задіяних у досліджувальній АСР натягом редукційного стану, для комплектації станції розподіленого вводу-виводу обрані наступні модулі:

1. Модуль 6ES7134

Модуль аналогового вводу на 2 канали з убудованим аналого-цифровим перетворювачем (АЦП):

- гальванічний поділ між входом і внутрішньою шиною станції, між входами й колом живлення, між різними каналами;
- споживана потужність 0,6 Вт;
- іспитова напруга ізоляції 1000В;
- час інтегрування на 1 канал АЦП 16,67/20 мс;
- частота придушення перешкод АЦП 60/50 Гц.

Даний модуль необхідний для введення сигналів від датчиків струму й швидкості двигунів.

2. Модуль 3RS1706

Індивідуальні усьогодуючі перетворювачі:

- 1 аналоговий вхід;
- гальванічна ізоляція понад 1500В постійного струму;
- світлові індикатори стану реле;
- рознімні клемні з'єднувачі.

Модуль забезпечує гальванічну розв'язку вхідного електричного кола одного параметра з вихідним колом також одного параметра.

3. Модуль 6ES7131

Модуль ізольованого цифрового вводу на 2 канали:

- 2 оптоізольованих цифрових входи;
- гальванічна розв'язка 1000В;
- світлова індикація стану входів;
- рознімні клемні з'єднувачі.

Даний модуль необхідний для введення сигналу від датчику наявності прокату.

4. Модуль 6ES7135

Модуль ізольованого аналогового виводу (ЦАП) на 2 канали:

- гальванічна розв'язка 500В;
- висока навантажувальна здатність;
- рознімні клемні з'єднувачі;
- час циклу ЦАП не більше 1,5 мс;
- можливість установки виходу ЦАП в заданий стан при зупинці

центрального процесора.

Даний модуль необхідний для виводу сигналів завдання на швидкість у САРШ допоміжних і чистових приводів.

5. Модуль IM 151-7 CPU

Інтерфейсний модуль:

- центральний процесор CPU 314 (6ES 7314-1AF10-0AB0) з обсягом робочої пам'яті 48 Кбайт;
- убудований інтерфейс RS-485;
- завантажувальна пам'ять 8 Мбайт, мікро карта пам'яті Flash-EEPROM;
- загальна кількість S7 лічильників і таймерів – 256;
- дискретно-модульне розширення для максимальної адаптації до вимог розв'язуваного завдання.

Даний модуль необхідний для підключення станції розподіленого вводу-виводу до мереж PROFIBUS.

6. Модуль 6ES7400

Універсальна монтажна плата:

- можливість установки 2 резервних блоків живлення, централізовані й розподілені конфігурації вводу-виводу;
- можливість установки до 18 модулів.

У комплекті із промисловим комп'ютером SIMATIC RACKPC840V2 клавіатура й монітор не поставляються, тому були обрані окремо:

1. Монітор SCD 1597-R. Підключається до VGA порту будь-якого комп'ютеру. Максимальна роздільна здатність екрану 1024x768 крапок, діагональ 19". Споживання не більше 6 Вт, 12В. Діапазон температур від +5 до +45⁰С.

2. PCA6304 – Клавіатура:

- з 88-ми клавішами;
- зовнішній з'єднувач PS/2;
- ресурс 45 млн. натискань;
- температурний діапазон 0-50⁰С;
- призначена для промислового використання.

2.3 Розробка структурної схеми системи електроприводу

2.3.1 Розрахунок параметрів головного привода редукційного стану

Основна сутність системи автоматичного регулювання полягає в зведенні регульованої величини до заданого значення й у підтримці її на цьому рівні як у статичних, так і динамічних режимах, незважаючи на збурюючі впливи, основними з яких є зміна моменту навантаження, коливання мережі, нестабільність характеристик елементів схеми [3, 8].

Об'єкт керування в автоматизованому електроприводі постійного струму містить у собі електродвигун, вал якого через редуктор з'єднаний з технологічною машиною, а також силовий перетворювач (у нашому випадку – тиристорний перетворювач).

Розглянута у кваліфікаційній роботі система керування АЕП, що одержала найбільшого поширення, являє собою багатоконтурну систему

послідовної дії. Тут кожний контур має окремий регулятор, що набудовується відповідно до передатної функції об'єкту регулювання свого контуру.

Перший (внутрішній) контур призначений для регулювання струму якоря (РС), другий (зовнішній стосовно контуру струму) – для регулювання швидкості (РШ).

Структурна схема підлеглого регулювання наведена на рисунку 2.4. Модель електропривода включає: регулятор швидкості; регулятор струму; тиристорний перетворювач; електричний двигун.

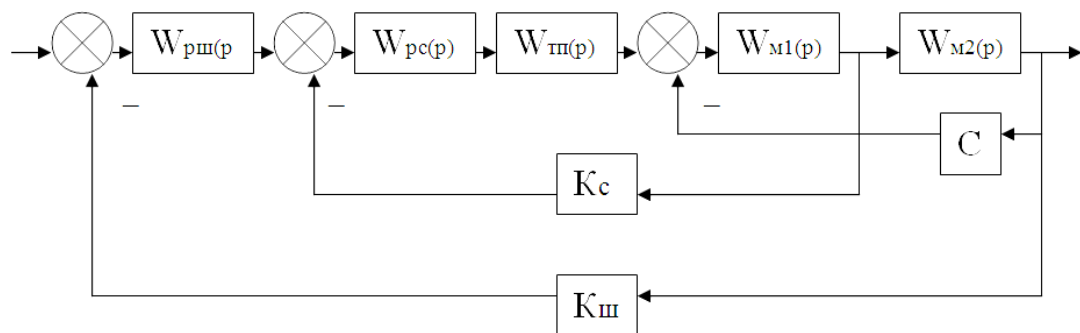


Рис. 2.5. Структурна схема підпорядкованого регулювання

Система регулювання побудована за принципом підлеглого регулювання й містить контур регулювання швидкості й контур регулювання струму якоря. Регулятор швидкості обмежує завдання на струм якоря й компенсує електромеханічну постійну двигуна. Регулятор швидкості повинен також забезпечувати підтримку заданої швидкості обертання валків з високою точністю при зміні навантаження стану як у сталих, так і в перехідних режимах роботи. Це здійснюється за рахунок головного негативного зворотного зв'язку по швидкості.

Основною функцією регулятора струму є компенсація електромагнітної постійної часу двигуна.

Вимоги до системи електроприводів редукційного стану (як вже було згадано в аналітичній частині кваліфікаційної роботи) полягають у наступному [6, 11]:

- плавний розгін всіх двигунів вхолосту на протязі 2с.;

- для двигунів головних, допоміжних і чистових приводів підтримка заданої швидкості обертання двигунів з точністю 3% при номінальній швидкості (зазначена точність задана з умови одержання необхідного допуску по товщині стінки труби при прокатці з натягом);
- забезпечення регулювання швидкості двигуна головного привода стану в діапазоні 1:2 вгору від номінальної за рахунок потоку двигуна й у діапазоні 1:1.25 униз від номінальної за рахунок зниження напруги двигуна;
- забезпечення регулювання швидкості двигуна допоміжного привода стану в діапазоні 1:2 вгору від номінальної за рахунок потоку двигуна й у діапазоні 1:5 униз від номінальної за рахунок зниження напруги двигуна;
- забезпечення регулювання швидкості двигуна чистової кліті стану в діапазоні 1:4.5, причому угору від основної в діапазоні 1:1.7 забезпечується підвищенням напруги двигуна.

2.3.2 Розрахунок параметрів головного приводу

Головний привод редукційного стану має наступні параметри. Двигун постійного струму незалежного збудження номінальною потужністю $P_H=1500$ кВт; номінальною частотою обертання $n_H=355$ об/хв; номінальною живлячою напругою $U_H=750$ В; номінальним струмом двигуна 2100 А; номінальним моментом інерції $J=5363$ кг·м²; кількістю пар полюсів двигуна $p=4$.

Номінальна потужність, споживана якорею з мережі:

$$P_c = I_H \cdot U_H = 2100 \cdot 750 = 1579 \text{ кВт.} \quad (2.10)$$

Коефіцієнт корисної дії:

$$\eta = \frac{P_H}{P_c} = \frac{1500}{1579} = 0,943. \quad (2.11)$$

Кутова частота обертання:

$$\omega_H = \frac{\pi \cdot n_H}{30} = \frac{\pi \cdot 355}{30} = 37,17 \text{ с}^{-1}. \quad (2.12)$$

Визначаємо опір якоря двигуна:

$$R_{\text{я}} = 0,5 \cdot (1 - \eta) \cdot \frac{U_H}{I_H} = 0,5 \cdot (1 - 0,943) \cdot \frac{750}{2100} = 0,011 \text{ Ом}. \quad (2.13)$$

Еквівалентний опір:

$$R_e = 1,25 \cdot R_{\text{я}} = 1,25 \cdot 0,011 = 0,01375 \text{ Ом}. \quad (2.14)$$

Визначаємо індуктивність якоря:

$$L_{\text{я}} = \frac{30}{\pi} \cdot \frac{U_H \cdot \alpha}{p \cdot n_H \cdot I_H} = \frac{30}{3,14} \cdot \frac{750 \cdot 0,1}{4 \cdot 355 \cdot 2100} = 0,00025 \text{ Гн}. \quad (2.15)$$

Еквівалентна індуктивність якінного кола:

$$L_e = 1,3 \cdot L_{\text{я}} = 1,3 \cdot 0,00025 = 0,000325 \text{ Гн}. \quad (2.16)$$

Електромагнітна постійна часу двигуна:

$$T_e = \frac{L_e}{R_e} = \frac{0,000325}{0,01375} = 0,024 \text{ с}. \quad (2.17)$$

Конструктивна постійна двигуна:

$$c = \frac{U_H - I_H \cdot R_{\text{я}}}{\omega_H} = \frac{750 - 2100 \cdot 0,011}{37,17} = 19,59. \quad (2.18)$$

Визначаємо електромеханічну постійну часу двигуна:

$$T_M = J \cdot \frac{R_e}{c^2} = 5363 \cdot \frac{0,01375}{19,59^2} = 0,24 \text{ с}. \quad (2.19)$$

Двигун постійного струму представлений у вигляді двох ланок:

$$W_{M1}(p) = \frac{1/R_e}{T_e \cdot p + 1}, \quad W_{M2}(p) = \frac{R_e}{c \cdot T_M \cdot p}.$$

Запишемо передатну функцію двигуна, з огляду на отримані значення у формулах (2.14), (2.17) – (2.19).

$$W_{M1}(p) = \frac{1/0,01375}{0,024 \cdot p + 1} = \frac{72,73}{0,024 \cdot p + 1}, \quad (2.20)$$

$$W_{M2}(p) = \frac{0,01375}{19,59 \cdot 0,24 \cdot p} = \frac{0,01375}{4,7 \cdot p} = 0,0029 \cdot \frac{1}{p}. \quad (2.21)$$

Тиристорний перетворювач можна розглядати як інерційну ланку першого порядку з передатною функцією:

$$W_{\text{тп}}(p) = \frac{K_{\text{тп}}}{T_{\text{тп}} \cdot p + 1}. \quad (2.22)$$

де $K_{\text{тп}}$ – коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача:

$$K_{\text{тп}} = \frac{U_{\text{в}}}{U_{\text{у}}} = \frac{750}{10} = 75.$$

Приймаємо постійну часу $T_{\text{тп}} = 0.01\text{с}$.

$$W_{\text{тп}}(p) = \frac{75}{0,01 \cdot p + 1}.$$

Налагодження регулятора струму здійснюється відповідно до амплітудного оптимуму.

Передатна функція ПІ-регулятора струму має вигляд:

$$W_{\text{рс}}(p) = \frac{(T_{\text{е}} \cdot p + 1) \cdot R_{\text{е}}}{2 \cdot T_{\mu} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{тп}} \cdot p}. \quad (2.23)$$

де $K_{\text{с}}$ – передатна функція датчика струму.

$$W_{\text{рс}}(p) = \frac{(0,024 \cdot p + 1) \cdot 0,01375}{2 \cdot 0,01 \cdot 0,0025 \cdot 75 \cdot p} = \frac{0,00033 \cdot p + 0,1375}{0,00375 \cdot p}.$$

Настроювання регулятора швидкості здійснюється відповідно до симетричного оптимуму, при цьому постійна часі приймається рівною значенню суми постійних часу ланок помножених на чотири, що входять у контур регулювання швидкості, крім електромеханічної постійної привода.

Передатна функція регулятора швидкості має вигляд:

$$W_{\text{рш}}(p) = \frac{c \cdot T_{\text{м}} \cdot K_{\text{с}}}{4 \cdot T_{\mu} \cdot K_{\text{ш}} \cdot R_{\text{е}}}. \quad (2.24)$$

де $K_{\text{ш}}$ – передатна функція датчика швидкості.

$$K_{\text{ш}} = \frac{U_{\text{зш max}}}{\omega_{\text{н}}} = \frac{10}{37,17} = 0,269,$$

$$W_{\text{рш}}(p) = \frac{19,59 \cdot 0,24 \cdot 0,0025}{4 \cdot 0,01 \cdot 0,269 \cdot 0,01375} = 79,45.$$

2.3.3 Розрахунок параметрів привода чистових клітей

Привод чистової кліті редуційного стану має наступні параметри. Двигун постійного струму незалежного збудження, номінальна потужність $P_{\text{н}}=85\text{кВт}$, номінальна частота обертання $n_{\text{н}}=600\text{об/хв}$, номінальна живляча напруга $U_{\text{н}}=220\text{В}$, номінальний струм двигуна 500А , номінальний момент інерції $J=18\text{кг}\cdot\text{м}^2$, коефіцієнт корисної дії $\eta=0,83$, кількість пар полюсів двигуна $p=4$.

Кутова частота обертання по формулі (2.12):

$$\omega_{\text{н}} = \frac{\pi \cdot 600}{30} = 62,8\text{ с}^{-1}.$$

Визначаємо опір якоря двигуна по формулі (2.13):

$$R_{\text{я}} = 0,5 \cdot (1 - 0,83) \cdot \frac{220}{500} = 0,037\text{ Ом}.$$

Еквівалентний опір визначаємо по формулі (2.14):

$$R_{\text{е}} = 1,25 \cdot 0,037 = 0,046\text{ Ом}.$$

Визначаємо індуктивність якоря по формулі (2.15):

$$L_{\text{я}} = \frac{30}{3,14} \cdot \frac{220 \cdot 0,1}{4 \cdot 600 \cdot 500} = 0,00017 \text{ Гн.}$$

Еквівалентна індуктивність якірного кола знаходиться по формулі (2.16):

$$L_{\text{е}} = 1,3 \cdot 0,00017 = 0,000227 \text{ Гн.}$$

Електромагнітна постійна часу двигуна по формулі (2.17):

$$T_{\text{е}} = \frac{0,000227}{0,046} = 0,049 \text{ с.}$$

Конструктивна постійна часу двигуна визначається по формулі (2.18):

$$c = \frac{220 - 500 \cdot 0,037}{62,8} = 3,2.$$

Визначаємо електромеханічну постійну часу двигуна по формулі (2.19):

$$T_{\text{м}} = 18 \cdot \frac{0,046}{3,2^2} = 0,08 \text{ с.}$$

Двигун постійного струму представлений у вигляді двох ланок:

$$W_{\text{м1}}(p) = \frac{1/R_{\text{е}}}{T_{\text{е}} \cdot p + 1}, \quad W_{\text{м2}}(p) = \frac{R_{\text{е}}}{c \cdot T_{\text{м}} \cdot p}.$$

Запишемо передатну функцію двигуна, з огляду на отримані значення по формулах (2.14), (2.17) – (2.19):

$$W_{m1}(p) = \frac{1/0,046}{0,0049 \cdot p + 1} = \frac{21,73}{0,0049 \cdot p + 1},$$

$$W_{m2}(p) = \frac{0,046}{3,2 \cdot 0,08 \cdot p} = \frac{0,046}{0,256 \cdot p} = 0,179 \cdot \frac{1}{p}.$$

Тиристорний перетворювач можна розглядати як інерційно ланку першого порядку з передатною функцією:

$$W_{\text{тп}}(p) = \frac{K_{\text{тп}}}{T_{\text{тп}} \cdot p + 1}. \quad (2.25)$$

де $K_{\text{тп}}$ – коефіцієнт передачі тиристорного перетворювача:

$$K_{\text{тп}} = \frac{U_{\text{в}}}{U_{\text{у}}} = \frac{220}{10} = 22.$$

Приймаємо постійну часу $T_{\text{тп}} = 0.01\text{с}$.

$$W_{\text{тп}}(p) = \frac{22}{0,01 \cdot p + 1}.$$

Настроювання регулятора струму здійснюється відповідно до амплітудного оптимуму.

Передатна функція регулятора струму має вигляд:

$$W_{\text{рс}}(p) = \frac{(T_{\text{е}} \cdot p + 1) \cdot R_{\text{е}}}{2 \cdot T_{\mu} \cdot K_{\text{с}} \cdot K_{\text{тп}} \cdot p}. \quad (2.26)$$

де K_c – передатна функція датчика струму.

$$W_{pc}(p) = \frac{(0,0049 \cdot p + 1) \cdot 0,046}{2 \cdot 0,01 \cdot 0,0025 \cdot 22 \cdot p} = \frac{0,000225 \cdot p + 0,046}{0,0011 \cdot p}.$$

Передатна функція регулятора швидкості має вигляд:

$$W_{pш}(p) = \frac{c \cdot T_m \cdot K_c}{4 \cdot T_\mu \cdot K_{ш} \cdot R_e}. \quad (2.27)$$

де $K_{ш}$ – передатна функція датчика швидкості.

$$K_{ш} = \frac{U_{зсс \max}}{\omega_H} = \frac{10}{62,8} = 0,159,$$

$$W_{pш}(p) = \frac{3,2 \cdot 0,08 \cdot 0,0025}{4 \cdot 0,01 \cdot 0,159 \cdot 0,046} = 2,191.$$

2.4 Вибір регуляторів для контурів, розрахунок їх параметрів у складі системи підпорядкованого регулювання координат електропривода

Вибір типів регуляторів та параметрів систему керування виконувався в другому розділі кваліфікаційної роботи, а тут, виконано лише підстановка розрахованих значень до моделі привода. Для регламентації темпу розгону й гальмування двигуна, з метою недопущення надмірних динамічних навантажень, на вході в контур швидкості передбачений задатчик інтенсивності. Імітаційна модель САК допоміжного привода й отримані графіки перехідних процесів у програмному забезпеченні MATLAB наведені на рисунках 2.5-2.6. Для імітації ударного навантаження, при захваті металу,

після виходу двигуна на задану швидкість, у схему додана ланка запізнювання.

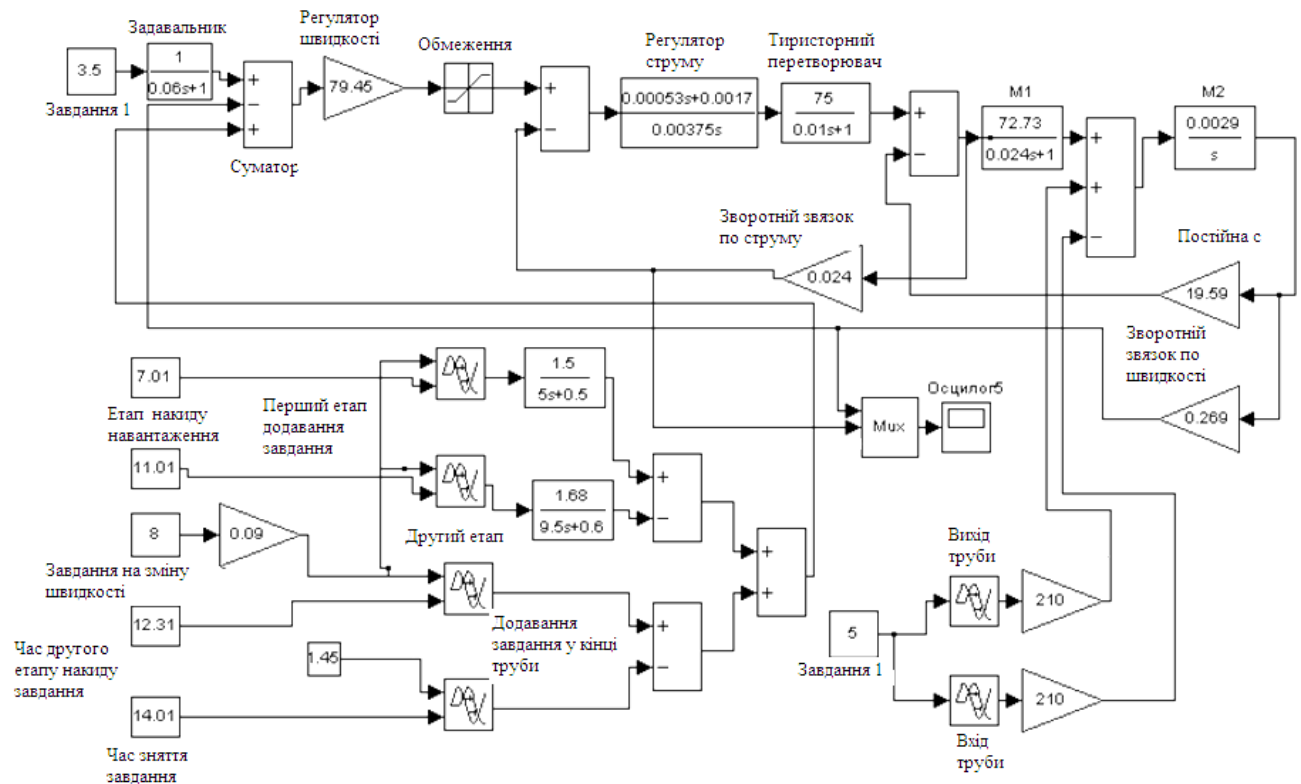


Рис. 2.6. Структурна схема моделі допоміжного привода

SIMULINK дозволяє моделювати лінійні, нелінійні, дискретні САК, представляє графічний інтерфейс користувача для побудови моделі у вигляді структурної схеми. SIMULINK включає повний комплект бібліотек блоків, необхідних для створення моделі, пристрої відображення й генератори сигналів і інш., дозволяє побудувати ієрархічну модель. Результати моделювання можна переглянути під час моделювання на екрані, роздрукувати [9, 10].

Імітаційна модель САК складена на основі структурної схеми моделі (див. рисунок 2.4), розрахунок якої наведений у другому розділі кваліфікаційної роботи. При розрахунку системи прийнято припущення, що вона є лінійною. У реальній системі необхідно передбачити обмеження на її координати – струм і кутова швидкість двигуна. Струм необхідно обмежити на рівні $I_{\max}=2I_n$ тобто на рівні 4200А, а частота обертання не повинна перевищувати рівня вище другої зони регулювання. Тому в системі

передбачені нелінійні ланки, типу «обмеження», на вході контуру струму. Ці ланки ставляться до типу істотно нелінійних і можуть вплинути на якість регулювання, і навіть стійкість САК.

Для здійснення імітаційного моделювання й аналізу системи автоматичного керування натягом редукційного стану у кваліфікаційній роботі використаний один із сучасних програмних комплексів MATLAB/SIMULINK. У цей час він широко застосовується при розробці САК.

Для дослідження якості функціонування системи необхідно виконати її моделювання на імітаційній моделі.

Основним параметром в САК натягом є забезпечення необхідної зміни частоти обертання валків редукційного стану у функції положення прокату в лінії стану. Від якості САК, швидкості валків, багато в чому залежить точність геометричних параметрів труб, надійність устаткування клітей.

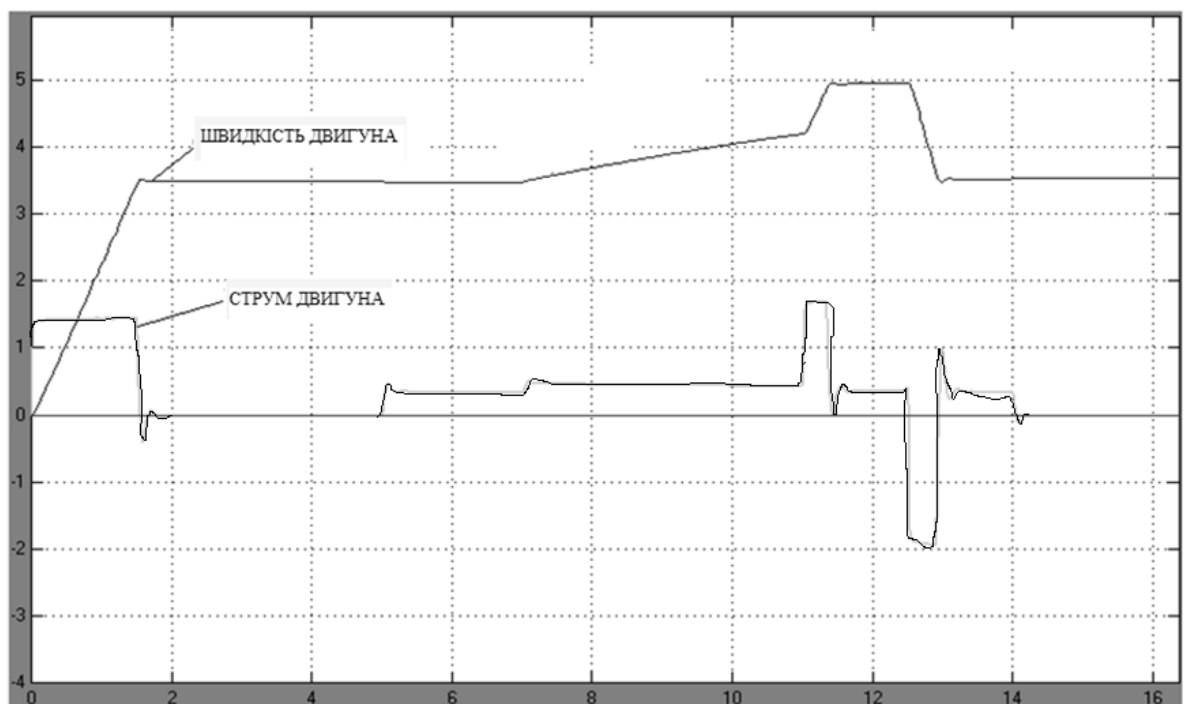


Рис. 2.7. Графіки зміни швидкості й струму двигуна головного привода

Імітаційна модель САК привода чистових клітей (аналогічно допоміжному приводу) і отримані графіки перехідних процесів у програмному забезпеченні MATLAB наведені на рисунках 2.7-2.8.

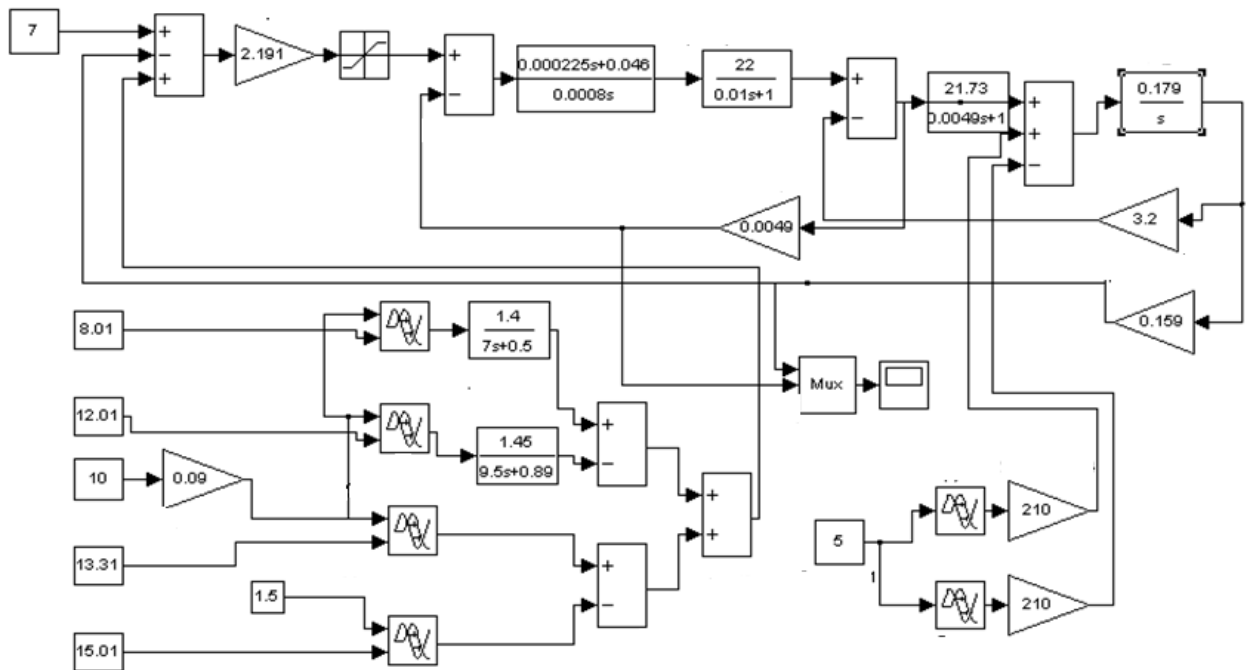


Рис. 2.8. Структурна схема моделі головного привода

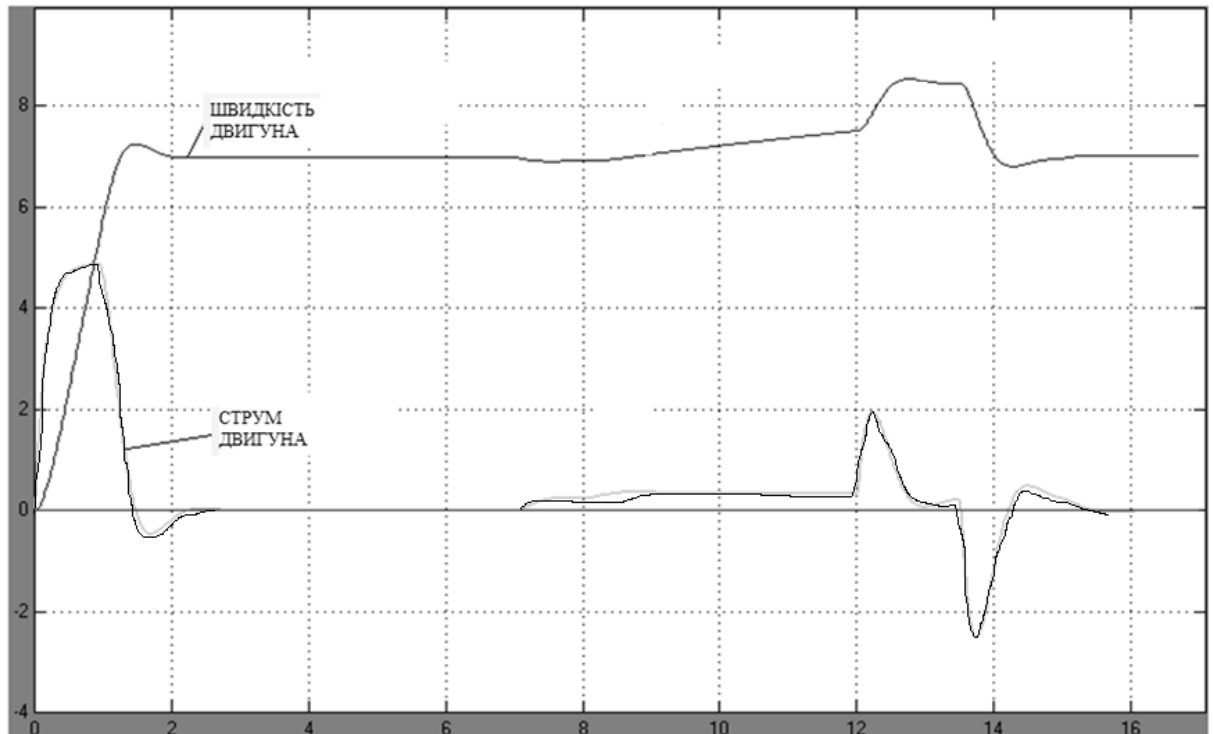


Рис. 2.9. Графіки швидкості й струми двигуна головного привода

На отриманих графіках зміни швидкості видно, що після розгону двигунів допоміжних і чистових приводів, швидкість обертання залишалася незмінною до моменту входу труби в стан. При цьому відбувається, у межах припустимого, невелике зниження обертів. Потім відбувається перший етап підвищення швидкості на певне значення й триваючий певний час. По закінченні першого етапу здійснюється другий етап збільшення швидкості по закінченні, якого швидкості двигунів вертаються до номінальних значень.

Таким чином, був промодельований повний цикл проходження труби через редуційний стан з додатковим натягом.

Дана схема дозволяє змінювати швидкість двигуна до і після зміни, дозволяє змінювати всі інтервали часу, тобто дозволяє повністю контролювати всі зміни й задавати їх, що вказує на працездатність системи і її відповідність пропонованим вимогам.

2.5 Розробка алгоритму функціонування системи

Алгоритм охоплює роботу системи автоматичного керування натягом редуційного трубопрокатного стану ТПА 30-102. Блок-схема роботи системи автоматичного керування натягом стану (див. рисунок 2.9) складається з пускового (A2, A3, A4) й основного блоків (A5 - C5).

У пусковому блоці (A2), відбувається очищення комірок пам'яті й обнуління змінних основного блоку алгоритму, ручне введення констант здійснюється в блоці (A3) .

Зв'язок пускового й основного блоків здійснюється через перевірку кнопки «RESTART» (A4) – перезавантаження системи. Кнопка «RESTART» натискається для переведення системи у вихідне положення, і ще при введенні в систему нових значень констант.

Основним блоком алгоритму починається опитування датчику наявності прокату D1. Далі на підставі інформації опитаного датчику D1 у блоці порівняння (A6) перевіряється наступна умова:

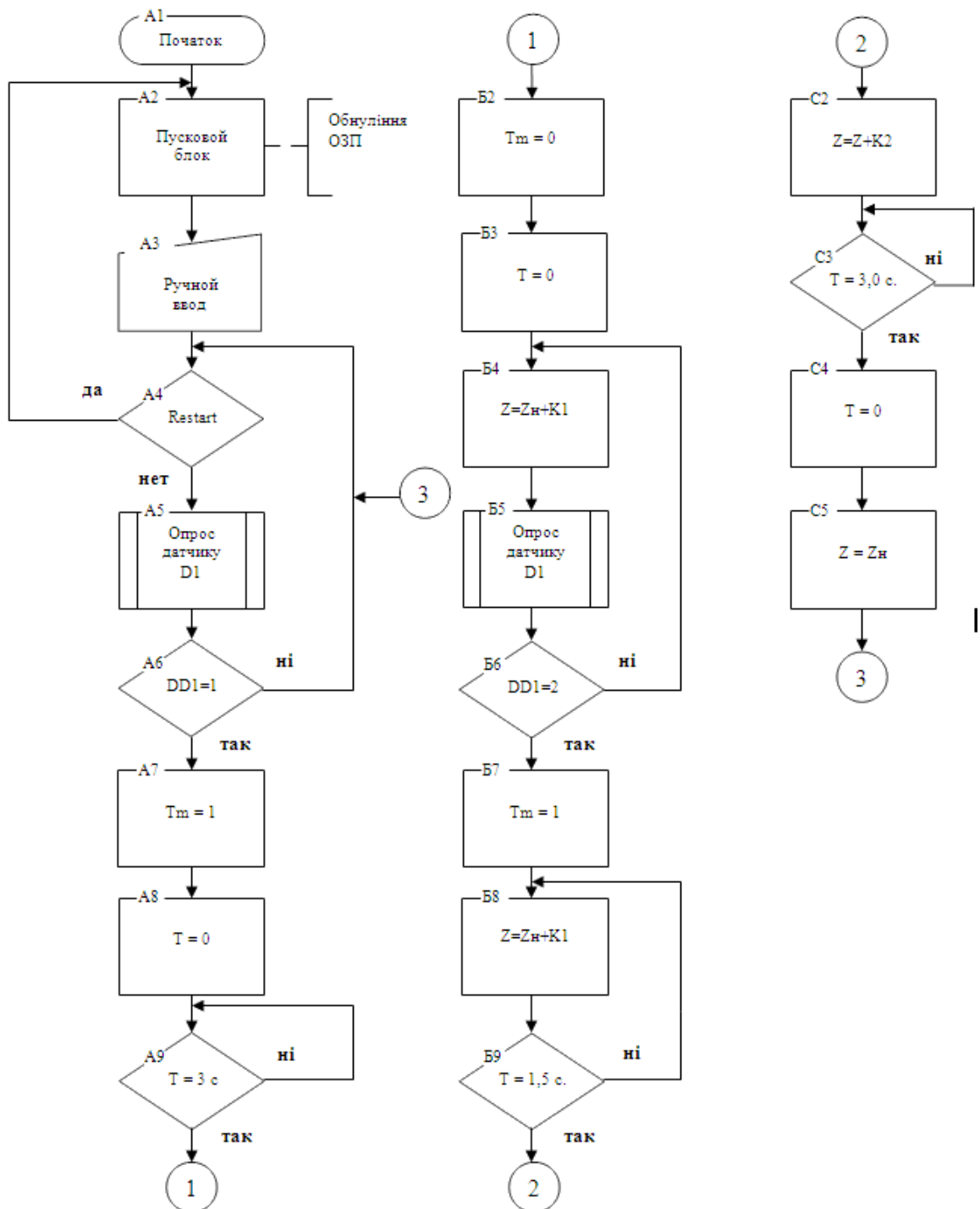


Рис. 2.10. Блок-схема функціонування системи

- якщо зафіксовано фронт $DD1=2$ або $DD1=0$, то системою виконується повторне опитування датчика $DD1$.

- якщо зафіксовано фронт $DD1=1$, то відбувається запуск таймеру з попереднім його скиданням.

Далі в блоці (A9) відбувається порівняння поточної величини таймеру із заданим значенням рівним 3с. При відповідності цієї умови в блоці (B2)

виконується зупинка таймеру і його обнуління в блоці (Б3). Після чого відбувається збільшення заданого номінального завдання на швидкість Z_n на величину коефіцієнту K_1 .

У наступному блоці (Б5) виконується опитування датчику D1 і в блоці порівняння (Б6) перевіряється наступна умова:

- якщо зафіксовано фронт $DD1=1$ або $DD1=0$, то системою виконується східчасте збільшення завдання й повторне опитування датчика D1.

- якщо зафіксовано фронт $DD1=2$, то відбувається запуск таймеру в блоці (Б7) і подальше збільшення завдання на швидкість, що реалізовано в блоці (Б8).

Виконання умови в блоці (Б9) відповідає закінченню першого етапу збільшення швидкості й початку другого етапу шляхом додавання до існуючого завдання коефіцієнту K_2 , що реалізований блоком (С2). У випадку реалізації умови в блоці (С3) відбувається зупинка таймеру в блоці (С4) і виконання команди блоку (С5) – повернення до номінального завдання, що відповідає закінченню всього циклу.

2.5.1 Блок-схема опитування датчику наявності прокату

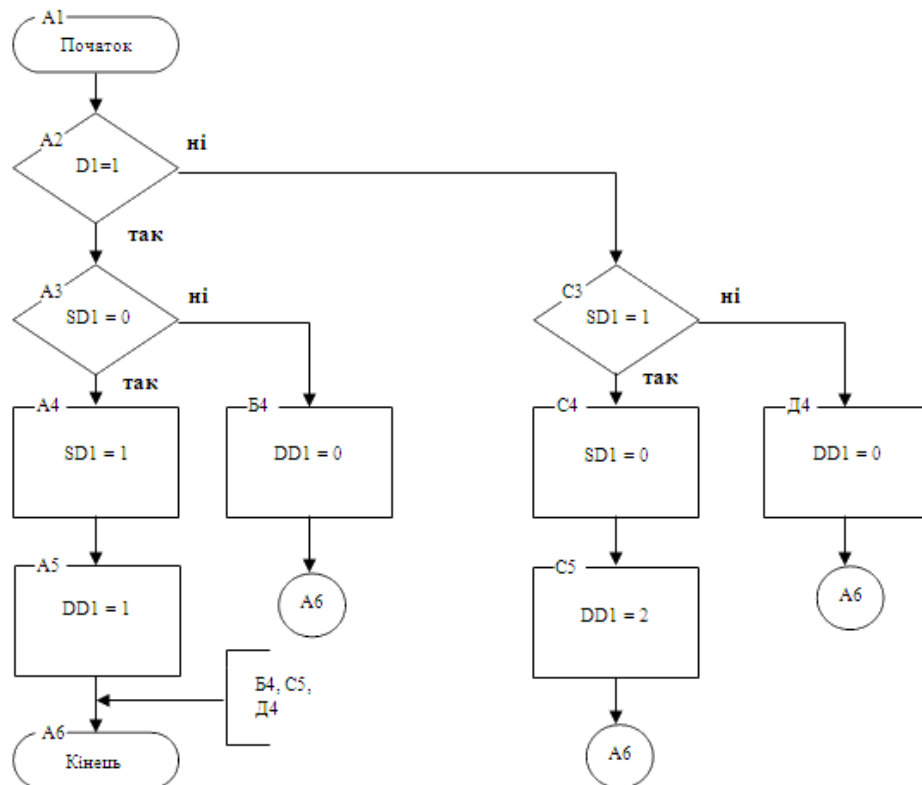
Дана блок-схема (див. рисунок 2.10) реалізує багаторазове опитування датчику D1 з виділенням переднього й заднього фронтів імпульсу, причому рішення про наявність фронту або спаду сигналу приймається тільки в тому випадку, якщо датчик перейшов у новий стан і залишається в ньому протягом заданої кількості опитувань.

У блоці (A2) аналізується стан датчика(0 або 1):

- якщо 1, то далі відбувається аналіз стану датчику в попередньому циклі блоком (A3). Якщо в попередніх циклах датчик був в 0, а потім перейшов зі стану 0 в 1 $SD1=0$, то значить стан датчика в 1 стійкий й видається ознака наявності фронту $DD1=1$. Якщо ж у попередньому циклі

датчик був в 1 і ознака переходу з 0 в 1 $SD1=1$, то значить фронт фіксується вже третій цикл і його можна знімати $DD1=0$.

- якщо 0, то аналізується стан датчику в попередньому циклі блоком (C3). Якщо в попередніх циклах датчик був в 1 і перейшов зі стану 1 в 0 $SD1=1$, то значить стан датчику в 0 стійкий й видається ознака наявності спаду $DD1=2$. Якщо ж у попередньому циклі датчик видав 0, а $SD1=0$ тобто спад фіксується вже третій цикл і його можна знімати $DD1=0$.



Алгоритм переривання таймеру

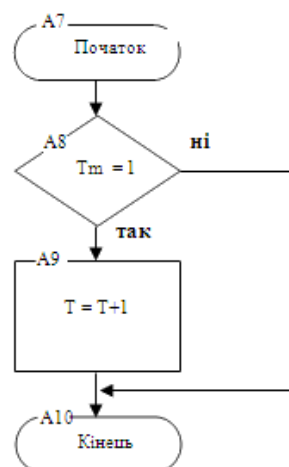


Рис. 2.11. Блок-схема опитування датчика

2.5.2 Блок-схема переривання таймеру

Блок-схема переривання таймеру (див. рисунок 2.10) працює таким чином:

- у блоці (A8) перевіряється прапорець дозволу відліку часу. Якщо прапорець виставлений в одиницю, то програма переходить до блоку (A9). Якщо прапорець скинутий у нуль, то програма обходить блок (A9);
- у блоці (A9) відбувається відлік часу.

2.6 Аналіз умов праці в трубопрокатному цеху

Трубопрокатне виробництво належить до категорії складних технологічних процесів, які характеризуються наявністю значної кількості виробничого обладнання, високими механічними навантаженнями та підвищеним рівнем енергоємності. Робота персоналу трубопрокатного цеху здійснюється в умовах дії різноманітних виробничих факторів, що можуть впливати на стан здоров'я працівників, безпеку виконання робіт та ефективність виробничого процесу. Тому аналіз умов праці є важливою складовою забезпечення безпечної експлуатації обладнання та створення належного виробничого середовища.

Об'єктом дослідження є редуційний стан трубопрокатного цеху №7, оснащений сучасною системою автоматизованого керування електроприводами. Технологічний процес передбачає проходження трубної заготовки через ряд послідовно розташованих клітей, у яких відбувається зміна геометричних параметрів виробу. Робота обладнання супроводжується обертанням валків, переміщенням металу, функціонуванням потужних електродвигунів та допоміжних механізмів.

Одним із найбільш небезпечних факторів є наявність рухомих частин машин та механізмів. Під час роботи редуційного стану існує ризик травмування працівників унаслідок контакту з валками, муфтами,

приводними валами та іншими елементами, що перебувають у русі. Для зниження ризику виникнення нещасних випадків обладнання оснащується захисними огороженнями, блокувальними пристроями та системами аварійного вимкнення.

Важливим фактором виробничого середовища є підвищений рівень шуму, який виникає під час роботи електродвигунів, редукторів, прокатних клітей та транспортних механізмів. Тривалий вплив шуму негативно впливає на організм людини, знижує працездатність та може призводити до професійних захворювань органів слуху. Для зменшення його впливу застосовуються шумопоглинальні конструкції, своєчасне технічне обслуговування обладнання та засоби індивідуального захисту.

Під час функціонування технологічного обладнання також виникають вібрації, які передаються через металоконструкції та робочі майданчики. Тривалий вплив вібрації може спричиняти підвищену втому працівників та негативно впливати на їхній фізичний стан. Зменшення рівня вібрації досягається шляхом використання амортизуючих елементів, правильного монтажу обладнання та дотримання вимог щодо його експлуатації.

Особливістю трубопрокатного виробництва є наявність джерел теплового випромінювання. Метал після прокатки має підвищену температуру, що призводить до нагрівання навколишнього середовища та створює додаткове теплове навантаження на персонал. Для забезпечення комфортних умов праці використовуються системи вентиляції, кондиціонування та організаційні заходи щодо регламентування режимів праці та відпочинку.

Окрему увагу необхідно приділяти питанням електробезпеки. У цеху експлуатуються електроустановки високої та низької напруги, частотні перетворювачі, електродвигуни великої потужності та шафи керування. Пошкодження ізоляції, помилки під час обслуговування або порушення правил безпеки можуть призвести до ураження електричним струмом. Для запобігання таким випадкам застосовуються захисне заземлення,

автоматичне відключення живлення, блокування та попереджувальна сигналізація.

Виробниче середовище трубопрокатного цеху характеризується також наявністю пилу, мастильних матеріалів та продуктів зношування обладнання. Для підтримання нормативних санітарно-гігієнічних умов використовуються системи припливно-витяжної вентиляції, проводиться регулярне прибирання виробничих приміщень та контроль стану повітряного середовища.

Таким чином, умови праці в трубопрокатному цеху характеризуються комплексним впливом механічних, фізичних, теплових та електричних факторів. Забезпечення безпечної роботи персоналу можливе лише за умови дотримання вимог охорони праці, використання сучасних засобів захисту, справного технічного стану обладнання та постійного контролю виробничого середовища.

2.7 Аналіз небезпечних та шкідливих виробничих факторів

Експлуатація редуційного стану в трубопрокатному цеху пов'язана з впливом на працівників комплексу небезпечних і шкідливих виробничих факторів. Їх наявність обумовлена особливостями технологічного процесу прокатки труб, використанням потужного електромеханічного обладнання, значними динамічними навантаженнями та високим рівнем автоматизації виробництва. Виявлення та аналіз таких факторів є необхідною умовою для розроблення ефективних заходів з охорони праці та забезпечення безпечної експлуатації обладнання.

Одним із найбільш небезпечних факторів є рухомі частини машин і механізмів. До них належать валки прокатних клітей, приводні вали, муфти, редуктори, транспортні рольганги та інші елементи технологічного обладнання. Під час виконання виробничих операцій або ремонтних робіт існує ризик потрапляння працівника до зони дії рухомих елементів, що може призвести до травм різного ступеня тяжкості. Особливу небезпеку становлять

вузли обладнання, які працюють на високих швидкостях та мають значну кінетичну енергію.

Серйозним фактором виробничої небезпеки є електричний струм. У системі автоматизованого керування редукційним станом використовуються електродвигуни великої потужності, частотні перетворювачі, силові шафи керування, розподільчі пристрої та кабельні мережі. Пошкодження ізоляції струмопровідних частин, виникнення коротких замикань або порушення правил технічної експлуатації можуть створювати загрозу ураження персоналу електричним струмом. Особливої уваги потребують роботи, що виконуються під час технічного обслуговування та ремонту електрообладнання.

До шкідливих виробничих факторів належить підвищений рівень шуму. Джерелами шумового навантаження є електродвигуни, редуктори, прокатні кліті, транспортні механізми, насоси та вентиляційні установки. Рівень шуму в окремих виробничих зонах може перевищувати допустимі значення, що негативно впливає на слуховий апарат працівників, викликає втому, знижує концентрацію уваги та продуктивність праці.

У процесі роботи обладнання виникають механічні коливання та вібрації. Основними джерелами вібрації є електродвигуни, редуктори, підшипникові вузли та механізми передачі руху. Тривалий вплив вібрації може викликати функціональні порушення організму людини, погіршення самопочуття та зниження працездатності. Крім того, надмірні вібрації негативно впливають на технічний стан обладнання та скорочують термін його експлуатації.

Важливим шкідливим фактором є підвищена температура повітря робочої зони. Під час прокатки метал має високу температуру, що супроводжується інтенсивним тепловим випромінюванням. У теплий період року це може призводити до перегрівання організму працівників, збільшення фізичної втоми та погіршення умов праці. Високі температури також

негативно впливають на функціонування електронного обладнання систем автоматизації.

У виробничих приміщеннях можливе утворення пилу та аерозолів, які виникають унаслідок роботи технологічного обладнання, обробки металу та переміщення матеріалів. Накопичення пилу погіршує санітарно-гігієнічний стан робочої зони, негативно впливає на органи дихання працівників та може сприяти передчасному зношуванню електрообладнання.

Одним із факторів, що впливають на безпеку праці, є недостатня або нерівномірна освітленість виробничих приміщень. Низький рівень освітлення ускладнює контроль за роботою обладнання, підвищує ймовірність помилкових дій персоналу та збільшує ризик виробничого травматизму. Особливо важливим є забезпечення якісного освітлення зон обслуговування електрообладнання та систем автоматизованого керування.

Під час експлуатації редуційного стану також існує небезпека виникнення пожежонебезпечних ситуацій. Причинами можуть бути короткі замикання, перегрів контактних з'єднань, пошкодження електричної ізоляції, займання мастильних матеріалів або порушення правил експлуатації електроустановок. У зв'язку з цим особливе значення мають заходи пожежної профілактики та підтримання справного стану засобів пожежогасіння.

Отже, виробниче середовище трубопрокатного цеху характеризується наявністю комплексу небезпечних та шкідливих факторів, серед яких найбільш суттєвими є рухомі частини обладнання, електричний струм, шум, вібрація, підвищена температура, пил та пожежна небезпека. Зниження їх негативного впливу досягається шляхом застосування технічних засобів захисту, автоматизації виробничих процесів, використання засобів індивідуального захисту та суворого дотримання вимог нормативних документів з охорони праці.

2.8 Пожежна профілактика

Пожежна безпека є одним із найважливіших напрямів забезпечення безпечної експлуатації виробничих об'єктів металургійної промисловості. Трубопрокатний цех належить до об'єктів підвищеної виробничої небезпеки, оскільки в його технологічному процесі використовується значна кількість електрообладнання, кабельних ліній, мастильних матеріалів та механізмів великої потужності. У зв'язку з цим особливого значення набувають заходи пожежної профілактики, спрямовані на запобігання виникненню загорянь, обмеження поширення пожежі та забезпечення безпеки персоналу.

Основними причинами виникнення пожеж у трубопрокатних цехах можуть бути короткі замикання в електричних мережах, перевантаження електродвигунів, пошкодження ізоляції кабелів, несправність електроапаратури, перегрів контактних з'єднань, порушення правил експлуатації обладнання та проведення ремонтних робіт із застосуванням відкритого вогню. Додаткову небезпеку створюють горючі мастила, технічні рідини та відкладення пилу на поверхнях обладнання.

Для запобігання виникненню пожеж необхідно забезпечити належний технічний стан електроустановок та систем автоматизованого керування. Електродвигуни, перетворювачі частоти, шафи керування та силові мережі повинні регулярно проходити технічне обслуговування, перевірку стану ізоляції та контроль температурного режиму роботи. Особлива увага приділяється надійності контактних з'єднань, оскільки їх перегрів може стати джерелом займання.

Ефективним засобом попередження пожеж є використання сучасних систем електричного захисту. Для захисту електричних мереж від струмів короткого замикання та перевантаження застосовуються автоматичні вимикачі, запобіжники, теплові реле та інші захисні пристрої. Їх правильне налаштування забезпечує своєчасне відключення пошкоджених ділянок мережі та запобігає виникненню аварійних ситуацій.

Важливе значення має підтримання належного санітарного стану виробничих приміщень. Необхідно регулярно очищати обладнання, кабельні канали та вентиляційні системи від пилу, бруду та залишків мастильних матеріалів. Своєчасне прибирання знижує ймовірність займання та сприяє підвищенню загального рівня безпеки виробництва.

Для швидкого виявлення загоряння виробничі приміщення обладнуються засобами пожежної сигналізації та системами оповіщення персоналу. У разі виникнення пожежі працівники повинні бути своєчасно поінформовані про небезпеку та порядок подальших дій. На видимих місцях розміщуються плани евакуації, схеми розташування засобів пожежогасіння та інструкції з пожежної безпеки.

Первинними засобами пожежогасіння в трубопрокатному цеху є порошкові та вуглекислотні вогнегасники, пожежні щити, внутрішні пожежні крани та інші засоби, передбачені нормативними документами.

Однією з обов'язкових умов забезпечення пожежної безпеки є проведення інструктажів та навчання працівників. Персонал повинен знати основні причини виникнення пожеж, правила користування первинними засобами пожежогасіння, порядок виклику пожежно-рятувальних підрозділів та алгоритм евакуації з небезпечної зони. Регулярне проведення практичних тренувань дозволяє підвищити готовність працівників до дій у надзвичайних ситуаціях.

Таким чином, пожежна профілактика в трубопрокатному цеху базується на комплексному поєднанні організаційних та технічних заходів. Своєчасне технічне обслуговування електрообладнання, застосування ефективних засобів захисту, підтримання належного санітарного стану виробничих приміщень та підготовка персоналу дозволяють суттєво знизити ризик виникнення пожеж і забезпечити безпечні умови праці під час експлуатації редуційного стану.

ВИСНОВКИ

На імітаційній моделі в бібліотеці SIMULINK програмного забезпечення MATLAB було виконано моделювання розгону двигуна головного й чистового привода на холостому ході, з імітацією ударного навантаження після досягнення заданої швидкості й двохступенчатого подальшого збільшення швидкості. Результати моделювання, наведені на рисунку 2.6 та рисунку 2.8 наступні.

Допоміжний привод розганяється на протязі $t_p = 1,7\text{с}$, при цьому короткочасний струм не перевищує припустимого. Частота обертання встановлена на рівні $\omega_{х.х.} = 37,15\text{ рад/с}$, тобто практично дорівнює номінальній. Перерегулювання становить – 1,6%.

Після накиду навантаження (захвату металу валками) відбувається зниження частоти обертання до сталого рівня $\omega_{ст} = 36,85\text{ рад/с}$. У такий спосіб статична помилка по швидкості становить:

$$\Delta\omega_{ст} = \omega_{ун} - \omega_{х.х.},$$

$$\Delta\omega_{ст} = 36,85 - 37,15 = -0,3\text{ (рад/с)}.$$

Теоретично ця помилка становить:

$$\Delta\omega_T = \frac{4T\mu R\alpha I_H}{T_M \cdot c}$$

$$\Delta\omega_T = \frac{4 \cdot 0,01 \cdot 0,013 \cdot 2100}{0,24 \cdot 19,59} = 0,29 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right).$$

Прискорення двигуна можна визначити із графіку (рисунок 2.8)

$$\varepsilon = \frac{\omega_{xx}}{t_p}$$

$$\varepsilon = \frac{37.15}{1.7} = 21.85 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \right)$$

2) Привод чистових клітей розганяється за час $t_p = 1,1$ з, при цьому пусковий струм не перевищує припустимого. Стала частота обертання дорівнює $\omega_{x.x.} = 73,26$ рад/с, тобто практично дорівнює номінальній. Перерегулювання становить – 2.85%. Під навантаженням відбувається зменшення обертів до значення $\omega_{\text{нав}} = 70,2$ рад/с.

Використовуючи формулу (2.28) знаходимо статичну помилку по швидкості:

$$\Delta\omega_{\text{ст}} = \omega_{\text{ун}} - \omega_{x.x}$$

$$\Delta\omega_{\text{ст}} = 70,2 - 73,26 = -3,06 \text{ (рад/с)}.$$

Теоретично ця помилка становить (використовуючи формулу 2.29):

$$\Delta\omega_{\text{т}} = \frac{4 \cdot 0,01 \cdot 0.046 \cdot 500}{3,2 \cdot 0,08} = 3,59 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}} \right).$$

Прискорення двигуна можна визначити із графіка (рис. 2.8) використавши формулу (2.30)

$$\varepsilon = \frac{73.26}{1.1} = 66.6 \left(\frac{\text{рад}}{\text{с}^2} \right)$$

Розроблено функціональну схему системи автоматичного регулювання натягу редукційного стану ТПА 30-102 з метою рівномірного розподілу товщини стінки труб, алгоритм керування й обраний комплекс технічних

засобів. Виконано розрахунок САК частотою обертання головного й чистового привода редукційного стана. Зазначена система побудована за принципом підпорядкованого регулювання параметрів.

Дослідження системи на імітаційній моделі підтвердило, що система забезпечує необхідну якість перехідних процесів.

Розгін здійснюється з перерегулюванням не більше 5%, що відповідає настроювання системи на технічний оптимум.

Таким чином, розроблена система може бути використана для керування електроприводами редукційного стана.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Електротехмаш. Модернізація безперервного стану ТПА 30-102 (автоматизація – електрична частина) ТОВ «ІНТЕРПАЙП НІКОТЬЮБ», м. Нікополь [Електронний ресурс] / Електротехмаш. – 2005. – Режим доступу до ресурсу: www.etm.zp.ua.
2. Автоматизовані системи та комплекси. Модернізація потужних електроприводів [Електронний ресурс] / Автоматизовані системи та комплекси. – 2010. – Режим доступу до ресурсу: <http://asc-ural.ru/about/offers/industrial-automation/aed/modernization/>.
3. Chentsov K. Yu. Study of dynamic loads of electromechanical systems of the main drives of roughing stands of a hot rolling mill: dis. Ph.D. tech. Sciences: 05.09.03 / Chentsov K. Yu. – LPTC, 2000. – 158 p.
4. Сільвестров А.М. Островерхов М.Я., Шефер О.В., Ладік Н.А., Зіменков Д.К. Системи автоматичного керування технологічними комплексами: навчальний посібник. – К.: КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022. – 466 с.
5. Савченко І. Д. Приводи систем керування [Текст]: навч. посіб./ І. Д. Савченко.–Д.: РВВ ДНУ, 2014. – 112 с.
6. Грабко В.В., Розводюк М.П., Левицький С.М., Казак М.О. Експериментальні дослідження електричних машин. Частина III. Асинхронні машини. Навчальний посібник. – Вінниця: ВНТУ, 2007. – 197 с.
7. Бешта О. С. Автоматизований електропривод у прокатному виробництві / О. С. Бешта, О. В. Балахонцев, В. А. Бородай. – Дніпро: НГУ, 2010. – 224 с.
8. V.F. Buryanov, E.S. Rokotyan, A.E. Guryevich. Calculation of motor power of main drives of rolling mills. – М., 1962. – 120 p.
9. Он-лайн курси для самостійного навчання MATLAB-Simulink [Електронний ресурс] // Офіційний інтернет-сайт MathWorks. URL: <https://matlabacademy.mathworks.com/>. (дата звернення 18.11.2022).

10. Довідкова система MATLAB [Електронний ресурс] // Офіційний інтернет-сайт MathWorks. URL: <https://de.mathworks.com/help/>. (дата звернення 18.11.2022).

11. Колб Ант.А., Колб А.А. Теорія електроприводу. Навчальний посібник. – Д.: Національний гірничий університет, 2006. – 511 с.



Метадані

ДОКУМЕНТ

Заголовок

151-23д-2026врб

Автор

151-23д-2026врб

Науковий керівник / Експерт

Модло Є.О.

ІД документу

334249867

ОРГАНІЗАЦІЯ

Назва організації

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

підрозділ

STATE UNIVERSITY OF ECONOMICS AND TECHNOLOGY

ЗВІТ

Дата звіту

6/10/2026

Дата редагування

Обсяг знайдених подібностей

Коефіцієнт подібності визначає, який відсоток тексту по відношенню до загального обсягу тексту було знайдено в різних джерелах. Зверніть увагу, що високі значення коефіцієнта не автоматично означають плагіат. Звіт має аналізувати компетентна / уповноважена особа.

4.72%

4.72%

КП 1

9818

Кількість слів

0.04%

0.04%

КЦ

76305

Кількість символів

Тривога

У цьому розділі ви знайдете інформацію щодо текстових спотворень. Ці спотворення в тексті можуть говорити про МОЖЛИВІ маніпуляції в тексті. Спотворення в тексті можуть мати навмисний характер, але частіше характер технічних помилок при конвертації документа та його збереженні, тому ми рекомендуємо вам підходити до аналізу цього модуля відповідально. У разі виникнення запитань, просимо звертатися до нашої служби підтримки.

Заміна букв



4

Інтервали



0

Мікропробіли



0

Білі знаки



0

Парафрази (SmartMarks)



32

Джерела

Нижче наведений список джерел. В цьому списку є джерела із різних баз даних. Колір тексту означає в якому джерелі він був знайдений. Ці джерела і значення Коефіцієнту Подібності не відображають прямого плагіату. Необхідно відкрити кожне джерело і проаналізувати зміст і правильність оформлення джерела.

10 найдовших фраз

Колір тексту

НАЗВА ТА АДРЕСА ДЖЕРЕЛА URL (НАЗВА БАЗИ)

КІЛЬКІСТЬ ІДЕНТИЧНИХ СЛІВ
(ФРАГМЕНТІВ)

ЗГОДА здобувача(чки) вищої освіти
Державного університету економіки і технологій про перевірку
кваліфікаційної роботи на прояви академічного плагіату
та розміщення в Репозитарії Університету

Я, Соломченко Артем Олександрович, підтримую політику Державного університету економіки і технологій з академічної доброчесності і відкритого доступу.

Засвідчую, що кваліфікаційна бакалаврська (магістерська) робота Автоматизована система керування електроприводом редукційного стану (назва роботи повністю) виконана самостійно та не містить академічного плагіату. Я не надавав(ла) і не одержував(ла) недозволену допомогу під час підготовки цієї роботи. Робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Із чинним Положенням про запобігання та виявлення академічного плагіату в роботах здобувачів вищої освіти Державного університету економіки і технологій ознайомлений(а). Чітко усвідомлюю, що в разі виявлення у кваліфікаційній роботі порушення норм академічної доброчесності робота не допускається до захисту або оцінюється незадовільно.

Також я поінформований(на), що відповідно до «Положення про Репозитарій (електронну базу даних) Державного університету економіки і технологій» зазначена робота буде розміщена в Електронному архіві Університету (Репозитарії ДУЕТ). З умовами такого розміщення ознайомлений(на).

Дата

підпис

ініціали, прізвище (власноруч)