

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Сумський державний університет

Факультет електроніки на інформаційних технологій

Кафедра комп'ютеризованих систем управління

«До захисту допущено»

Зав. кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня бакалавр

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

освітньо-професійної програми

«Комп'ютеризовані системи управління та робототехніка»

на тему: «Автоматизація керування електроприводом стрічкопротяжного

тракту папероробної машини»

Здобувача освіти групи СУ-91/4-0

Савлукова Б.В.

Кваліфікаційна робота містить результати власних досліджень. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

(підпис)

Богдан Савлуков

Керівник доцент, к.т.н. Кулінченко Г.В.

(підпис)

Консультант _____

(підпис)

Суми – 2023

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
Кафедра комп'ютеризованих систем управління

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри КСУ

_____ Петро ЛЕОНТЬЄВ

_____ 2023 р.

ЗАВДАННЯ

на кваліфікаційну роботу бакалавра здобувачу вищої освіти

Савлукову Богдану Віталійовичу

1. Тема кваліфікаційної роботи: Автоматизація керування електроприводом стрічкопротяжного тракту папероробної машини_затверджена наказом ректора СумДУ № 0263 від " 14 " березня 2023 р.
2. Термін здачі студентом закінченої роботи " 10 " червня 2023 р.
3. Вихідні дані до кваліфікаційної роботи: звіт з переддипломної практики, наукові роботи, статті, публікації, технічна документація та перелік літературних джерел з матеріалом про подібні системи.
4. Зміст кваліфікаційної роботи (питання, що підлягають розробленню): конструктивно – технологічна характеристика об'єкту автоматизації, розробка схеми інформаційно-матеріальних потоків, опис і способи керування електроприводом папероробної машини, опис контурів контролю і керування, розробка функціональної схеми автоматизації, вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації, вибір ПЛК та інтерфейсів, розробка принципової електричної схеми, створення SCADA системи електроприводу стрічкопротяжного тракту сіткової частини папероробної машини.

5. Перелік графічних матеріалів: Функціональна схема автоматизації, Принципова електрична схема, Мнемосхема електроприводу стрічкопротяжного тракту сіткової частини ПРМ, 36 рисунків, 16 таблиць.

6. Календарний план виконання роботи:

Номер етапу	Зміст етапу виконання роботи	Термін виконання
1	Аналіз завдання кафедри. Складання технічного завдання. Підбір літератури і першоджерел та аналіз подібних існуючих систем.	20.02.2023 – 01.03.2023
2	Конструктивно – технологічний аналіз об'єкту керування. Задачі автоматизації. Аналіз існуючих технічних рішень.	02.03.2023 – 16.03.2023
3	Опис контурів контролю та керування та розробка таблиці вхідних і вихідних сигналів, що описують систему.	17.03.2023 – 26.03.2023
4	Розробка схем автоматизації.	27.03.2023 – 27.04.2023
5	Вибір та обґрунтування технічних засобів автоматизації. Вибір ПЛК та інтерфейсів.	28.04.2023 – 08.05.2023
6	Розробка електричної принципової схеми.	09.05.2023 – 21.05.2023
7	Створення SCADA системи електроприводу стрічкопротяжного тракту сіткової частини папероробної машини.	22.05.2023 – 29.05.2023
8	Оформлення дипломного проекту та супровідної документації.	30.05.2023 – 10.06.2023

7. Дата видачі завдання " 19 " лютого 2023 р.

Керівник проекту:

(науковий ступінь, вчене звання, посада)

(підпис)

Георгій Кулінченко

(ім'я та прізвище)

Здобувач:

студент гр. СУ-91/4-0

(шифр групи)

(підпис)

Богдан Савлюков

(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Тема роботи: Автоматизація керування електроприводом стрічкопротяжного тракту папероробної машини.

Автор: Савлуков Богдан Віталійович; Сумський державний університет; 4 курс; Суми, 2023 р.

Керівник: Кулінченко Георгій Васильович; доцент; кандидат технічних наук.

Робота містить вступ, п'ять розділів та висновки в основному тексті, загальним обсягом 91 сторінка, 36 рисунків, 43 джерела інформації.

Даний дипломний проект спрямований на створення і опис системи керування автоматизованим електроприводом стрічкопротяжного тракту папероробної машини. Актуальність цієї теми обумовлена двома основними причинами бурхливого розвитку світової целюлозно-паперової промисловості. Перша з них - велика безперервно зростаюча потреба населення і різних галузей промисловості в різноманітних видах паперу та картону. Друга причина полягає в тому, що з різних способів використання деревини виробництво целюлози та паперу - одне з найбільш вигідних, оскільки вихід готової продукції по відношенню до витраченої деревини досягає в целюлозно-паперовій промисловості 90-93%.

Розглянуті завдання, видані на проектування. У першому розділі представлено конструктивно-технологічний аналіз об'єкту керування – електроприводу стрічкопротяжного тракту папероробної машини. Другий розділ присвячено опису контурів контролю та керування. Третій розділ присвячено вибору та обґрунтуванню ТЗА. В четвертому розділі розповідається про вибір ПЛК та інтерфейсів. В п'ятому розділі описано розробку SCADA системи та способи зв'язку з нею.

В ході проекту була розроблена система керування електроприводом стрічкопротяжного тракту папероробної машини, призначена для:

- отримання готової продукції з робочою швидкістю 400 м/хв. з обрізною шириною 2,52 м;

- зменшення обривності полотна за рахунок стабілізації і синхронізації приводних секції машини;
- підвищення надійності системи електроприводу;
- скорочення втрат часу на пошук неполадок і ремонт приводів;
- підвищення якості керування системою електроприводу.

Ключові слова: автоматизований електропривод, папероробна машина, автоматизація, датчики технологічних параметрів, SCADA, моніторинг, синхронізація швидкостей, ПЛК.

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
СУМСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ УНІВЕРСИТЕТ
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК
СЕКЦІЯ КОМП'ЮТЕРИЗОВАНИХ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломного проекту

зі спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

на тему:

«Автоматизація керування електроприводом стрічкопротяжного тракту
папероробної машини»

Керівник проекту:

к.т.н., доцент

Кулінченко Г.В.

Здобувач:

Студент гр. СУ-91/4-0

Савлуков Б.В.

ЗМІСТ

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ	4
ВСТУП	5
РОЗДІЛ 1. КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТУ КЕРУВАННЯ	8
1.1 Опис і вибір автоматизованого електроприводу та його місце в технологічній схемі ПРМ.....	8
1.1.1 Вимоги до автоматизованого електроприводу ПРМ.....	9
1.2 Схема інформаційно-матеріальних потоків.....	12
1.3 Визначення споживаної потужності автоматизованого електроприводу ПРМ.....	15
1.4 Частотне регулювання швидкості двигуна змінного струму.....	25
1.5 Обґрунтування вибору.....	27
1.6 Скалярний спосіб керування автоматизованим електроприводом системи «ПЧ-АД».....	29
1.7 Метод синхронізації швидкостей обертання частотно-регульованих приводів.....	31
РОЗДІЛ 2. ОПИС КОНТУРІВ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ	32
2.1 Визначення контурів контролю та керування.....	32
2.2 Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом сіткової частини.....	32
2.3 Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом пресової частини.....	35
2.4 Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом сушильної частини.....	38
2.5 Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом оздоблюючої частини.....	42
2.6 Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом накату.....	43
2.7 Таблиця вхідних-вихідних сигналів.....	45
РОЗДІЛ 3. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ	53
3.1 Вибір давачів.....	53
3.1.1 Давач швидкості сітки, сукна і паперового полотна.....	54
3.1.2 Ємнісний давач наявності сітки, сукна і паперового полотна.....	55
3.1.3 Індуктивний давач крайніх положень верхнього притискного валу.....	57
3.1.4 Тензодавач натягу сітки, сукна і паперового полотна.....	58
3.1.5 Давач лінійного тиску між валами (Давач лінійного переміщення).....	60
3.1.6 Давач визначення положення валу крокового двигуна (Енкодер).....	62
3.1.7 Давач намотки рулону.....	64
3.2 Вибір виконавчих механізмів.....	66
РОЗДІЛ 4. ВИБІР ТА ОБҐРУНТУВАННЯ ПЛК ТА ІНТЕРФЕЙСІВ	74
4.1 Вибір ПЛК.....	74
4.2 Вибір інтерфейсів.....	78
РОЗДІЛ 5. РОЗРОБКА ТА ПРОЕКТУВАННЯ SCADA СИСТЕМИ	82

					<i>СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розроб.</i>		<i>Савлуков Б. В.</i>			<i>Автоматизація керування електроприводом стрічкопротяжного тракту папероробної машини. Пояснювальна записка</i>	<i>Лім.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Листів</i>
<i>Перевір.</i>		<i>Кулічченко Г. В.</i>					2	91
<i>Реценз.</i>						<i>СумДУ, СУ-91/4-0</i>		
<i>Н. Контр.</i>								
<i>Затвердив</i>		<i>Петро ЛЕОНТЬЄВ</i>						

ВИСНОВКИ	86
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	88
Додаток А.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток Б.....	Ошибка! Закладка не определена.
Додаток В.....	111

					<i>СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ</i>	8	<i>Арк</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			

СПИСОК СКОРОЧЕНЬ І УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

АД з КЗ – асинхронний двигун з короткозамкненим ротором

АСР – автоматична система регулювання

АСУ – автоматизована система управління

АСУ ТП – автоматизована система управління технологічним процесом

ВМ – виконавчий механізм

ЕРС – електрорушійна сила

ККД – коефіцієнт корисної дії

ПЛК – програмований логічний контролер

ПРМ – папероробна машина

ПЧ-АД – перетворювач частоти-асинхронний двигун

ПЧ, ЧП – перетворювач частоти

ФСА – функціональна схема автоматизації

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	9	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

ВСТУП

Сьогодні практично неможливо уявити життя кожної людини без автоматизації. Це один із найважливіших і прогресивних напрямів сучасного технологічного розвитку, оскільки він ефективно використовується для досягнення покращених показників ресурсозбереження, підвищення якості та надійності продукції, покращення екології навколишнього середовища.

Папір і картон стали невід'ємною частиною нашого життя, без якої ми вже не можемо уявити цивілізоване суспільство. Для нас папір і картон – це не тільки книги, газети, журнали, предмети санітарії та побуту, а й науково-технічний прогрес. Сьогодні папір та картон все частіше використовуються в таких галузях, як електрика, бездротова електроніка, машинобудування, метрологія та аерокосмічна промисловість. Наприклад, водій за кермом легкового автомобіля навряд чи усвідомлює, що автомобіль має понад 100 деталей, виготовлених із різних видів паперу, картону та продуктів переробки целюлози.

Паперова промисловість є однією з провідних галузей у світі. На даний час паперова промисловість України представлена близько 100 підприємствами, які виробляють та переробляють папір і картон. Щороку ця галузь виробляє продукції на 5,5 мільярда гривень. Найбільш потужні підприємства знаходяться у Хмельницькій, Житомирській, Чернігівській, Одеській, Київській, Львівській, Дніпропетровській та Луганській областях.

Папероробна машина (ПРМ) - машина для вироблення з волокнистої маси паперу шляхом утворення (відливу) шару волокон з подальшим його зневодненням, сушінням і намотуванням в рулон, а також каландруванням, поверхневою обробкою та різкою. Автоматизований електропривод – невід'ємна її частина. Він зокрема дуже сильно впливає на роботу машини і на якість виробленої продукції.

У останні роки успішний розвиток теорії та техніки автоматичного регулювання та електроніки дозволило створити автоматизовані

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	10	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

електроприводи папероробної машини, які відповідають новим і більше високим технічним вимогам, а розвиток силової напівпровідникової техніки – значно покращило економічні показники таких приводів.

Для сучасного промислового виробництва характерно широке впровадження автоматизованого електроприводу, основи механізації та комплексної автоматизації технологічних процесів. Вдосконалення систем автоматизованого електроприводу з використанням нових досягнень науки і техніки є однією з неодмінних умов при вирішенні завдань всесвітнього прискорення зростання продуктивності праці, покращення якості продукції, що випускається та підвищення ефективності суспільного виробництва.

Завдяки своїм перевагам перед усіма іншими видами приводів сучасний електропривод визначає собою рівень силової електроозброєності праці та є основним засобом автоматизації робочих машин та виробничих процесів. [1]

Електропривод - це електромеханічна система, що складається з електродвигунного, перетворювального, передавального та керуючого пристроїв і призначена для приведення в рух виконавчих органів робочої машини та управління цим рухом. [2, с. 29] В окремих випадках у цій системі можуть бути відсутні перетворювальні та передатні пристрої.

В даний час, за рахунок застосування нових і удосконалених систем автоматичного регулювання на папероробній машини, якість паперу покращилась, кількість обривів полотна на друкарських машинах значно поменшало в порівнянні з першими роками застосування багатодвигунних електроприводів.

Враховуючи тенденцію зростання попиту населення на продукцію целюлозно-паперової промисловості, актуальною метою даного дипломного проекту є розробка системи керування автоматизованого електроприводу стрічкопротяжного тракту папероробної машини, яка буде задовольняти вимогам продуктивності (400 м/хв., обрізна ширина 2,52 м.), швидкодії, точності керування (+-1%) та співвідношенню ціна – якість.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	11	

Об'єкт дослідження – процеси, що протікають в контурах системи керування електроприводу стрічкопротяжного тракту папероробної машини.

Предмет дослідження – електропривод стрічкопротяжного тракту папероробної машини.

Даний дипломний проект розроблений з урахуванням сучасних тенденцій в галузі, які спрямовані на зниження собівартості та підвищення якості продукції, що випускається. Ці заходи можуть зробити вироблену продукцію більш конкурентоспроможною.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						12
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1
КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГІЧНИЙ АНАЛІЗ ОБ'ЄКТА
КЕРУВАННЯ

1.1 Опис і вибір автоматизованого електроприводу та його місце в технологічній схемі ПРМ

Автоматизований електропривод папероробної машини - це електромеханічний пристрій, що перетворює електричну енергію на механічну. Забезпечує керування та регулювання механічного технологічного процесу з транспортування паперового полотна.

У папероробних машинах автоматизований електропривод використовується в основному для зміни швидкості, а також для автоматичної стабілізації швидкостей секцій машин, встановлених для певного технологічного процесу.

Багатодвигунний електропривод містить два або більше двигуни або електроприводи, які електрично або механічно пов'язані між собою для забезпечення постійного співвідношення або рівності швидкостей, навантаження або положення робочої машини під час її роботи. У багатодвигунних електроприводах кожна механічна секція приводиться в рух від окремого двигуна. [5, с. 24]

Розвиток автоматизованих багатодвигунних електроприводів папероробних машин йде шляхом їх удосконалення та підвищення точності роботи на основі застосування силових тиристорних перетворювачів, перетворювачів частоти, ЕОМ, пристосування до роботи в загальній автоматичній системі управління технологічним процесом папероробної машини в цілому. Для локальних систем перспективним представляється широке використання мікропроцесорів, які, отримуючи інформацію як від електроприводу та технологічного процесу, так і від загального комп'ютера, виробляють завдання реалізоване аналоговою системою, наприклад, що використовується в існуючих автоматизованих електроприводах.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У загальній системі приводу зазвичай розрізняють: привод допоміжного обладнання, що називається іноді приводом постійної частини машини, і привод власне папероробної машини, зазвичай називається приводом змінної частини машини. На папероробній машині обертаються: нижній вал гауча, нижні вали пресів, сушильні циліндри (зазвичай розділені на кілька приводних груп), нижній вал каландра, накат та ін. Загальна кількість приводних секцій на папероробній машині, залежно від її типу, становить 8-16 і більше.

1.1.1 Вимоги до автоматизованого електроприводу ПРМ

Папероробну машину поділяють на постійну частину, в якій проводиться остаточна підготовка паперової маси і подача її на сітку, створюється необхідне розрідження повітря в ящиках і вакуум-камерах валів, що відсмоктують, і здійснюється ряд інших підготовчих і допоміжних операцій, і змінну частину, в якій відбуваються формування, зневоднення, сушіння, обробка і намотування в рулони полотна, що виробляється.

Більшість механізмів та пристроїв постійної частини машини працює з постійною швидкістю незалежно від швидкості вироблення полотна і, як правило, наводиться від електродвигунів змінного струму, найчастіше асинхронних з короткозамкненим ротором та дистанційним керуванням, пуском та зупинкою.

У ході роботи машини швидкість змінної частини змінюється як в цілому, так і за співвідношенням швидкостей секцій між собою залежно від вимог технологічного процесу машини, що змінюються. У змінній частині зазвичай також застосовують двигуни, що працюють на змінному струмі.

Привод папероробних машин повинен відповідати таким технічним вимогам:

– забезпечення необхідної швидкості машини під час виготовлення певного виду продукції;

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						14
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- підтримка даної швидкості з урахуванням можливих коливань частоти і напруги в мережі живлення;
- забезпечення сталості у співвідношенні швидкостей секцій та натягу полотна паперу;
- управління машини та контроль за її роботою за допомогою відповідних апаратів та приладів;
- ручне регулювання співвідношення швидкостей секції та ін.

Багатодвигунний електропривод дозволяє спростити кінематику механічної частини приводу, полегшити його конструювання та доступ до окремих елементів, забезпечити безпеку під час його обслуговування, зручності керування машиною та окремими секціями, контролювати навантаження окремих приводних частин, спростити застосування при модернізації додаткових пристроїв, удосконалити автоматизацію керування машиною, що найбільш повно задовольнятимуть вимоги технологічних процесів. У зв'язку з цим багатодвигунний привід знаходить широке застосування на сучасних папероробних машинах. [6, с. 505]

На швидкісні режими секції машини та пов'язані з ними процеси деформації полотна у міжсекційних проміжках впливає велика кількість факторів:

- механічні параметри секцій та механічних передач;
- моменти навантаження та характер їх змін у часі;
- міцнісні властивості вологого та сухого полотна разом секційних проміжках;
- параметри електроприводу та регуляторів: зміни величини напруги та частоти струму.

Перелічені фактори перебувають у тісній взаємодії, тому папероробна машина є складним електромеханічним автоматизованим об'єктом, в якому встановився всі процеси взаємно впливають один на одного і на продукцію, що виробляється. Пружні коливання в механічній системі та коливання

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	15	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

швидкості електродвигунів можуть викликати електромеханічний резонанс, що виключає нормальну роботу машини.

Зміни вакууму у вакуумній системі його коливання, зміна тиску пресування, натяг одягу, кількість конденсатів сушильних циліндрах, властивості паперової маси, температура і сушильних циліндрів, зміна системи автоматизованого електроприводу призводить до динамічних режимів.

Комплекс цих збурень викликає зміни швидкості машини, натяг полотна, якість готової продукції і може призвести до обривів полотна. У системі автоматизованого електроприводу для регулювання співвідношення швидкості та між окремими секціями виробляється вплив, який створює нейтралізуючий вплив на збурення.

Пуск папероробної машини на робочу швидкість проводиться шляхом роздільного та почергового пуску секцій. Допускається попередній запуск секцій на допоміжну швидкість з наступним запуском на робочу.

У процесі виробництва на машині полотно паперу піддається до певних деформацій - технологічних подовженнях та усадках як у поперечному, так і в поздовжньому напрямках. Ці деформації різних секцій відрізняються за величиною. Таким чином, швидкості окремих секцій папероробної машини неоднакові. Вони спочатку збільшуються від сіткової частини, потім до кінця машини швидкість зменшується через поздовжню усадку полотна. Середні значення відхилень швидкостей секції, що відраховуються від швидкості першої групи сушильних циліндрів, яка приймається за базову, забезпечується відповідним вибором передавального числа секційних редукторів і є номінальними. [6, с. 506]

Для підрегулювання співвідношень швидкостей у процесі роботи папероробної машини через зміну технологічних умов, знос гумових облицювань робочих валів і т. п. можлива ручна зміна швидкостей окремих секцій на 3-7% при будь-якій швидкості машини.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

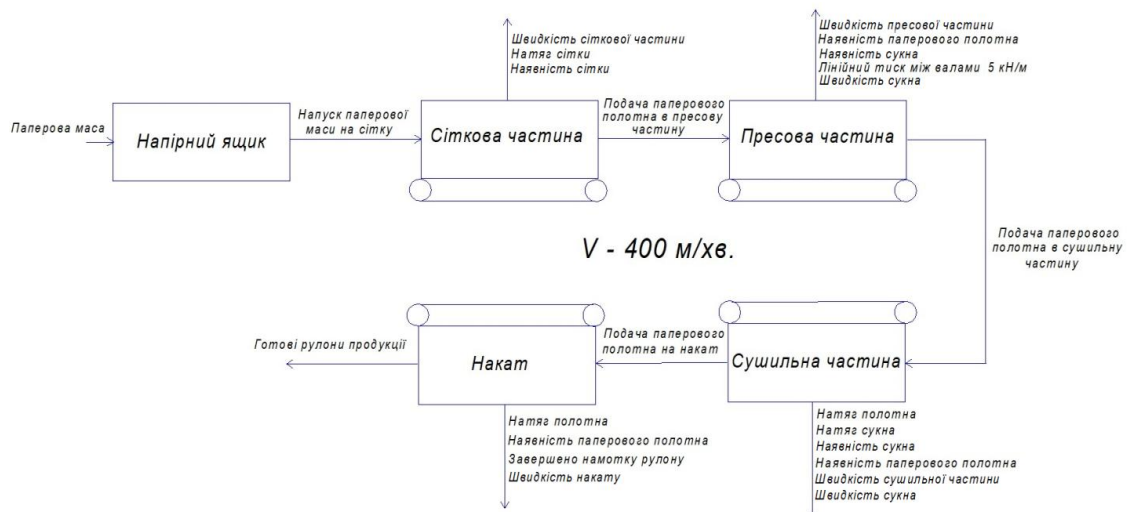
Встановлені значення рівня швидкості машини та співвідношення швидкостей секцій повинні підтримуватись незмінними з високим ступенем точності. Для цього в трансмісійних електроприводах використовують автоматичну систему регулювання (АСР) рівня швидкості машини, а багатодвигунних – дві по суті незалежні АСР: одну – підтримки постійності рівня швидкості машини, іншу – підтримки постійності співвідношень швидкостей її секцій.

Система регулювання швидкості машини має забезпечувати сталість маси 1 м^2 вироблюваного полотна та сприяти підтримці сталості співвідношення швидкостей секцій. На рівень швидкості машини впливають напруга і частота мережі живлення, зміна навантаження секцій і т.д.

Система автоматичного регулювання співвідношення швидкостей секцій має забезпечувати сталість встановленого значення натягу паперового полотна між суміжними секціями машини. [6, с. 508]

1.2 Схема інформаційно – матеріальних потоків

На основі опису та вимог до автоматизованого електроприводу стрічкопротяжного тракту ПРМ складемо схему руху матеріальних потоків системи керування автоматизованого електроприводу ПРМ. Схема руху інформаційно – матеріальних потоків представлена на рисунку 1.2.



					<i>СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ</i>	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		17

Рисунок 1.2 – Схема інформаційно-матеріальних потоків системи керування автоматизованого електроприводу ПРМ

Визначимо параметри для контролю, управління та сигналізації на основі схеми руху матеріальних потоків. Параметри зведемо в таблицю 1.2.

Таблиця 1.2 – Перелік параметрів контролю, управління та сигналізації

№ з/п	Параметр	Точка технологічного процесу	Процес контролю	Діапазон вимірюваної величини	Спосіб регулювання
1	Натяг сітки	Сіткова частина	Сигналізація	-	-
2	Наявність сітки	Сіткова частина	Сигналізація	-	-
3	Наявність паперового полотна	Пресова частина	Сигналізація	-	-
4	Наявність сукна	Пресова частина	Сигналізація	-	-
5	Лінійний тиск між валами	Пресова частина	Управління, сигналізація	0..5 кН/м	Кількістю кроків крокового двигуна
6	Натяг паперового полотна	Сушильна частина	Сигналізація	-	-
7	Натяг сукна	Сушильна частина	Сигналізація	-	-
8	Наявність сукна	Сушильна частина	Сигналізація	-	-
9	Лінійний тиск між валами	Офсетний прес	Управління, сигналізація	0..5 кН/м	Кількістю кроків крокового двигуна

Продовження таблиці 1.2

№ з/п	Параметр	Точка технологічного процесу	Процес контролю	Діапазон вимірюваної величини	Спосіб регулювання
10	Наявність паперового полотна	Сушильна частина	Сигналізація	-	-
11	Натяг полотна	Накат	Сигналізація	-	-
12	Наявність паперового полотна	Накат	Сигналізація	-	-
13	Завершено намотку рулону	Накат	Контроль, сигналізація	-	-
14	Швидкість сіткової частини	Сіткова частина	Контроль, управління	0..400 м/хв.	Частотою обертання валів приводних двигунів
15	Швидкість пресової частини	Пресова частина	Контроль, управління	0..400 м/хв.	Частотою обертання валів приводних двигунів
16	Швидкість сушильної частини	Сушильна частина	Контроль, управління	0..400 м/хв.	Частотою обертання валів приводних двигунів
17	Швидкість накату	Накат	Контроль, управління	0..400 м/хв.	Частотою обертання валів приводних двигунів

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата

СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ

19

Арк

1.3 Визначення споживаної потужності автоматизованого електроприводу ПРМ

Потужність на папероробній машині витрачається на подолання тертя: у підшипниках валів; кочення між валами; шаберів об вали і циліндри сітки по ящиках, що відсмоктують; між ущільненнями камери валу, що відсмоктує; у сальниках сушильних циліндрів тощо. Потужність залежить від швидкості машини, її ширини, навантаження на підшипники, типу підшипників, діаметрів цапф і т.д.

Споживана потужність коливається в залежності від режиму роботи машини: зміни вакууму в ящиках, що відсмоктують, лінійного тиску між валами пресів і каландрів, роботи системи відведення конденсату і зміни коефіцієнта тертя в підшипниках.

Для забезпечення безперебійної роботи паперової машини механічна та електрична частини приводу повинні бути обрані з достатнім запасом. [6, с. 508]

За методом питомих показників низки машин визначають фактично споживану потужність.

Сіткова частина

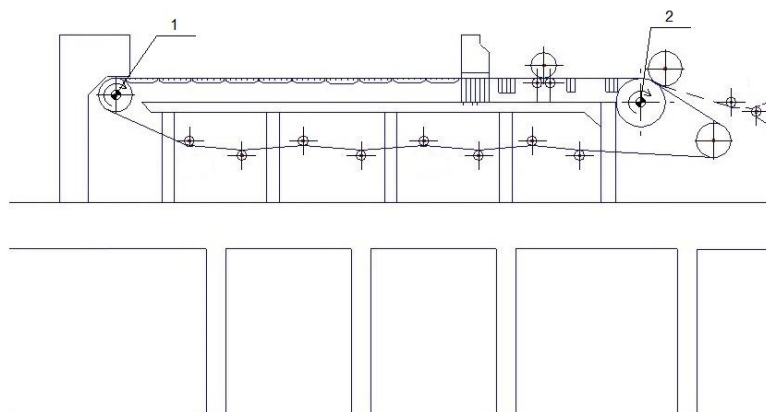


Рисунок 1.3.1 – Схема електроприводу сіткової частини ПРМ:

1 – натяжний двигун сіткової частини; 2 – приводний двигун сіткової частини

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	20	

Споживана потужність:

$$N = \frac{k b v}{\eta_{\text{п}}} \text{ кВт}, \quad (1.1)$$

де k - питомий показник витрати потужності, кВт/м/хв · м;

v - швидкість машини, м/хв;

b – ширина машини, м;

$\eta_{\text{п}}$ – ККД передачі: вибираємо за довідником $\eta_{\text{п}} = 0,9$.

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 2 сіткової частини:

$k = 0,0810$ для сіткової частини, при швидкості (350 – 600 м/хв.)

$v = 416$ м/хв.

$b = 3$ м.

$$N_2 = (0,0810 * 416 * 3) / 0,9 = 112,32 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність натяжного двигуна 1 сіткової частини:

Так як, різниця в швидкостях між приводними точками має бути 1 – 5%, то приймемо $v = 420$ м/хв.

$$N_1 = (0,0810 * 420 * 3) / 0,9 = 113,4 \text{ кВт}$$

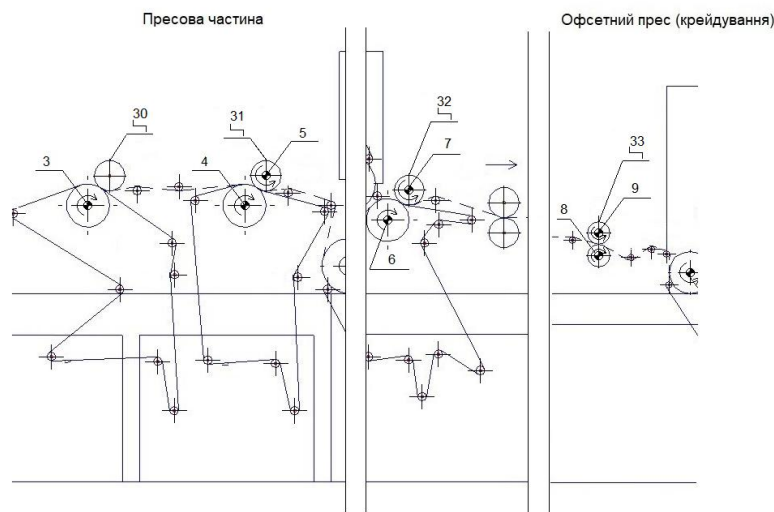


Рисунок 1.3.2 – Схема електроприводу пресової частини ПРМ:

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	21	

3 – приводний двигун першої пресової секції; 4 – приводний двигун другої пресової секції; 5 - приводний двигун верхнього валу другої пресової секції; 6 – приводний двигун третьої пресової секції (після першої сушильної групи); 7 – приводний двигун верхнього валу третьої пресової секції (після першої сушильної групи); 8 – приводний двигун нижнього валу офсетного пресу; 9 – приводний двигун верхнього валу офсетного пресу; 30 – кроковий двигун для завдання притиску верхнього валу першої пресової секції; 31 – кроковий двигун для завдання притиску верхнього валу другої пресової секції; 32 – кроковий двигун для завдання притиску верхнього валу третьої пресової секції (після першої сушильної групи); 33 – кроковий двигун для завдання притиску верхнього валу офсетного пресу

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 3 першої пресової секції пресової частини:

$k = 0,0290$ для пресової частини (звичайний прес), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

Так як, різниця в швидкостях між приводними точками має бути 1 – 5%, то прийmemo $v = 412$ м/хв.

$b = 3$ м.

$$N_3 = (0,0290 * 412 * 3) / 0,9 = 39,83 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 4 другої пресової секції пресової частини:

$k = 0,0220$ для пресової частини (звичайний прес), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

Так як, різниця в швидкостях між приводними точками має бути 1 – 5%, то прийmemo $v = 404$ м/хв.

$b = 3$ м.

$$N_4 = (0,0220 * 404 * 3) / 0,9 = 29,63 \text{ кВт}$$

					<i>СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ</i>	22	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 5 верхнього валу другої пресової секції пресової частини:

$k = 0,0220$ для пресової частини (звичайний прес), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

Так як, це одна й та сама друга пресова секція, то $v = 404$ м/хв.

$b = 3$ м.

$$N_5 = (0,0220 * 404 * 3) / 0,9 = 29,63 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 6 третьої пресової секції (після першої сушильної групи) пресової частини:

$k = 0,0220$ для пресової частини (звичайний прес), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

Так як, різниця в швидкостях між приводними точками має бути 1 – 5%, то приймемо $v = 400$ м/хв.

$b = 3$ м.

$$N_6 = (0,0220 * 400 * 3) / 0,9 = 28,97 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 7 верхнього валу третьої пресової секції (після першої сушильної групи) пресової частини:

$k = 0,0220$ для пресової частини (звичайний прес), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

Так як, це одна й та сама третя пресова секція, то $v = 400$ м/хв.

$b = 3$ м.

$$N_7 = (0,0220 * 400 * 3) / 0,9 = 28,97 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 8 нижнього валу офсетного пресу пресової частини:

$k = 0,0070$ для пресової частини (згладжуючий прес (крейдування)), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Далі ПРМ виходить на свою робочу швидкість, а натяг полотна контролюється натягом сукна за допомогою механічних сукнонатяжок, тому в подальших розрахунках, прийmemo $v = 400$ м/хв.

$$b = 3 \text{ м.}$$

$$N_8 = (0,0070 * 400) / 0,9 * 3 = 9,34 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 9 верхнього валу офсетного пресу пресової частини:

$k = 0,0070$ для пресової частини (згладжуючий прес (крейдування)), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

$$v = 400 \text{ м/хв.}$$

$$b = 3 \text{ м.}$$

$$N_9 = (0,0070 * 400 * 3) / 0,9 = 9,34 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність крокових двигунів 30, 31, 32, 33 для завдання притиску верхніх валів пресової частини:

Зазвичай лінійний тиск між валами пресової частини становить 3 - 5 кН/м = 305,9149 - 509,8581 кг/см. Цього значення крутного моменту вистачить для того, щоб підіймати і опускати верхній вал пресових секцій.

$$N_{30,31,32,33} = (220 * 7) / 0,9 = 1,71 \text{ кВт}$$

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	24	

1-ша сушильна група

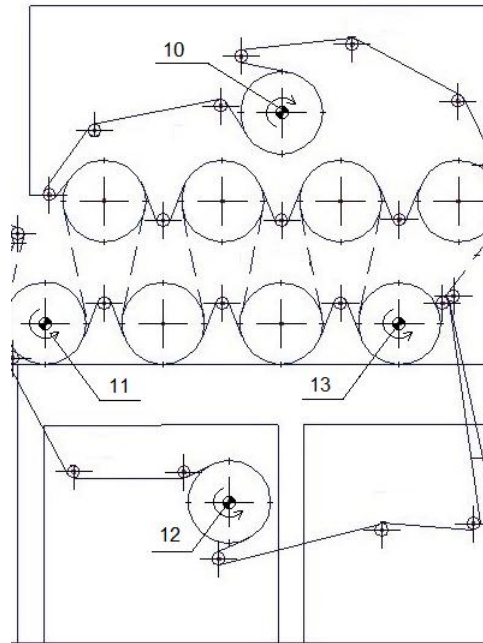


Рисунок 1.3.3 – Схема електроприводу першої сушильної групи сушильної частини ПРМ:

10 – приводний двигун верхнього охолоджуючого барабана; 11 – приводний двигун першого сушильного барабана; 12 - приводний двигун нижнього охолоджуючого барабана; 13 – приводний двигун другого сушильного барабана

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 10 верхнього охолоджуючого барабана сушильної частини:

$k = 0,0150$ для сушильної частини (перша сушильна група), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

$$v = 400 \text{ м/хв.}$$

$$b = 3 \text{ м.}$$

$$N_{10} = (0,0150 * 400 * 3) / 0,9 = 20 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 11 першого сушильного барабана сушильної частини:

$k = 0,0150$ для сушильної частини (перша сушильна група), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

					<i>СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ</i>	25	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$v = 400 \text{ м/хв.}$$

$$b = 3 \text{ м.}$$

$$N_{11} = (0,0150 * 400 * 3) / 0,9 = 20 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 12 нижнього охолоджуючого барабана сушильної частини:

$k = 0,0150$ для сушильної частини (перша сушильна група), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

$$v = 400 \text{ м/хв.}$$

$$b = 3 \text{ м.}$$

$$N_{12} = (0,0150 * 400 * 3) / 0,9 = 20 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 13 другого сушильного барабана сушильної частини:

$k = 0,0150$ для сушильної частини (перша сушильна група), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

$$v = 400 \text{ м/хв.}$$

$$b = 3 \text{ м.}$$

$$N_{13} = (0,0150 * 400 * 3) / 0,9 = 20 \text{ кВт}$$

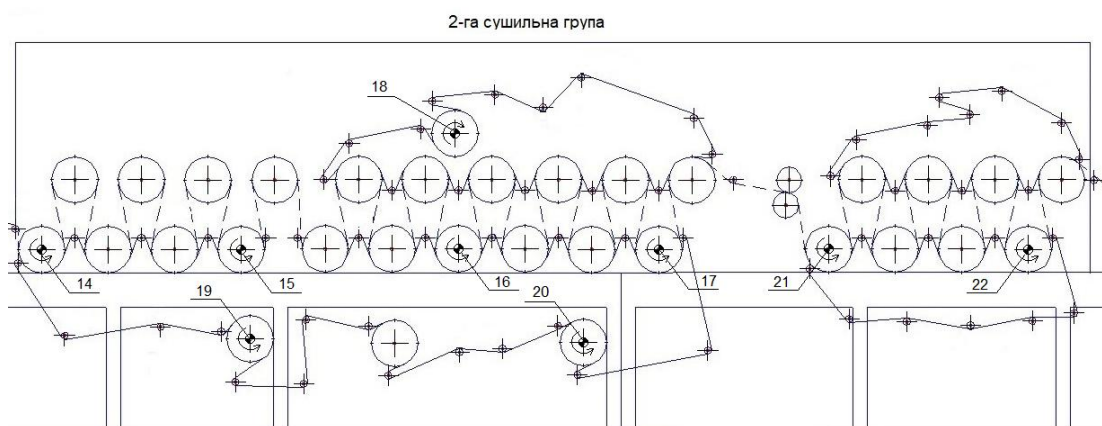


Рисунок 1.3.4 – Схема електроприводу другої сушильної групи сушильної частини ПРМ:

14, 15, 16, 17, 21, 22 – приводні двигуни сушильних барабанів; 18, 19, 20 – приводні двигуни охолоджуючих барабанів

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		26

Розрахуємо фактично споживану потужність приводних двигунів 14, 15, 16, 17, 21, 22 сушильних барабанів другої сушильної групи сушильної частини:

$k = 0,0125$ для сушильної частини (друга сушильна група), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

$$v = 400 \text{ м/хв.}$$

$$b = 3 \text{ м.}$$

$$N_{14,15,16,17,21,22} = (0,0125 * 400 * 3) / 0,9 = 16,7 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність приводних двигунів 18, 19, 20 охолоджуючих барабанів сушильної частини:

$k = 0,0125$ для сушильної частини (друга сушильна група), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

$$v = 400 \text{ м/хв.}$$

$$b = 3 \text{ м.}$$

$$N_{18,19,20} = (0,0125 * 400 * 3) / 0,9 = 16,7 \text{ кВт}$$

Оздоблююча частина

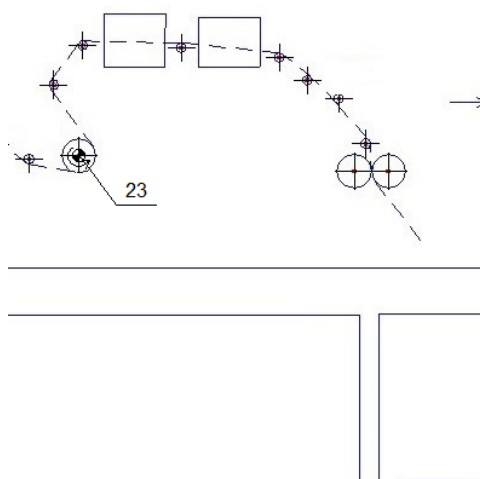


Рисунок 1.3.5 – Схема електроприводу оздоблюючої частини ПРМ (проклеювання паперового полотна):

23 – приводний двигун ведучого (натяжного) вала оздоблюючої частини

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк 27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 23 ведучого (натяжного) вала оздоблюючої частини:

$k = 0,0110$ для оздоблюючої частини (проклеювання паперового полотна), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

$v = 400$ м/хв.

$b = 3$ м.

$$N_{23} = (0,0110 * 400 * 3) / 0,9 = 14,67 \text{ кВт}$$

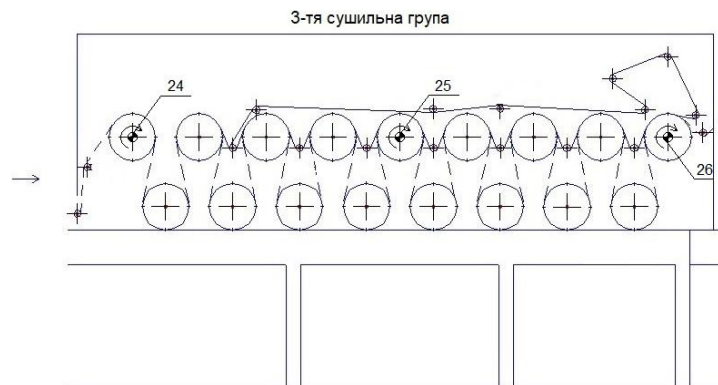


Рисунок 1.3.6 – Схема електроприводу третьої сушильної групи сушильної частини ПРМ:

24, 25, 26 – приводні двигуни сушильних барабанів

Розрахуємо фактично споживану потужність приводних двигунів 24, 25, 26 сушильних барабанів третьої сушильної групи сушильної частини:

$k = 0,0100$ для сушильної частини (третя сушильна група), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

$v = 400$ м/хв.

$b = 3$ м.

$$N_{24,25,26} = (0,0100 * 400 * 3) / 0,9 = 13,33 \text{ кВт}$$

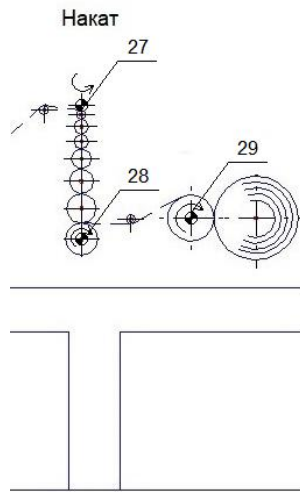


Рисунок 1.3.7 – Схема електроприводу накату ПРМ:

27 – приводний двигун верхнього валу каландру; 28 – приводний двигун нижнього валу каландру; 29 - приводний двигун валу для намотки рулону

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 27 верхнього валу каландру наката:

$k = 0,0530$ для наката (восьмивальний каландр), при швидкості (350 – 600 м/хв.)

$$v = 400 \text{ м/хв.}$$

$$b = 3 \text{ м.}$$

$$N_{27} = (0,0530 * 400 * 3) / 0,9 = 70,7 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 28 нижнього валу каландру наката:

$k = 0,0530$ для наката (восьмивальний каландр).

$$v = 400 \text{ м/хв.}$$

$$b = 3 \text{ м.}$$

$$N_{28} = (0,0530 * 400 * 3) / 0,9 = 70,7 \text{ кВт}$$

Розрахуємо фактично споживану потужність приводного двигуна 29 для намотки рулону:

$k = 0,0190$ для наката, при швидкості (350 – 600 м/хв.)

					<i>СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ</i>	29	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

$$v = 400 \text{ м/хв.}$$

$$b = 3 \text{ м.}$$

$$N_{29} = (0,0190 * 400 * 3) / 0,9 = 25,34 \text{ кВт}$$

1.4 Частотне регулювання швидкості двигуна змінного струму

Застосування частотного регулювання є найефективнішим способом регулювання швидкості двигуна змінного струму, яке дозволяє отримати хороші механічні характеристики асинхронних двигунів, а також вирішити задачу синхронізації швидкостей обертання електродвигунів.

Основними перевагами цієї системи регульованого електроприводу є:

- плавність регулювання та висока жорсткість механічних характеристик, що дозволяє регулювати швидкість в широкому діапазоні;
- економічність регулювання, яка визначається тим, що двигун працює з малими абсолютними значеннями ковзання і втрати двигуна не перевищують номінальних значень. [7]

Силова частина багатодвигунних електроприводів може бути побудована як за схемою із загальним ПЧ, так і з індивідуальними перетворювачами, що забезпечують гнучкіше управління промисловими установками (див. рис 1.4.1). В обох випадках характерною рисою таких установок є загальне навантаження, і проблема забезпечення її рівномірного розподілу між двигунами є однією з найважливіших для багатодвигунних електроприводів. [8]

У випадку коли двигуни в багатодвигунному електроприводі живляться від індивідуальних ПЧ, існує функція вирівнювання навантаження, яка може бути використана для кращого розподілу навантаження між двигунами.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	30	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

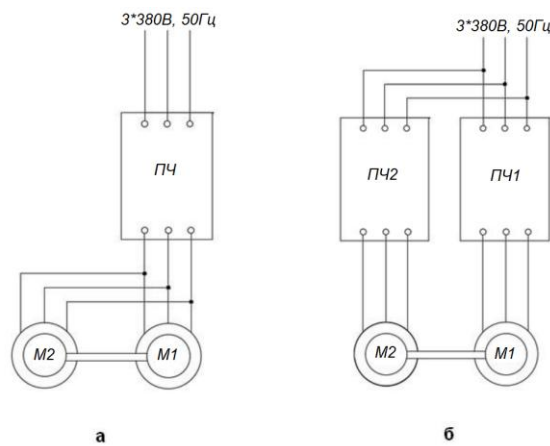


Рисунок 1.4.1 – Варіанти підключення багатодвигунного асинхронного електроприводу: а) групове; б) індивідуальне.

Робота функції вирівнювання навантаження полягає у застосуванні штучного ковзання, створеного перетворювачем частоти. При гнучкому зв'язку валів приводів (ПРМ) можливе неузгодження швидкостей обертання валів електродвигунів (див. рис 1.4.2). Тому необхідно забезпечити синхронізацію швидкості.

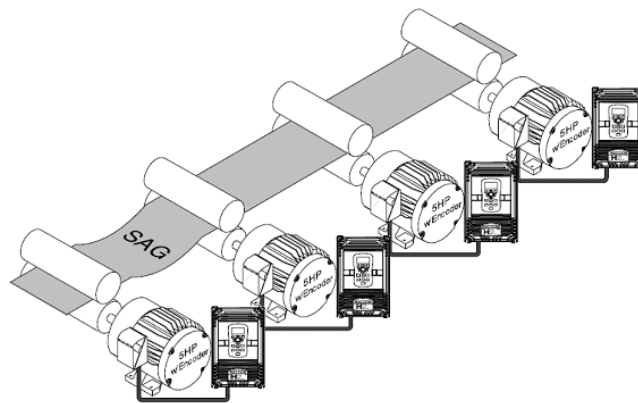


Рисунок 1.4.2 – Багатодвигунний електропривод, пов'язаний гнучким матеріалом (стрічко – протяжним трактом)

Особливістю приводів з частотним керуванням є використання перетворювачів енергії на основі підсилювачів струму, тобто підсилювачів напруги з негативним зворотним зв'язком по миттєвим значеннями фаз двигуна. У цьому випадку фазні напруги двигуна автоматично генеруються перетворювачем енергії відповідно до заданого режиму.

Переваги, притаманні частотному керуванню:

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	31	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- Можливість максимального використання двигуна для отримання високих енергетичних показників і максимального крутного моменту на валу при заданому струмі порівняно простими технічними засобами;
- Високі статичні і динамічні показники приводу та його крутний момент на валу;
- Лінійна функція вхідного сигналу для повного діапазону швидкостей електроприводу;
- Виключає можливість перекидання, виходу з синхронізму і тряски двигунів змінного струму;
- Контроль миттєвих значень фазних струмів в електродвигунах підвищує надійність перетворювачів енергії. [8]

1.5 Обґрунтування вибору

Стрічкопротяжний тракт ПРМ відноситься до механізму безперервного руху з постійним розподіленням навантаженням. Багато стрічкопротяжних трактів мають пружні механічні ланки з недостатньою жорсткістю кінетичного ланцюга. Це впливає на вибір електроприводу та систем керування, оскільки вони мають гасити механічні коливання під час розгону та гальмування.

Вимоги, до електроприводу стрічкопротяжного тракту:

- 1) Регулювання швидкості не потрібно або потрібно лише на невеликих ділянках;
- 2) Оскільки статичний момент тертя більший за динамічний момент тертя, необхідно збільшити пусковий момент;
- 3) Повинна бути забезпечена плавність перехідних процесів, включаючи обмеження прискорень і ривків, усунення вібрації і ковзання механізму, пом'якшення динамічних сил при наявності пружних зв'язків;

					<i>СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ</i>	32	Арк
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			

4) При використанні декількох барабанів привод повинен забезпечувати синхронізацію їх переміщень, тобто встановити розрахунковий розподіл тягового зусилля між барабанами;

5) Приводи стрічкопротяжних трактів із підвищеною швидкістю стрічки вимагає забезпечення зниженої швидкості до 1 м/с, щоб забезпечити можливість її перевірки та огляду. [7]

Вищевказані особливості висувають особливі вимоги до приводів стрічкопротяжних трактів, щоб забезпечити підвищену надійність, простоту обслуговування та високий пусковий момент. У деяких випадках необхідно забезпечити плавний пуск і зупинку стрічкопротяжних трактів, щоб сукно, сітка або паперове полотно не зісковзували. Значення швидкості потрібно трохи відкоригувати 1:2, щоб змінити робочу швидкість стрічкопротяжного тракту, електропривод кількох секцій повинен обертатися узгоджено.

Відповідно до перерахованих вимог підходить електропривод з трифазним асинхронним двигуном з фазним і короткозамкненим ротором.

Асинхронні двигуни настільки прості у використанні, що широко використовуються на практиці.

Залежно від потреби в плавному пуску та вимогах до регулювання швидкості застосовуються:

- Електропривод з короткозамкненим асинхронним двигуном з високим пусковим моментом;

- Асинхронний електропривод з фазним ротором для плавного пуску.

При використанні двигуна з фазним ротором пусковий струм можна зменшити і збільшити пусковий момент шляхом введення в ланцюг ротора пускового реостату. Застосування цих електродвигунів обмежене через їх складну конструкцію та високу вартість. Використовуються в основному як приводи механізмів зі складними умовами пуску. Для зменшення пускового струму асинхронного двигуна з короткозамкненим ротором слід використовувати перетворювач частоти або пристрій плавного пуску.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		33

У випадку, якщо основною вимогою є регулювання швидкості, то привод за схемою ПЧ-АД є найбільш підходящим рішенням.

Асинхронні двигуни змінного струму стають все більш популярними в наші дні, оскільки вони простіші та дешевші за інші типи електродвигунів. При виборі асинхронного двигуна слід враховувати два фактори: ефективність перетворення енергії (ККД) та тип виконання агрегату. [7]

Нормальний якісний електродвигун має ККД 75-85%, більш якісний – 85-95%. Високоєфективні двигуни (з високим ККД) значно дорожчі за звичайні, але вони швидко окупаються, якщо електродвигун продовжує працювати безперервно.

Приводи ПЧ-АД створюють максимальний крутний момент, щоб забезпечити надійний і плавний запуск АД за будь-яких умов. Регулюючи частоту обертання магнітного поля АД, виконується точне вирівнювання навантаження приводів без збільшення ковзання АД. Надійне обмеження навантаження досягається за допомогою блокування ланцюга рекуперативного гальмування АД. Привод забезпечує плавне регулювання швидкості ланцюга. Таким чином, система ПЧ-АД рекомендована як система, що відповідає основним вимогам до приводу стрічкопротяжного тракту ПРМ. [7]

1.6 Скалярний спосіб керування автоматизованим електроприводом системи «ПЧ - АД»

На основі режимів роботи та вибору частотного керування асинхронними короткозамкненими електродвигунами механізмів пересування, розглядається на мою думку, оптимальний скалярний спосіб керування автоматизованим електроприводом.

Скалярний спосіб керування в замкнутій системі регулювання електроприводом, або U/f регулювання, є широко поширеним у використанні та більш простим у реалізації. Його принцип заснований на

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						34
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

підтримці сталості відношення між напругою та частотою на статорі двигуна ($U/f = \text{const}$). При регулюванні напруга та струм розглядаються як скалярні величини, тобто використовуються модулі цих величин [9].

Частота і напруга виступають як дві керуючі дії, які регулюються спільно. При цьому частота приймається за незалежний вплив, а значення напруги при даній частоті визначається виходячи з того, як повинен змінюватися вид механічних характеристик приводу при зміні частоти, тобто в першу чергу з того, як повинен змінюватися, залежно від частоти, критичний момент. Вид механічних характеристик при цьому регулюванні показаний на рис. 1.6.

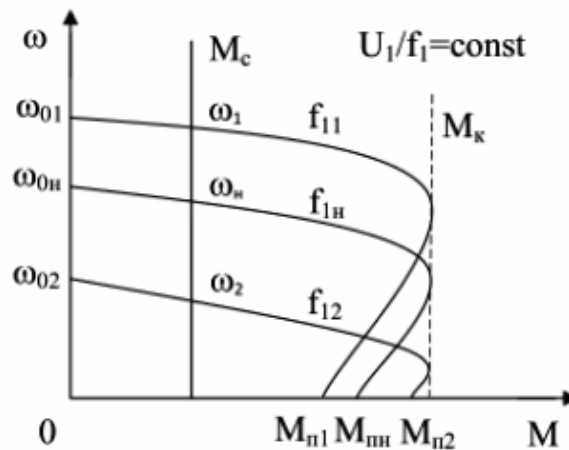


Рисунок 1.6 – Механічні характеристики електроприводу з асинхронним електродвигуном при законі керування $U/f = \text{const}$

При U/f регулюванні двигунів невеликої та середньої потужності враховується активний опір статорної обмотки, що зумовлює падіння напруги $I_1 R_1$ та зменшення напруги E_a на виході. Для збереження рівня напруги після обмотки статора застосовується IR – компенсація. Принцип компенсації ґрунтується на збільшенні напруги статорної обмотки.

Для точності регулювання швидкості застосовують замкнуті системи керування електроприводами. Вони виражені у введенні зворотного зв'язку зі швидкістю та використанням відповідного регулятора. [10]

1.7 Метод синхронізації швидкостей обертання частотно – регульованих приводів

Метод, що розглядається, передбачає використання індивідуальних ПЧ, а синхронізація швидкості відбувається без використання давачів зворотного зв'язку за швидкістю (див. рис. 1.7).

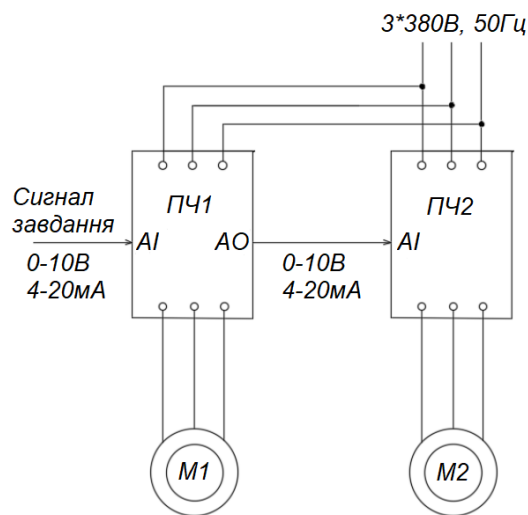


Рисунок 1.7 – Передача сигналу завдання за аналоговим сигналом

Цей спосіб найбільш простий у реалізації і не потребує додаткових пристроїв (інтерфейсних плат, датчиків зворотного зв'язку тощо). Синхронізація швидкості організована за допомогою зв'язку між ПЧ через аналогові сигнали. Усі ПЧ отримують одне загальне завдання. Точність завдання швидкості ведених ПЧ при використанні аналогових сигналів буде напряму залежати від розрядності АЦП та ЦАП аналогових входів-виходів частотних перетворювачів.

Точність синхронізації швидкостей при використанні скалярного способу керування може бути забезпечена у межах $\pm 1\%$ у діапазоні регулювання 1:100 з динамічним відгуком приблизно 5Гц. [11]

РОЗДІЛ 2

ОПИС КОНТУРІВ КОНТРОЛЮ ТА КЕРУВАННЯ

Для ефективної автоматизації керування електроприводом стрічкопротяжного тракту необхідно виділити контури контролю та керування та представити таблицю сигналів, які будуть існувати в системі.

2.1 Визначення контурів контролю та керування

В даній системі передбачені такі контури контролю та керування:

- Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом сіткової частини;
- Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом пресової частини;
- Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом сушильної частини;
- Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом оздоблюючої частини;
- Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом накату.

2.2 Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом сіткової частини

Контур контролю та керування швидкістю

Оскільки сіткова частина ПРМ приводиться в рух АД з КЗ, нам обов'язково потрібен контур контролю та керування швидкістю.

В дипломному проекті я вирішив обрати керування електродвигуном саме за допомогою частотного перетворювача.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Це пояснюється тим, що перетворювачі частоти не тільки забезпечують плавний пуск асинхронних електродвигунів, але й дозволяють встановлювати швидкість обертання і момент на валу в широкому діапазоні від нуля до номінального.

Для визначення швидкості сіткової частини використовується давач швидкості SE, в якому поступовий рух сітки перетворюється в обертання магнітного ротора тахогенератора. При цьому в обмотці статора формується ЕРС, характеристики якої пропорційні швидкості руху сітки. Незалежно від механізму роботи давача швидкості, сигнал, що генерується надходить у контролер для подальшої обробки та використання.

Контур контролю наявності сітки (сходу)

Контроль наявності сітки можна організувати за допомогою ємнісних давачів наявності GE. Ємнісними давачами називають такі давачі, в яких вимірювана величина перетворюється у значення ємності безпосередньо чи при механічних переміщеннях. Відомо, що ємність плоского конденсатора пропорційна до діелектричної проникності середовища та площі пластин і обернено пропорційна до відстані між пластинами. Принцип роботи ємнісних давачів і базується на зміні однієї із зазначених величин. [12]

Тобто - це електронні давачі, які генерують вихідний сигнал, коли сітка входить до їх чутливої області, не вступаючи в прямий контакт.

Принцип дії описуваних пристроїв полягає в вимірі параметрів ємності чутливого елемента. Ємнісні сигналізатори виконані без використання рухливих деталей, що підвищує надійність їх експлуатації. Конструктивно ці прилади являють собою моноблок, що включає в себе наступні компоненти:

- Вимірювальний зонд;
- Блок електроніки. [13]

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	38	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Ємнісні давачі прості за конструкцією, володіють високою чутливістю, низькою ціною та відносно низькою інерційністю. Існують моделі з захистом від зовнішніх полів, паразитних ємностей, температури та вологості.

Щойно виникає сигнал з ємнісного давача, що сітка зійшла з свого нормального положення, спрацьовує блокування секції і її повна зупинка, так як подальша робота неможлива через ймовірність пошкодження або виходу з ладу сітки або всієї секції ПРМ. Такі ж давачі використовуються і для перевірки наявності паперового полотна і перевірки наявності сукна.

Контур контролю натягу сітки

Правильне значення натягу сіток і сукон впливає на безліч взаємозалежних результатів роботи різного устаткування, які впливають на продуктивність, надійність і якість.

Тензодавач натягу сітки WE дозволяє легко перевірити натяг сітки або сукна. Це вимірювання важливо для правильної, тривалої роботи, а також точності і ефективності системи.

Тензодавач вбудовуються в конструкцію натяжної станції або встановлюються під окремий сітководучий, сукноведучий вал, з розрахунком геометрії проводки, щоб одержати натяг в реальних одиницях.

Якщо натяг сітки недостатній, то на контролер приходить сигнал з тензодавача і спрацьовує блокування секції і її повна зупинка, так як подальша робота неможлива через ймовірність пошкодження або виходу з ладу сітки або всієї секції ПРМ. Такі ж давачі використовуються і для перевірки натягу сукна і перевірки натягу паперового полотна.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						39
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

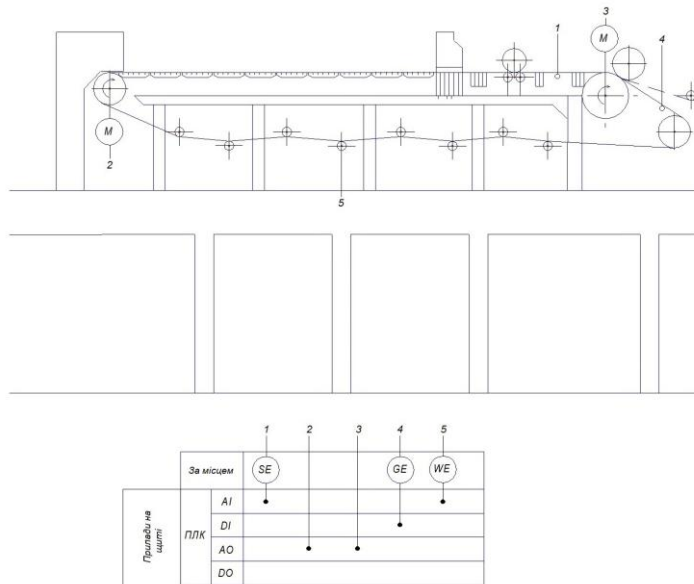


Рисунок 2.2 – Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом сіткової частини

2.3 Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом пресової частини

Контур контролю та керування швидкістю

Оскільки пресова частина ПРМ приводиться в рух АД з КЗ, нам обов'язково потрібен контур контролю та керування швидкістю.

Для визначення швидкості пресової частини використовується давач швидкості SE, в якому поступовий рух сукна перетворюється в обертання магнітного ротора тахогенератора. При цьому в обмотці статора формується ЕРС, характеристики якої пропорційні швидкості руху сукна. Незалежно від механізму роботи давача швидкості, сигнал, що генерується надходить у контролер для подальшої обробки та використання.

Контур контролю наявності паперового полотна

Контроль наявності паперового полотна можна організувати за допомогою ємнісних давачів наявності GE. Контроль цього параметру необхідний для визначення обриву паперового полотна або його незаправки.

Щойно виникає сигнал з ємнісного давача, що паперове полотно відсутнє, спрацьовує блокування секції і її повна зупинка, так як подальша робота неможлива. Такі ж давачі використовуються і для перевірки наявності сітки і перевірки наявності сукна.

Контур контролю та керування величиною лінійного притиску верхнього валу пресу

Основними вузлами пресів, де здійснюється обробка полотна, що рухається тиском, є вали. Ці вали повинні задовольняти вимоги надійності, довговічності, ремонтпридатності, забезпечувати рівномірність лінійного тиску та можливість його зміни із збереженням рівномірності по довжині.

Рівномірність лінійного тиску між валами пресів і каландрів дуже впливає на рівномірність по всій ширині паперового полотна таких показників якості, як вологість, товщина, гладкість і лиск.

Виходячи з цього, нам обов'язково потрібен контур контролю та керування величиною лінійного притиску верхнього валу пресу.

Контроль величини лінійного притиску верхнього валу пресу можна організувати за допомогою давачів лінійних переміщень GE.

Керування величиною притиску реалізовується за допомогою крокового двигуна з редуктором, який через важільний механізм приводить в рух верхній вал пресу.

Для визначення крайніх положень валу (максимального і мінімального положень) використовуються 2 індуктивні давачі положення GE.

Для отримання зворотного зв'язку по положенню валу крокового двигуна використовується енкодер G.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						41
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

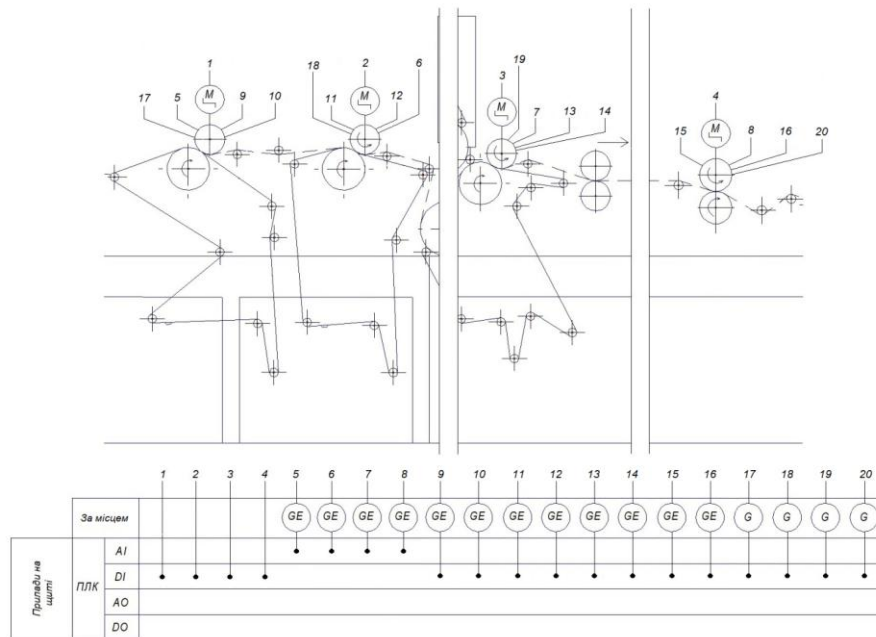


Рисунок 2.3.1 – Контур контролю та керування величиною лінійного притиску верхнього валу пресу

Контур контролю наявності сукна (сходу)

Контроль наявності сукна можна організувати за допомогою ємнісних датчиків наявності GE.

Щойно виникає сигнал з ємнісного датчика, що сукно зійшла з свого нормального положення, спрацьовує блокування секції і її повна зупинка, так як подальша робота неможлива через ймовірність пошкодження або виходу з ладу сукна або всієї секції ПРМ. Такі ж датчики використовуються і для перевірки наявності паперового полотна і перевірки наявності сітки.

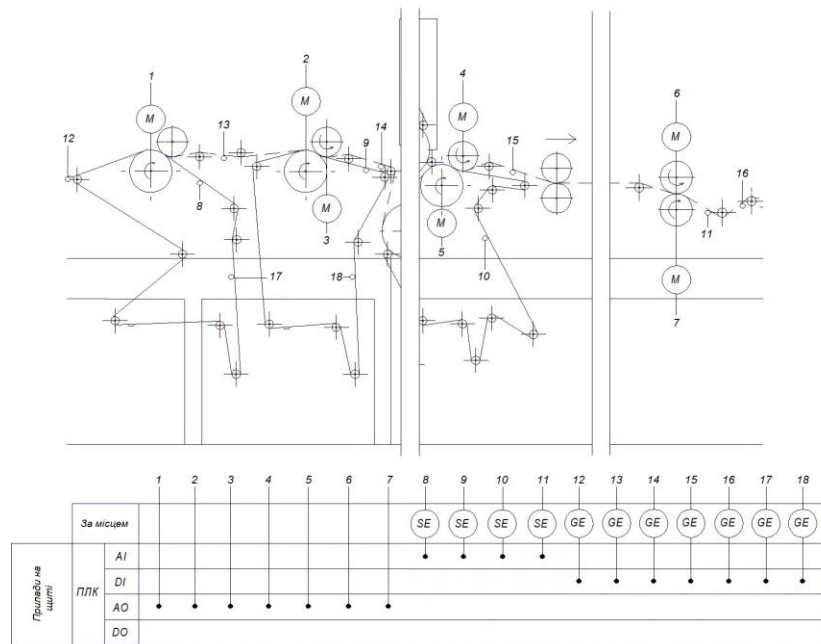


Рисунок 2.3.2 – Контури контролю та керування стрічкопротяжного тракту пресової частини

2.4 Контури контролю та керування стрічкопротяжного тракту сушильної частини

Контур контролю та керування швидкістю

Оскільки сушильна частина ПРМ приводиться в рух АД з КЗ, нам обов'язково потрібен контур контролю та керування швидкістю.

Для визначення швидкості сушильної частини використовується датчик швидкості SE, в якому поступовий рух сукна перетворюється в обертання магнітного ротора тахогенератора. При цьому в обмотці статора формується ЕРС, характеристики якої пропорційні швидкості руху сукна. Незалежно від механізму роботи датчика швидкості, сигнал, що генерується надходить у контролер для подальшої обробки та використання.

Контур контролю наявності паперового полотна

Контроль наявності паперового полотна можна організувати за допомогою ємнісних давачів наявності GE. Контроль цього параметру необхідний для визначення обриву паперового полотна або його незаправки.

Щойно виникає сигнал з ємнісного давача, що паперове полотно відсутнє, спрацьовує блокування секції і її повна зупинка, так як подальша робота неможлива. Такі ж давачі використовуються і для перевірки наявності сітки і перевірки наявності сукна.

Контур контролю наявності сукна (сходу)

Контроль наявності сукна можна організувати за допомогою ємнісних давачів наявності GE.

Щойно виникає сигнал з ємнісного давача, що сукно зійшла з свого нормального положення, спрацьовує блокування секції і її повна зупинка, так як подальша робота неможлива через ймовірність пошкодження або виходу з ладу сукна або всієї секції ПРМ. Такі ж давачі використовуються і для перевірки наявності паперового полотна і перевірки наявності сітки.

Контур контролю натягу сукна

Тензодавач натягу сукна WE дозволяє легко перевірити натяг сукна. Це вимірювання важливо для правильної, тривалої роботи, а також точності і ефективності системи.

Якщо натяг сукна недостатній, то на контролер приходить сигнал з тензодавача і спрацьовує блокування секції і її повна зупинка, так як подальша робота неможлива через ймовірність пошкодження або виходу з ладу сітки або всієї секції ПРМ. Такі ж давачі використовуються і для перевірки натягу сітки і перевірки натягу паперового полотна.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контур контролю натягу паперового полотна

Тензодавач натягу паперового полотна WE дозволяє легко перевірити його натяг. Це вимірювання важливо для правильної, тривалої роботи, а також точності і ефективності системи.

Якщо натяг паперового полотна недостатній, то на контролер приходить сигнал з тензодавача, який має виробити керуючий вплив синхронізації швидкостей (встановлення необхідної різниці величин швидкості для заданої величини натягу паперового полотна) приводів тієї частини сушильної частини, де встановлений цей давач. Такі ж давачі використовуються і для перевірки натягу сітки і перевірки натягу паперового сукна.

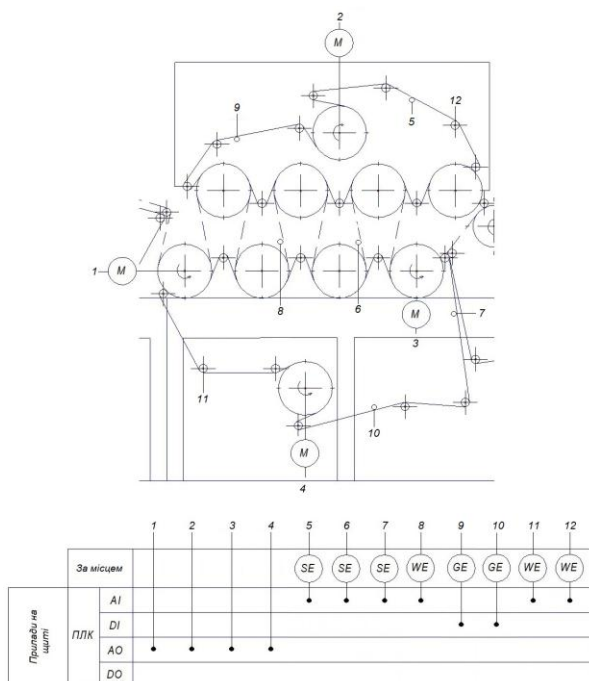


Рисунок 2.4.1 – Контури контролю та керування стрічкопротяжного тракту першої сушильної групи сушильної частини

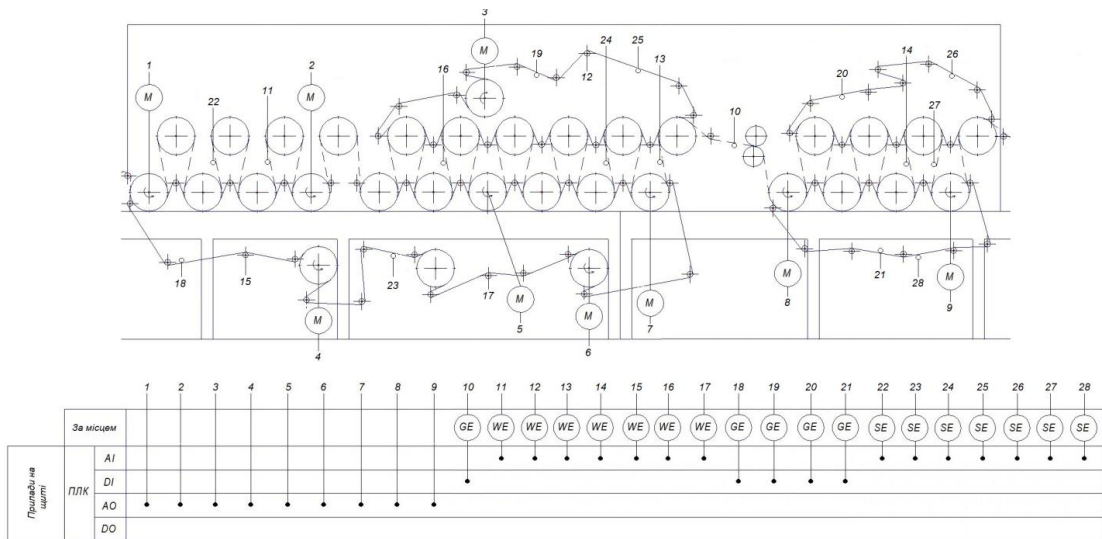


Рисунок 2.4.2 – Контури контролю та керування стрічкопротяжного тракту другої сушильної групи сушильної частини

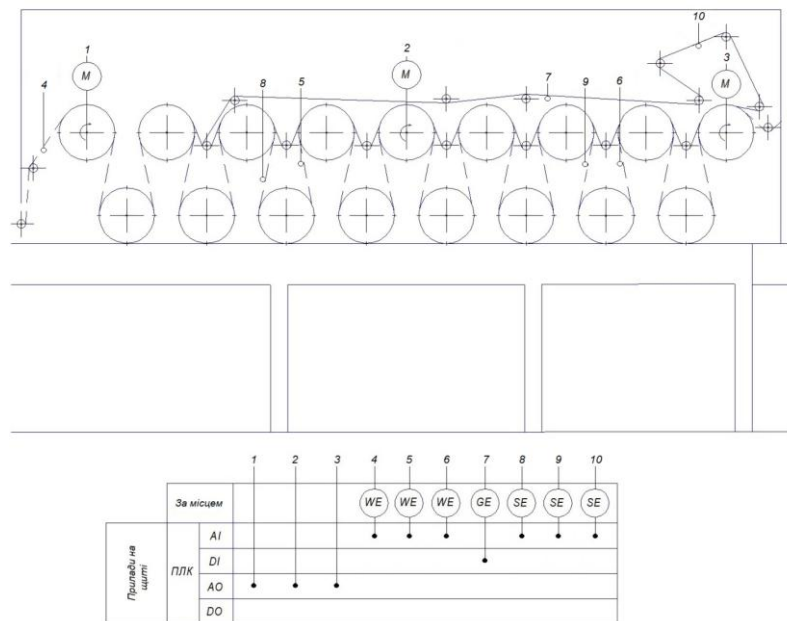


Рисунок 2.4.3 – Контури контролю та керування стрічкопротяжного тракту третьої сушильної групи сушильної частини

2.5 Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом оздоблюючої частини

Контур контролю та керування швидкістю

Оскільки оздоблююча частина ПРМ приводиться в рух АД з КЗ, нам обов'язково потрібен контур контролю та керування швидкістю.

Для визначення швидкості оздоблюючої частини використовується датчик швидкості SE, в якому поступовий рух сукна перетворюється в обертання магнітного ротора тахогенератора. При цьому в обмотці статора формується ЕРС, характеристики якої пропорційні швидкості руху сукна. Незалежно від механізму роботи датчика швидкості, сигнал, що генерується надходить у контролер для подальшої обробки та використання.

Контур контролю наявності паперового полотна

Контроль наявності паперового полотна можна організувати за допомогою ємнісних датчиків наявності GE. Контроль цього параметру необхідний для визначення обриву паперового полотна або його незаправки.

Щойно виникає сигнал з ємнісного датчика, що паперове полотно відсутнє, спрацьовує блокування секції і її повна зупинка, так як подальша робота неможлива. Такі ж датчики використовуються і для перевірки наявності сітки і перевірки наявності сукна.

Контур контролю натягу паперового полотна

Тензодатчик натягу паперового полотна WE дозволяє легко перевірити його натяг. Це вимірювання важливо для правильної, тривалої роботи, а також точності і ефективності системи.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						47
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Якщо натяг паперового полотна недостатній, то на контролер приходить сигнал з тензодавача, який має виробити керуючий вплив синхронізації швидкостей (встановлення необхідної різниці величин швидкості для заданої величини натягу паперового полотна) приводів тієї частини, де встановлений цей давач. Такі ж давачі використовуються і для перевірки натягу сітки і перевірки натягу сукна.

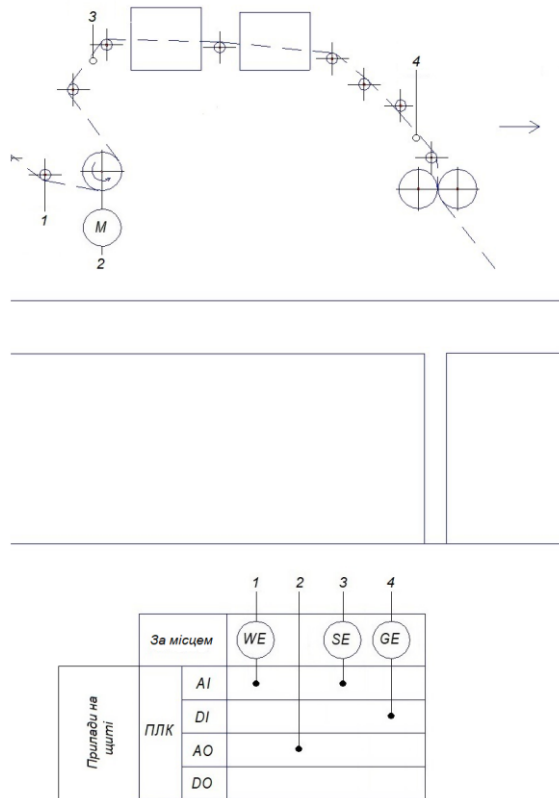


Рисунок 2.5 – Контури контролю та керування стрічкопротяжного тракту оздоблюючої частини

2.6 Контури контролю та керування стрічкопротяжним трактом накату

Контур контролю та керування швидкістю

Оскільки накат ПРМ приводиться в рух АД з КЗ, нам обов'язково потрібен контур контролю та керування швидкістю.

Для визначення швидкості накату використовується давач швидкості SE, в якому поступовий рух паперового полотна перетворюється в обертання

магнітного ротора тахогенератора. При цьому в обмотці статора формується ЕРС, характеристики якої пропорційні швидкості руху паперового полотна. Незалежно від механізму роботи давача швидкості, сигнал, що генерується надходить у контролер для подальшої обробки та використання.

Контур контролю наявності паперового полотна

Контроль наявності паперового полотна можна організувати за допомогою ємнісних давачів наявності GE. Контроль цього параметру необхідний для визначення обриву паперового полотна або його незаправки.

Щойно виникає сигнал з ємнісного давача, що паперове полотно відсутнє, спрацьовує блокування секції і її повна зупинка, так як подальша робота неможлива. Такі ж давачі використовуються і для перевірки наявності сітки і перевірки наявності сукна.

Контур контролю натягу паперового полотна

Тензодавач натягу паперового полотна WE дозволяє легко перевірити його натяг. Це вимірювання важливо для правильної, тривалої роботи, а також точності і ефективності системи.

Якщо натяг паперового полотна недостатній, то на контролер приходить сигнал з тензодавача, який має виробити керуючий вплив синхронізації швидкостей (встановлення необхідної різниці величин швидкості для заданої величини натягу паперового полотна) приводів тієї частини, де встановлений цей давач. Такі ж давачі використовуються і для перевірки натягу сітки і перевірки натягу сукна.

Контур контролю намотки рулону

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Контроль намотки рулону можна організувати за допомогою оптичного датчика відстані SE, який направлений на рулон і визначає його діаметр та кутову швидкість.

Після закінчення намотування, барабан з валом намотування автоматично повертається для зняття готових рулонів і одягнення нової втулки на вал намотування.

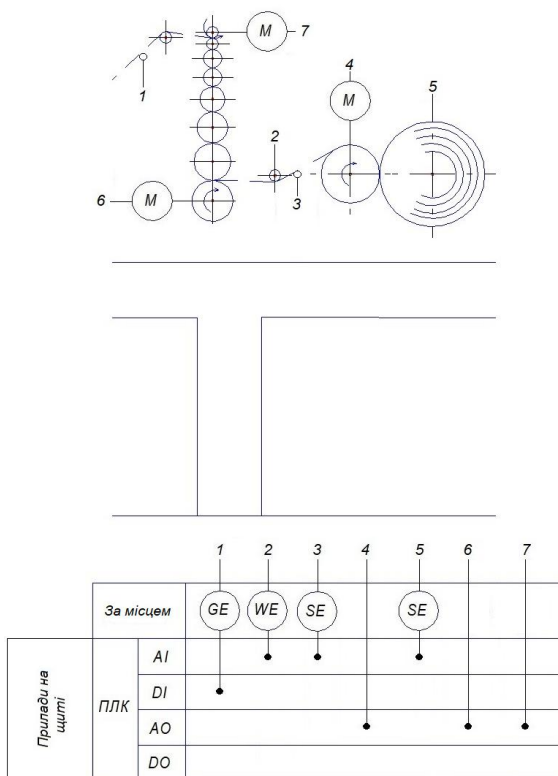


Рисунок 2.6 – Контури контролю та керування стрічкопротяжного тракту намоту

2.7 Таблиця вхідних – вихідних сигналів

Щоб правильно налаштувати функціонуючу схему автоматизації, потрібно розуміти, якими сигналами та параметрами керувати, або як саме впливати на які параметри. Це означає, що ви також повинні розуміти, як контролювати свої параметри. Для цього створюється таблиця, яка містить вхідні та вихідні сигнали. Простими словами ця таблиця необхідна для вибору датчиків і ВМ.

За результатами аналізу контурів керування, можемо створити таблицю вхідних – вихідних сигналів див. табл. 2.7.1 та 2.7.2.

Таблиця 2.7.1 – Вхідні сигнали

№	Сигнал	Діапазон вимірювання	Інтерфейс	К-сть точок	Допустима похибка	Тип сигналу
1	Швидкість сітки	0...500 м/хв.	I0.0	1	1%	Аналоговий 4...20 мА
2	Наявність сітки	0,1	I0.1	1	-	Дискретний 0,1
3	Натяг сітки	0...8 Н/мм	I0.2	1	1%	Аналоговий 4...20 мА
4	Наявність паперового полотна	0,1	I0.3 – I0.7 I2.0 – I2.2	8	1%	Дискретний 0,1
5	Наявність сукна	0,1	I2.3 – I2.7 I3.0 – I3.3	9	1%	Дискретний 0,1
6	Лінійний тиск між валами	0...5 кН/м	I3.4 – I3.7	4	1%	Аналоговий 4...20 мА
7	Положення валу крокового двигуна	0...360°	I4.0 – I4.7	4	1%	Дискретний 0,1
8	Положення валу притиску	0...20 мм	I5.0 – I5.7	8	1%	Дискретний 0,1
9	Натяг сукна	0...8 Н/мм	I6.0 – I6.4	5	1%	Аналоговий 4...20 мА
10	Натяг паперового полотна	0...8 Н/мм	I6.4 – I6.7 I7.0 – I7.3	8	1%	Аналоговий 4...20 мА
11	Намотка рулону	0...100 %, 80...500 мм	I7.4	1	1%	Аналоговий 4...20 мА

Продовження таблиці 2.7.1

№	Сигнал	Діапазон вимірювання	Інтерфейс	К-сть точок	Допустима похибка	Тип сигналу
12	Швидкість сукна	0...500 м/хв.	І7.5 – І7.7 І8.0 – І8.7	11	1%	Аналоговий 4...20 мА
13	Швидкість паперового полотна	0...500 м/хв.	І9.0 – І9.7	8	1%	Аналоговий 4...20 мА

Таблиця 2.7.2 - Вихідні сигнали

№	Сигнал	Діапазон сигналу	К-сть точок	Тип сигналу	Виконавчий механізм
1	Швидкість руху сіткової частини	0...500 м/хв.	1	Аналоговий	Сигнал з ПЛК на ЧП двигунів сіткової частини
2	Зміна частоти обертання приводного двигуна сіткової частини	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 112,32 кВт через ЧП з запасом по потужності
3	Зміна частоти обертання натяжного двигуна сіткової частини	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 113,4 кВт через ЧП з запасом по потужності
4	Швидкість руху пресової частини	0...500 м/хв.	1	Аналоговий	Сигнал з ПЛК на ЧП двигунів пресової частини
5	Зміна частоти обертання приводного двигуна першої пресової секції пресової частини	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 39,83 кВт через ЧП з запасом по потужності

Продовження таблиці 2.7.2

№	Сигнал	Діапазон сигналу	К-сть точок	Тип сигналу	Виконавчий механізм
6	Зміна частоти обертання приводного двигуна другої пресової секції пресової частини	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 29,63 кВт через ЧП з запасом по потужності
7	Зміна частоти обертання приводного двигуна верхнього валу другої пресової секції пресової частини	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 29,63 кВт через ЧП з запасом по потужності
8	Зміна частоти обертання приводного двигуна третьої пресової секції пресової частини	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 28,97 кВт через ЧП з запасом по потужності
9	Зміна частоти обертання приводного двигуна верхнього валу третьої пресової секції пресової частини	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 28,97 кВт через ЧП з запасом по потужності
10	Зміна частоти обертання приводного двигуна нижнього валу офсетного пресу пресової частини	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 9,34 кВт через ЧП з запасом по потужності

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	53	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Продовження таблиці 2.7.2

№	Сигнал	Діапазон сигналу	К-сть точок	Тип сигналу	Виконавчий механізм
11	Зміна частоти обертання приводного двигуна верхнього валу офсетного пресу	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 9,34 кВт через ЧП з запасом по потужності
12	Завдання притиску верхнього валу першої пресової секції пресової частини	0...5 кН/м	1	Дискретний	Кроковий двигун 1,71 кВт через драйвер
13	Завдання притиску верхнього валу другої пресової секції пресової частини	0...5 кН/м	1	Дискретний	Кроковий двигун 1,71 кВт через драйвер
14	Завдання притиску верхнього валу третьої пресової секції пресової частини	0...5 кН/м	1	Дискретний	Кроковий двигун 1,71 кВт через драйвер
15	Завдання притиску верхнього валу офсетного пресової частини	0...5 кН/м	1	Дискретний	Кроковий двигун 1,71 кВт через драйвер
16	Швидкість руху сушильної частини	0...500 м/хв.	1	Аналоговий	Сигнал з ПЛК на ЧП двигунів сушильної частини
17	Зміна частоти обертання приводного двигуна верхнього охолоджуючого барабана	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 20 кВт через ЧП з запасом по потужності

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		54

Продовження таблиці 2.7.2

№	Сигнал	Діапазон сигналу	К-сть точок	Тип сигналу	Виконавчий механізм
17	Зміна частоти обертання приводного двигуна верхнього охолоджуючого барабана	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 20 кВт через ЧП з запасом по потужності
18	Зміна частоти обертання приводного двигуна першого сушильного барабана сушильної частини	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 20 кВт через ЧП з запасом по потужності
20	Зміна частоти обертання приводного двигуна другого сушильного барабана сушильної частини	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 20 кВт через ЧП з запасом по потужності
21	Зміна частоти обертання приводних двигунів другої сушильної групи сушильної частини	0...500 Гц	6	Аналоговий	Електродвигун 16,7 кВт через ЧП з запасом по потужності
22	Зміна частоти обертання приводних двигунів охолоджуючих барабанів другої сушильної групи сушильної частини	0...500 Гц	3	Аналоговий	Електродвигун 16,7 кВт через ЧП з запасом по потужності

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		55

Продовження таблиці 2.7.2

№	Сигнал	Діапазон сигналу	К-сть точок	Тип сигналу	Виконавчий механізм
23	Швидкість руху оздоблюючої частини	0...500 м/хв.	1	Аналоговий	Сигнал з ПЛК на ЧП двигунів оздоблюючої частини
24	Зміна частоти обертання приводного двигуна ведучого (натяжного) вала оздоблюючої частини	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 14,67 кВт через ЧП з запасом по потужності
25	Зміна частоти обертання приводних двигунів третьої сушильної групи сушильної частини	0...500 Гц	3	Аналоговий	Електродвигун 13,33 кВт через ЧП з запасом по потужності
26	Зміна частоти обертання приводного двигуна верхнього валу каландру	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 70,7 кВт через ЧП з запасом по потужності
27	Зміна частоти обертання приводного двигуна нижнього валу каландру	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 70,7 кВт через ЧП з запасом по потужності
28	Зміна частоти обертання приводного двигуна для намотки рулону	0...500 Гц	1	Аналоговий	Електродвигун 25,34 кВт через ЧП з запасом по потужності
29	Швидкість руху накату	0...500 м/хв.	1	Аналоговий	Сигнал з ПЛК на ЧП двигунів накату

Арк

СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ

56

Зм. Арк. № докум. Підпис Дата

У додатку Б побудовані функціональні схеми автоматизації всіх секцій (частин) ПРМ за допомогою таблиць 2.7.1 та 2.7.2.

Функціональна схема автоматизації (ФСА) є основним проектним документом, що визначає структуру технологічного процесу об'єкта і рівень її автоматизації. На ФСА за допомогою умовних графічних позначень вказують технологічне обладнання, органи керування, прилади, комунікації і засоби автоматизації.

Поставлені перед нами функціональні задачі контролю та керування потрібно виконувати шляхом вибору засобів автоматизації, контрольно-вимірювальних приладів, машинно – людського інтерфейсу та створенням алгоритмів, завдяки яким виконується автоматизоване керування електроприводом стрічкопротяжного тракту. [14]

					<i>СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ</i>	57	<i>Арк</i>
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>			

РОЗДІЛ 3

ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ЗАСОБІВ АВТОМАТИЗАЦІЇ

Паперове виробництво є пожежо- та вибухонебезпечним, тому принципово важливими критеріями при виборі засобів автоматизації є їх точність, надійність і безпека. І при цьому точність вимірювань має найвищий пріоритет у даному технологічному процесі. Для зменшення вартості автоматизації виробництва і однотипності встановленого обладнання, а так само для уникнення конфліктів в протоколах, для однотипних параметрів будемо переважно використовувати однотипні засоби автоматизації виробництва виробника Schneider Electric та Siemens.

Нижній рівень АСУ ТП відповідає за збір інформації від датчиків за технологічними параметрами, контроль параметрів і сигналізація про їхні відхилення за допустимі технологічні межі, моніторинг працездатності датчиків і ліній зв'язку, а також подальшу передачу інформації в АСУ верхнього рівня.

3.1 Вибір датчиків

Датчачі – це елементи системи управління для керування та перетворення зовнішнього впливу в електричний сигнал (0 – 24 В, 4 – 20 мА). [15] У системі керування електроприводом стрічкопротяжного тракту ПРМ є такі датчачі:

- Датчачі швидкості сітки, сукна і паперового полотна;
- Ємнісні датчачі наявності сітки, сукна і паперового полотна;
- Індуктивні датчачі крайніх положень верхнього притискного валу;
- Тензодатчачі натягу сітки, сукна і паперового полотна;
- Датчачі лінійного тиску між валами (Датчачі лінійного переміщення верхнього притискного валу);
- Датчачі визначення положення валу крокового двигуна (Енкодери);
- Датчач намотки рулону.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	58	

3.1.1 Давач швидкості сітки, сукна і паперового полотна

Давач швидкості ДСЛ [16] типу «біжуче колесо» призначений для вимірювання швидкості руху стрічок стрічкопротяжного тракту. Принцип роботи полягає у вимірюванні частоти обертання притисненого до стрічки колеса. Обертання колеса за рахунок руху елементів з магнітного матеріалу (постійні магніти) викликає генерацію імпульсів давача Холла. Колесо з гумовою шиною та пристрій кріплення забезпечують простоту монтажу, найкращий контакт давача зі стрічкою та амортизацію на її стиках.

Конструктивно давач швидкості є магнітним безконтактним давачем, заснованим на ефекті Холла. Давач складається із постійного магніту, інтегральної мікросхеми Холла та вбудованого блоку керування з лічильником, розташованих у герметичному корпусі. Він фіксує частоту обертання колеса та генерує сигнали у формі імпульсів, які підраховує блок керування.

Давач швидкості встановлюється під вільною частиною стрічки стрічкопротяжного тракту.

Частота впливу:

$$F = V / \pi \cdot d \approx V / 0,2985 \text{ (Гц)}, \quad (3.1)$$

де V – швидкість стрічки м/с.

Для всіх швидкостей стрічкопротяжних трактів частота F лежить у діапазоні 2,6...21 Гц.



Рисунок 3.1.1 – Давач швидкості ДСЛ

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	59	

Таблиця 3.1.1 – Технічні характеристики давача швидкості ДСЛ

Найменування параметру	Значення
Принцип виміру	На основі ефекту Холла
Напруга живлення, В	24 В DC
Вихідний сигнал	Аналоговий 4...20 мА
Діапазон вимірювання	0...8 м/с або 0...480 м/хв.
Основна приведена похибка	+–1%
Довжина кабелю	300 мм
Матеріал корпусу	Сталь 12Х18Н10Т
Ступінь захисту	Подвійна ізоляція ІР67 відповідно до МЕК 60529
Вага	4,5 кг
Ціна	5400 грн

3.1.2 Ємнісний давач наявності сітки, сукна і паперового полотна

Ємнісний датчик Telemecanique XT232A1FBL2 [17] використовується для визначення положення, наявності або контролю об'єкта безконтактним способом практично будь-яких провідних та непровідних матеріалів.

Найбільш часто ємнісні датчики застосовують для контролю рівня рідин і наявності об'єктів. При появі в зоні спрацювання об'єкту ємнісний датчик замикає або розмикає ланцюг. Принцип дії безконтактного ємнісного датчика базується на зміні ємності вбудованого конденсатора при потраплянні в його активну зону об'єкта, зміні параметрів генератора і як результат - до перемикання комутаційного елемента.



Рисунок 3.1.2 – Ємнісний давач наявності Telemecanique XT232A1FBL2

Таблиця 3.1.2 – Технічні характеристики ємнісного давача Telemecanique XT232A1FBL2

Найменування параметру	Значення
Принцип виміру	Зміна ємності вбудованого конденсатора
Напруга живлення, В	24 В DC
Вихідний сигнал	NPN NC Дискретний 0...1
Діапазон вимірювання	0...8 м/с або 0...480 м/хв.
Основна приведена похибка	+–1%
Довжина кабелю	200 мм
Матеріал корпусу	Пластик
Ступінь захисту	Подвійна ізоляція IP67 відповідно до МЕК 60947
Вага	0,4 кг
Ціна	4151,18 грн

Проаналізувавши ринок давачів наявності я зупинився саме на ємнісних давачах наявності, так як вони дуже прості, мають високу чутливість, малу інерційність, високий рівень надійності за рахунок відсутності будь-яких подвижних елементів, мають вологозахисний корпус та ізоляцію і мають малі габарити та вагу.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк 61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

3.1.3 Індуктивний давач крайніх положень верхнього притискного валу

Індуктивний датчик Telemecanique XSAV11801 [18] – це перш за все безконтактний вимикач, який не містить рухомих деталей і практично не піддається впливу навколишнього середовища. Основне призначення – безконтактний контроль положення предметів, виготовлених з електропровідних або магнітопровідних матеріалів.

Від датчиків, заснованих на інших принципах дії, але створених для тих же цілей, індуктивні датчики мають ряд значимих відмінностей і переваг, в числі яких висока довговічність, завдяки відсутності зіткнень і технічних впливів, чутливість тільки до металу і можливість різних варіантів виконання. Такі датчики не реагують на рідину, мастило, дотик рук, що дуже зручно і практично у виробничому процесі. [19]

Індуктивний датчик за рахунок власного внутрішнього пристрою має певний принцип дії. У ньому використовується спеціальний генератор, який видає певну амплітуду коливань. Коли в поле дії агрегату потрапляє об'єкт, що складається з металевого або феромагнітного матеріалу, коливання починають змінюватися, що і сигналізує про наявність предмета..

Результат всіх цих перетворень – отримання вихідного сигналу, який може змінюватись, залежно від відстані між працюючим датчиком і предметом, що досліджується. Потім за допомогою спеціального пристрою аналоговий сигнал перетворюється на логічний. [20]



Рисунок 3.1.3 – Індуктивний давач положення Telemecanique XSAV11801

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	62	

Було обрано саме цей тип давачів, так як індуктивні давачі влаштовані простіше і коштують менше, ніж ємнісні і ультразвукові. Конструкція датчиків забезпечує захист від короткого замикання і можливість функціонування в діапазоні температур від -25 до + 70 ° С.

До інших переваг таких датчиків відносять:

- Простоту і міцність конструкції,
- Відсутність ковзних контактів;
- Можливість підключення до джерел промислової частоти;
- Відносно велику вихідну потужність (до десятків Ватт);
- Значну чутливість. [19]

Таблиця 3.1.3 – Технічні характеристики індуктивного давача Telemecanique XSAV11801

Найменування параметру	Значення
Принцип виміру	Зміна коливань вбудованого генератора
Напруга живлення, В	24 В DC
Вихідний сигнал	NPN NC Дискретний 0...1
Діапазон вимірювання	20 мм
Основна приведена похибка	+–1%
Довжина кабелю	200 мм
Матеріал корпусу	Нікельована латунь
Ступінь захисту	Подвійна ізоляція IP67 відповідно до МЕК 60529
Вага	0,3 кг
Ціна	4722,14 грн

3.1.4 Тензодавач натягу сітки, сукна і паперового полотна

Тензодавач застосовуються для контролю натягу паперу, ниток, тканини, плівки, дроту та кабелю, листового металу, алюмінію, сталі.

Уніфіковані розміри дозволяють з невеликими затратами праці змонтувати датчики в будь-яку існуючу технологічну лінію, незалежно від марки обладнання.

Датчик натягу LX-200SD [21] є чутливим компонентом, який може трансформувати напругу в мікрозміщення, а потім в мікронапругу. Він має невеликий розмір, малу вагу, високу чутливість, швидку реакцію та гарну лінійність.

Він є ідеальним рішенням для контролю натягу полотна матеріалу в друкованій, пакувальній, металообробній та металургійній промисловості.



Рисунок 3.1.4 – Тензодавач натягу LX-200SD

Таблиця 3.1.4 – Технічні характеристики тензодавача натягу LX-200SD

Найменування параметру	Значення
Принцип виміру	Перетворення величини деформації в сигнал
Напруга живлення, В	24 В DC
Вихідний сигнал	мВ/В
Діапазон вимірювання	0...20 кН/м
Основна приведена похибка	+–1%
Довжина кабелю	100 мм

Найменування параметру	Значення
Матеріал корпусу	Нікельована латунь
Ступінь захисту	Подвійна ізоляція IP67 відповідно до МЕК 60529
Вага	3,0 кг
Ціна	5500 грн

Перетворювач сигналу тензодатчика КСК1А [22] здійснює перетворення сигналу тензодатчика в струмовий сигнал 4...20 мА.

Призначений для перетворення стандартних сигналів з тензодатчиків в уніфіковані сигнали струму та напруги. Перетворювач є додатковим обладнанням та застосовується у складі різних електронних тяго- та ваговимірювальних систем.

3.1.5 Давач лінійного тиску між валами (Давач лінійного переміщення верхнього притискного валу)

Давачі серії LTC [23] використовують потенціометричний метод вимірювання. У цій моделі роз'єм виходить на 90 градусів до корпусу. Завдяки електричному перетворювачу датчик серії LTC-A видає стандартизований у промисловості струмовий сигнал 4...20 мА. Також опціонально можливі варіанти з виходом 0...20 мА.. Завдяки високій роздільній здатності (0.01мм) досягнуто високої точності вимірювань. Його можна використовувати для вимірювання лінійних рухів з одностороннього приводного стрижня. Оскільки вони змінюють лінійний опір за допомогою спеціальних методів, вони роблять стабільні та точні вимірювання щоразу.

Завдяки аналоговому вихідному сигналу датчики працюють як абсолютні. Вони показують точне положення штока навіть після вимкнення

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк 65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

та зворотного вмикання живлення. Це дозволяє робити перерви в роботі обладнання без завершення технологічного процесу.

Завдяки точному обробленню опору, у датчиках серії LTC забезпечено стабільні та точні вимірювання. Завдяки механічному кріпленню та самовирівнюванню з використанням 2 шарнірних з'єднань, максимальне кутове переміщення може становити до $\pm 30^\circ$.



Рисунок 3.1.6 – Потенціометричний давач лінійний переміщень LTC-A

Таблиця 3.1.6 – Технічні характеристики потенціометричного давача лінійних переміщень LTC-A

Найменування параметру	Значення
Принцип виміру	Потенціометричний метод
Напруга живлення, В	24 В DC
Вихідний сигнал	Аналоговий 4...20 мА
Діапазон вимірювання	Від 50 до 1000 мм
Основна приведена похибка	$\pm 1\%$
Довжина кабелю	200 мм
Матеріал корпусу	Нержавіюча сталь
Ступінь захисту	Подвійна ізоляція IP67 відповідно до МЕК 60529
Вага	5,3 кг
Ціна	6030 грн

3.1.6 Давач визначення положення валу крокового двигуна

Енкодер – це електромеханічний пристрій, що використовується для контролю об'єктів, що обертаються, таких як вали і вісі. Датчики обертання можуть використовуватися для вимірювання положення, відстані та кутової швидкості валу, що обертається.

Абсолютні кутові енкодери відносяться до сімейства поворотні енкодери. Вони використовуються для вимірювання наступних параметрів об'єктів, що обертаються, таких як вали або осі:

- Кутова швидкість;
- Інформація про позицію;
- Відстань.

Подібно до інкрементальних кутових енкодерів, абсолютні енкодери також мають обертовий вал, прикріплений до датчика. Вал з'єднується з диском із ретельно розміщеним набором пазів. Це колесо також відоме як «кодове колесо».

Колесо кодування має унікальний бітовий шаблон. На відміну від інкрементальних кодувальників, де всі слоти розміщені в шаблоні, що повторюється, слоти кодового колеса абсолютного кодувальника відрізняються один від одного.

Коли вал обертається, кодове колесо також обертається разом із ним. Є набір світлодіодів, що випромінюють промені світла на кодове колесо. Коли промені світла збігаються з прорізами, промені проходять через кодове колесо, фіксований проріз, і освітлюють фототранзистори.

Кожен фототранзистор працює незалежно і при включенні видає логічний сигнал. Коли на конкретному фототранзисторі немає променя, він видає логічний низький рівень.

Кількість фототранзисторів та рівнів прорізів, вигравуваних на кодовому колесі, визначає точність і роздільну здатність абсолютного кутового енкодера.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						67
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Оскільки в дипломному проекті сигнал на виходах енкодера має імпульсну форму, то енкодер підключається до дискретних входів ПЛК.

Абсолютні багатообертові енкодери EP50S [24] застосовуються в високоточних промислових приладах, текстильних машинах, роботах і стоянках. Використання в умовах обмеженого простору на низько - і високоточному обладнанні.



Рисунок 3.1.7 – Абсолютний багатообертовий енкодер EP50S

Абсолютні енкодери, хоч і коштують трохи дорожче, мають кілька переваг з точки зору визначення положення:

- При "опитуванні" абсолютні енкодери виводять унікальну інформацію про положення, що відноситься до його поточного положення. Це означає, що жодні два положення валу при обертанні на 360 градусів не збігаються;
- Декілька варіантів виведення;
- Абсолютні енкодери мають кілька типів виведення: паралельний, послідовний (стандартні та пропрієтарні протоколи);
- Несприйнятливість до збоїв живлення;
- Абсолютні енкодери не страждають від збоїв живлення. Вони завжди готові надати інформацію про місцезнаходження відразу після вимкнення живлення;
- Висока роздільна здатність;

- Шляхом простого збільшення кількості доріжок енкодера і датчиків абсолютні енкодери можуть мати набагато більшу роздільну здатність, ніж інкрементальні енкодери.

Таблиця 3.1.7 – Технічні характеристики абсолютного багатообертового енкодера EP50S

Найменування параметру	Значення
Принцип виміру	Оптичний метод
Напруга живлення, В	24 В DC
Вихідний сигнал	Дискретний 0,1
Роздільна здатність	8 біт
Основна приведена похибка	+–1%
Довжина кабелю	200 мм
Матеріал корпусу	Нержавіюча сталь
Ступінь захисту	Подвійна ізоляція IP64 відповідно до МЕК 60529
Вага	0,38 кг
Ціна	4000 грн

3.1.7 Давач намотки рулону

Оптичний датчик відстані PDA-CC100TGI [25] призначений для виявлення об'єкта, що контролюється, і визначення відстані до нього.

На контрольований об'єкт проектується світлова точка. Відбите світло падає під певним кутом на світлочутливий приймач. Потім, виходячи з кута між траєкторіями передачі та прийому, методом математичної тріангуляції визначається положення об'єкта.

Датчик поміщений у міцний прямокутний корпус, виконаний з алюмінію та відмінно захищений від зовнішніх впливів. Швидка реакція

мікроконтролера та високочутлива матриця фотодіодів дозволяють працювати точно, незалежно від типу поверхні та кольору.



Рисунок 3.1.8 – Оптичний давач відстані PDA-CC100TGI

Датчик визначає відстань, що скорочується, до рулону в процесі його намотування (рис. 3.1.9). При досягненні мінімальної заданої відстані (A) датчик спрацьовує. Датчик дозволяє визначати діаметр рулонів різних видів матеріалу, від блискучого алюмінію до паперового полотна. Точки спрацьовування Q1 і Q2 задаються у навчальному режимі teach-in. Радіус намотування R1 відповідає відстані A з точкою спрацьовування Q1, радіус намотування R2 відповідає відстані з точкою спрацьовування Q2.

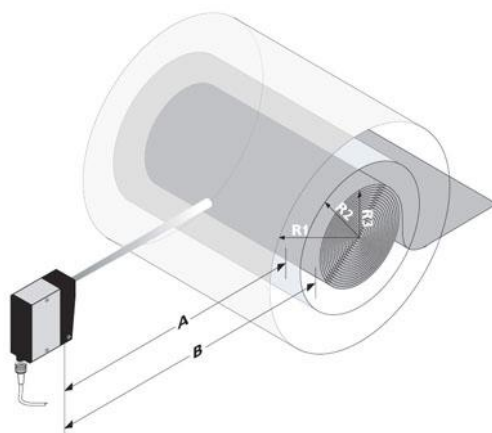


Рисунок 3.1.9 – Принцип роботи оптичного давача відстані

Оптичний тип даного давача було обрано саме з причини, що у папероробній промисловості використовуються матеріали з відкритою структурою (волокна целюлози). Матеріали з відкритою структурою часто

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	70	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

мають звукопоглинальну властивість. Це призводить до того, що при вимірюванні ультразвуковим датчиком звукові коливання менше або зовсім не відбиваються на датчик. Це серйозно впливає на діапазон вимірювання. Оптичні датчики відстані є тут є поширеним рішенням, тому що вони можуть виконувати безпомилкові вимірювання на цих типах матеріалів, без істотного впливу на діапазон вимірювань. [26]

Таблиця 3.1.8 – Технічні характеристики оптичного давача відстані PDA-CC100TGI

Найменування параметру	Значення
Принцип виміру	Оптичний метод
Напруга живлення, В	24 В DC
Вихідний сигнал	Аналоговий 4...20 мА
Діапазон вимірювання	150 – 1000 мм
Основна приведена похибка	+–1%
Довжина кабелю	200 мм
Матеріал корпусу	Алюміній
Ступінь захисту	Подвійна ізоляція IP67 відповідно до МЕК 60529
Вага	0,5 кг
Ціна	13 794 грн

3.2 Вибір виконавчих механізмів

Для даного проекту в якості виконавчих механізмів використаємо асинхронні двигуни з короткозамкненим ротором і крокові двигуни.

Номінальна потужність електродвигуна, що обирається має перевищувати розрахункову потужність. Для кожного обладнання вибираємо окремий двигун.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	71	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

Таблиця 3.2.1 – Двигуни та їх паспортні дані

№ з/п	Обладнання	Тип двигуна	P_H , кВт	U_H , В	η_H , об/хв	ККД, %
1	Натяжний двигун 1 сіткової частини	АИР280М2	132	380	3000	94
2	Приводний двигун 2 сіткової частини	АИР280М2	132	380	3000	94
3	Приводний двигун 3 першої пресової секції	АИР200L2	45	380	3000	92
4	Приводний двигун 4 другої пресової секції	АИР200М2	37	380	3000	91
5	Приводний двигун 5 верхнього валу другої пресової секції	АИР200М2	37	380	3000	91
6	Приводний двигун 6 третьої пресової секції (після першої сушильної групи)	АИР200М2	37	380	3000	91
7	Приводний двигун 7 верхнього валу третьої пресової секції (після першої сушильної групи)	АИР200М2	37	380	3000	91
8	Приводний двигун 8 нижнього валу офсетного пресу	АИР200S2	15	380	3000	88
9	Приводний двигун 9 верхнього валу офсетного пресу	АИР200S2	15	380	3000	88
10	Кроковий двигун 30 для завдання притиску верхнього валу першої пресової секції	FL130BYG2 503-22	1,71	220		90
11	Кроковий двигун 31 для завдання притиску верхнього валу другої пресової секції	FL130BYG2 503-22	1,71	220		90
12	Кроковий двигун 32 для завдання притиску верхнього валу третьої пресової секції (після першої сушильної групи)	FL130BYG2 503-22	1,71	220		90
13	Кроковий двигун 33 для завдання притиску верхнього валу офсетного пресу	FL130BYG2 503-22	1,71	220		90

Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата
-----	------	----------	--------	------

СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ

72

Арк

Продовження таблиці 3.2.1

№ з/п	Обладнання	Тип двигуна	P_H , кВт	U_H , В	η_H , об/хв	ККД, %
14	Приводний двигун 10 верхнього охолоджуючого барабана	АИР180М2	30	380	3000	91,5
15	Приводний двигун 11 першого сушильного барабана	АИР180М2	30	380	3000	91,5
16	Приводний двигун 12 нижнього охолоджуючого барабана	АИР180М2	30	380	3000	91,5
17	Приводний двигун 13 другого сушильного барабана	АИР180М2	30	380	3000	91,5
18	Приводні двигуни 14, 15, 16, 17, 21, 22 сушильних барабанів	АИР160М2	18,5	380	3000	90
19	Приводні двигуни 18, 19, 20 охолоджуючих барабанів	АИР160М2	18,5	380	3000	90
20	Приводний двигун 23 ведучого (натяжного) вала оздоблюючої частини	АИР160М2	18,5	380	3000	90
21	Приводні двигуни 24, 25, 26 сушильних барабанів	АИР160S2	15	380	3000	88
22	Приводний двигун 27 верхнього валу каландру	АИР250S2	75	380	3000	93
23	Приводний двигун 28 нижнього валу каландру	АИР250S2	75	380	3000	93
24	Приводний двигун 29 валу для намотки рулону	АИР180М2	30	380	3000	91,5

Асинхронні електродвигуни АИР – це класичний електропривод для промислових насосів, верстатів, конвеєрів, дробарок та іншого обладнання.

Основні технічні характеристики двигунів АИР:

- Прив'язка потужності і розмірів стандарту ГОСТ 31606-2012;
- Ступінь захисту IP54, IP55 (електродвигун АИР) по ГОСТ17494-87;
- Ізоляція класу нагрівостійкості «F» по ГОСТ8865-93;

									Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ				73

- За способом монтажу, виконання: ІМ1081 (на лапах), ІМ2081 (комбінований), ІМ3081 (фланцевий) по ГОСТ2479;
 - Кліматичне виконання У2, У3 по ГОСТ15150-69;
 - Режим роботи S1 по ГОСТ183-74;
 - Спосіб охолодження ІС-0151 по ГОСТ20459-87;
 - Схема підключення – трикутник, зірка;
 - Напруга живлення – 220В, 380В, 660В;
 - Рівень шуму в режимі холостого ходу – 2 класу по ГОСТ16372-93.
- [27]



Рисунок 3.2.1 – Загальний вигляд АД з КЗ АИР250S2

Для керування обертами двигунів, плавним пуском, збільшенням чи зменшенням швидкості використовують частотний перетворювач напруги. Вивчаючи ринок, було прийнято рішення обрати перетворювачі частоти фірми Schneider Electric. [28]

Головний критерій вибору частотного перетворювача для електродвигуна – потужність. Частотний перетворювач не повинен бути менш потужним, ніж керований ним двигун. Рекомендований запас потужності ЧП складає 10 – 15 %, так як:

- Можливі перевантаження у яких за технологічним процесом або через вплив законів фізики можливі короточасні значні збільшення

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	74	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

споживаного двигуном струму (120% ... 150% на час більше 30 ... 60 сек або 150% ... 200% на час більше 0.5 сек);

- У випадку, якщо треба забезпечити швидкий розгін пристроїв, краще вибрати потужніший перетворювач - він швидше справляється із завданням;
- Номінальний тривалий струм перетворювача частоти повинен бути не меншим за робоче споживання струму керованого обладнання.

Спираючись на табл. 3.2.1, для кожного двигуна вибираємо окремий частотний перетворювач.

Таблиця 3.2.2 – Частотні перетворювачі та їх паспортні дані

№ з/п	Тип та P_H двигуна, кВт	Тип ЧП	$P_{чп}$, кВт	$U_{чп}$, В	Інтерфейс
1	АИР280М2 (132)	АТV650С16N4F	160	380	RS-485
2	АИР200L2 (45)	АТV650D55N4E	55	380	RS-485
3	АИР200М2 (37)	АТV650D45N4E	45	380	RS-485
4	АИР200S2 (15)	АТV650D18N4E	18,5	380	RS-485
5	АИР180М2 (30)	АТV650D37N4E	37	380	RS-485
6	АИР160М2 (18,5)	АТV650D22N4E	22	380	RS-485
7	АИР160S2 (15)	АТV650D18N4E	18,5	380	RS-485
8	АИР250S2 (75)	АТV650D90N4E	90	380	RS-485

Для притиску верхніх валів пресової частини було прийнято рішення використовувати крокові двигуни.

Силовий кроковий двигун FL130BYG [29] є потужним і продуктивним агрегатом, що відрізняється високим ступенем надійності і стабільно високим ККД.

Є найбільш високомоментним кроковим двигуном у лінійці FL. Основна сфера використання цієї моделі крокового двигуна – різні пристрої автоматизації та регулювання.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк 75
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Кроковий двигун FL130BYG, що відноситься до гібридних крокових двигунів, є яскравим представником цього типу, що поєднує в собі всі його переваги, такі, як:

- Широкий діапазон швидкостей з малим низьким і високим верхнім порогами;
- Плавне регулювання;
- Швидкий старт, зупинка та оперативна зміна напрямку обертання із збереженням продуктивності;
- Висока точність позиціонування;
- Невибагливість до зовнішніх умов;
- Підвищений термін служби.

У конструкції гібридного крокового двигуна відсутні такі схильні до передчасного зносу деталі, як струмознімні кільця або колектори, завдяки чому термін експлуатації приладу практично не обмежений і залежить тільки від терміну служби підшипника.

Для керування кроковим двигуном FL130BYG рекомендується використовувати сумісний драйвер Leadshine DM2282. Драйвер DM2282 [30] є флагманом нового покоління цифрових промислових драйверів крокових двигунів від провідного світового виробника Leadshine, побудованих на основі потужного 32-х розрядного DSP контролера.

Завдяки застосуванню векторного керування струмами в обмотках двигуна в комплексі з цифровим зворотним зв'язком драйвер DM2282 забезпечує високу динаміку та швидкість обертання крокового двигуна без втрати крутного моменту, а також повну відсутність вібрацій та резонансних явищ, властивих кроковим двигунам.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						76
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 3.2.2 – Загальний вигляд крокового двигуна FL130BYG та драйвера DM2282

Таблиця 3.2.3 – Технічні характеристики крокового двигуна FL130BYG

Найменування параметру	Значення
Кутовий крок	1,8°
Напруга живлення, В	120 – 310 АС
Похибка кутового кроку	+–5%
Крутний момент	509 кг/см
Матеріал корпусу	Сталь
Ступінь захисту	Подвійна ізоляція IP67 відповідно до МЕК 60529
Вага	22 кг
Ціна	12000 грн

Номінальну швидкість двигунів визначаємо за такою формулою:

$$\omega_n = \frac{2\pi n}{60} = \frac{2 \cdot 3,14 \cdot 3000}{60} = 314 \text{ c}^{-1}. \quad (3.1)$$

Розраховуємо передатне число для вибору редуктора:

$$i = 1,1 \frac{\omega_n}{20} = 1,1 \frac{314}{20} = 17,27 \text{ о.е.} \quad (3.2)$$

Редуктор підбираємо за найближчим передатним числом. Для нашої задачі ідеально підійде редуктор 7Ц2-706.

Редуктори циліндричні двоступінчасті горизонтальні серії 7Ц2 використовуються в приводах різних машин і механізмів для зміни моментів, що крутять, і частоти обертання. Редуктори даної серії виготовлені з твердими зубчастими шліфованими парами евольвентного зачеплення. Таке виконання редукторів забезпечує підвищену здатність навантаження, зниження шумових характеристик і збільшений ресурс експлуатації приводу.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						78
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 4

ВИБІР ТА ОБГРУНТУВАННЯ ПЛК ТА ІНТЕРФЕЙСІВ

4.1 Вибір ПЛК

Програмований логічний контролер (ПЛК) – пристрій для автоматизованого керування технологічними процесами. Завдяки ПЛК прискорюється і полегшується процес керування ВМ та контроль технологічних параметрів.

ПЛК зазвичай встановлюються в шафах керування в спеціальних приміщеннях, де дотримуються всі інструкції з експлуатації обраного ПЛК.

Потрібно усвідомлювати що, ПЛК не може працювати без програми, яка буде написана інженером – програмістом. Для програмування контролерів було створено багато мов програмування, а саме: FBD, LD, IL, ST, SFC.

Усі ці мови програмування відповідають міжнародному галузевому стандарту IEC 61131-3.

Під час вибору ПЛК, розглядалися такі фірми як Schneider Electric, MITSUBISHI та SIEMENS. Було прийнято рішення вибрати ПЛК фірми Schneider Electric, а саме TM241CEC24U (рис. 4.1.1). [31] Він має ряд переваг перед іншими контролерами, зокрема:

- Середня цінова категорія;
- Підходить для наших умов експлуатації;
- Досить сучасні характеристики;
- Можливість підключити додаткових модулів введення/виведення інформації I/O;
- Можливість роботи з багатьма каналами;
- Надійність;
- Наявність як релейних так і транзисторних виходів;
- Довгостроковий термін гарантійного обслуговування та підтримки.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						79
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



Рисунок 4.1.1 – Програмований логічний контролер SE TM241CEC24U

Технічні характеристики ПЛК наведено в таблиці 4.1.1.

Таблиця 4.1.1 – Технічні характеристики ПЛК SE TM241CEC24U

Найменування параметру	Значення
Напруга живлення, В	220 В, 50 Гц
Кількість входів, DI	14
Кількість виходів, DO	6R, 4T
Об'єм пам'яті	8 МВ для програми 64 МВ для system memory RAM
Інтерфейси	1xRJ45 (RS232/RS485) 2xRS485 USB mini B 1xRJ45 (10BASE-T/100BASE-TX)
Протоколи	Modbus RTU, Modbus TCP, Industrial Ethernet/PROFINET

На жаль, ПЛК SE TM241CEC24U має обмежену кількість портів введення/виведення, тому для їх розширення використовують спеціальні модулі. Вони так і називаються, модулі введення/виведення. Тому, було прийнято рішення також використовувати їх. Даний ПЛК не має аналогових входів, і не вистачає дискретних виходів, тому потрібно додати відповідні модулі I/O. Аналоговий модуль вхідних сигналів потрібен для підключення

										Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						80

датчиків з типом сигналу 4..20 мА. Обираємо 8-ми канальний модуль з гвинтовими клемми ТМ3АІ8 (рис. 4.1.2). [32]



Рисунок 4.1.2 – Модуль аналогових входів ТМ3АІ8

Оскільки сам контролер має дискретні входні клемми, дискретний модуль входних сигналів нам не потрібен.

Аналоговий модуль вихідних сигналів нам потрібен обов'язково, так як керування аналоговими сигналами в нашій системі відбувається дуже часто. Аналоговий модуль вихідних сигналів потрібен для керування приводами з типом сигналу 4..20 мА. Обираємо 4-ох канальний модуль з гвинтовими клемми ТМ3АQ4 (рис. 4.1.3). [33]



Рисунок 4.1.3 – Модуль аналогових виходів ТМ3АQ4

Обираємо блок живлення теж від фірми Schneider Electric. Непоганим варіантом буде Modicon ABL8RPM24200 24V 20 А. Обраний блок живлення зображений на рисунку 4.1.4.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	81	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			



Рисунок 4.1.4 – Блок живлення Modicon ABL8RPM24200

Основні технічні характеристики блоку живлення Modicon ABL8RPM24200 наведені в таблиці 4.1.2. [34]

Таблиця 4.1.2 – Технічні характеристики ПЛК SE TM241CEC24U

Найменування параметру	Значення
Номінальна напруга живлення, В	100 – 240 В, 50/60 Гц
Номінальна вихідна напруга, В	24 В DC
Номінальний вихідний струм, А	20
Захист від	Перегріву, перевантаження, низької напруги, перенапруги

Для вибору ПК, де буде встановлено програмне забезпечення для моніторингу та керування нашої системи було розглянуто пропозиції та обрано оптимальне рішення.

ПК Schneider Electric Harmony iPC та монітор Schneider Electric Emaga 26'' (рис. 4.1.5) має відмінні для роботи технічні характеристики (табл. 4.1.3). [35]



Рисунок 4.1.5 – ПК Schneider Electric Harmony iPC та монітора Schneider Electric Emaga 26’’

Таблиця 4.1.3 – Технічні характеристики ПК Schneider Electric Harmony iPC та монітора Schneider Electric Emaga 26’’

Найменування параметру	Значення
Номінальна напруга живлення, В	100 – 240 В, 50/60 Гц
Процесор	Intel Core i7 4650U (1.7 - 3.3 ГГц)
Оперативна пам’ять RAM	8 Гб DDR3
ПЗП	128 Гб SSD
Відеокарта	Intel HD Graphics 5000
Операційна система	Windows 10
Діагональ дисплея	26 дюймів
Максимальна роздільна здатність	1920x1080
Тип матриці	IPS

4.2 Вибір інтерфейсів

Інтерфейс – сукупність програмних і апаратних засобів, які встановлюють і реалізують взаємодію пристроїв, що входять в систему і призначені для збору, обробки і використання інформації.

Апаратна частина інтерфейсу – інтерфейсні карти; плати, що дозволяють виконати інформаційний обмін керуючими, адресними, звітуючими і іншими сигналами між функціональними модулями.

Програмна частина інтерфейсу – протокол, тобто порядок обміну сигналами і інформацією (алгоритми і часові діаграми).

Після аналізу всіх апаратних засобів в системі, мені необхідно було налаштувати між ними зв'язок. На основі літератури і власного досвіду було прийнято рішення використати промисловий інтерфейс RS-485 (інша назва - EIA/TIA-485).

Інтерфейс RS-485 – один із найпоширеніших стандартів фізичного рівня зв'язку. Фізичний рівень - це канал зв'язку та спосіб передачі сигналу.

[36]

Мережа, яка побудована на інтерфейсі RS-485, є прийомопередавачами, які з'єднані за допомогою витої пари. В основі інтерфейсу RS-485 лежить принцип диференціальної (балансної) передачі даних. Суть його полягає у передачі одного сигналу по двох дротах. Причому з одного дроту (умовно А) йде оригінальний сигнал, а з іншого (умовно В) - його інверсна копія. Інакше кажучи, якщо одному проводі " 1 " , то іншому " 0 " і навпаки. Таким чином, між двома проводами крученої пари завжди є різниця потенціалів: при "1" вона позитивна, при "0" - негативна.

[37, с. 55]

Саме ця різниця потенціалів і передає сигнал. Цей режим передачі забезпечує високу стійкість до синфазних перешкод. Несправність, яка однаково впливає на обидва дроти лінії, називається синфазною.

Топологія мережі RS-485 інтерфейсу - одна з головних його переваг. Це єдиний з інтерфейсів, здатний з'єднувати по одній лінії з витої пари безліч передавачів і приймачів, включених паралельно. До однієї лінії можна підключити 32 пристрої із вхідним опором 12 кОм. При використанні сучасних високоомних пристроїв, їх кількість може досягати 256. Застосовуючи повторювачі сигналу (репітери) кількість пристроїв може

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						84
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

досягати десятків тисяч, розташованих один від одного за кілометри. Без складного мережного обладнання та програмного забезпечення можна створити розгалужену мережу різних пристроїв, до того ж легко розширювану, - за бажання просто прикрутити до двох клем новий прилад, підправивши щось трохи в програмі, що управляє.

Як правило, всі пристрої мережі можуть або приймати дані з мережі (слухати), або передавати дані в мережу, на загальну лінію. Коли пристрій приймає дані, вихід його передавача знаходиться в Z-стані (з високим імпедансом) і ніяк не впливає на роботу лінії та не заважає іншим пристроям. Кожному пристрою в мережі задалегідь, в його налаштуваннях присвоюється власна унікальна мережна адреса. І так все підключено, усі пристрої слухають. А що далі? Хтось має першим заговорити.

Зазвичай призначається хост (master) пристрій, який ініціює роботу всієї лінії. Хостом може бути комп'ютер або PLC-панель, підключена до інтерфейсу. Хост посилає та приймає дані від інших пристроїв у мережі, керує цими пристроями за алгоритмом закладеної в ньому програми. У свою чергу, хост може бути підлеглим (slave) зовсім іншій лінії інтерфейсу RS485, що знаходиться на рівні вище. Так організуються багаторівневі мережі.

Щоб забезпечити безпомилкову та максимально зручну передачу інформації, комунікаційні операції регулюються набором правил та угод, відомих як мережевий протокол. Мережеві протоколи визначають типи роз'ємів, кабелів, сигналів, формати даних та способи перевірки помилок, алгоритми для мережевих інтерфейсів і вузлів, а також передбачають стандартні принципи в мережі для підготовки та передачі повідомлень.

В якості протоколу передачі було обрано Modbus RTU.

Modbus – це протокол прикладного (сьомого) рівня моделі OSI (Open Systems Interconnection Model). Modbus RTU (Remote Terminal Unit). Це різновид протоколу, який як фізичний рівень мережі найчастіше використовує послідовний інтерфейс RS-485, рідше — RS-232 і RS-422. По суті, всі ці інтерфейси визначають зв'язок за допомогою витих пар, але

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк 85
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

відрізняються характеристиками виду максимальної довжини кабелю, кількості вузлів і таке інше.

Формат пакета Modbus RTU загалом збігається з узагальненою формою. Контроль цілісності пакетів здійснюється за допомогою алгоритму CRC-16.

Важлива особливість Modbus RTU в тому, що для поділу пакетів повинні використовуватися тимчасові паузи тривалістю не менше ніж добуток $3,5 \cdot t$, де t - час передачі одного байта в мережі. А передача байтів даних у межах одного пакета проводиться послідовно з проміжком часу між сусідніми байтами не більше $1,5 \cdot t$, інакше передача вважатиметься хибною.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
						86
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 5

РОЗРОБКА ТА ПРОЕКТУВАННЯ SCADA СИСТЕМИ

Оператори повинні мати можливість з першого погляду бачити, яка інформація потребує їхньої уваги та які дії потрібно вжити. Ви повинні швидко дізнатися, які проблеми виникли і як їх ефективно вирішити. Перевірені та інноваційні системи SCADA можуть покращити оперативне реагування.

SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition, Система диспетчерського керування та збору даних) – це комп'ютерна програма, необхідна для моніторингу та керування технологічними процесами на виробничих підприємствах на високому рівні диспетчеризації.

SCADA є не тільки інструментарієм реалізації системи керування, але і ще є інструментарієм проектування.

Середовища SCADA:

- Середовище розробки;
- Середовище програмування;
- Середовище виконання.

На основі того факту, що SCADA складається з трьох основних складових компонентів таких, як диспетчерський пункт керування (MTU, Master Terminal Unit), віддалений термінал (RTU, Remote Terminal Unit) і систему зв'язку (CS, Communication System) було розроблено структурну схему SCADA системи автоматизованого електроприводу стрічкопротяжного тракту ПРМ, яка зображена на рис. 6.1. [38]

Для системи SCADA були сформовані такі вимоги:

- Візуалізація процесів в реальному часі;
- Можливість працювати відповідно до умов експлуатації об'єкту керування (ОК);

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		87

- Організація та налаштування частоти оновлення даних про параметри технологічного процесу не менше ніж один раз в секунду;
- Реалізація алгоритмів керування з передачею керуючих впливів на ОК.

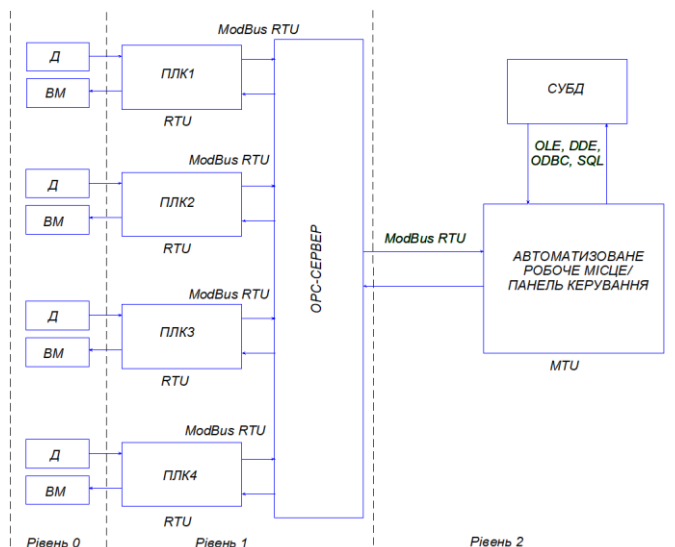


Рисунок 6.1 - Структурна схема SCADA системи

Обраний нами ПЛК, який є RTU пристроєм працює в режимі реального часу, забезпечуючи необхідну частоту обміну інформацією. Також обрані пристрої RTU повністю відповідають вимогам умов експлуатації, зазначених у технічному завданні. Програмно-апаратні середовища необхідно вибрати так, щоб відповідати вимогам щодо візуалізації технологічних процесів і реалізації алгоритмів керування.

Фірмова програма від Schneider Electric – EcoStruxure Machine Expert (SoMachine) забезпечує середовище для розробки прикладних програм ПЛК для виконання завдання реалізації алгоритмів керування та формування керуючих впливів на основі параметрів апаратного забезпечення системи.

Програмне забезпечення має OPC-сервер, який працює з апаратною частиною ПЛК для обміну даними за протоколами Modbus, MQTT і SNMP і підтримки стандарту OPC UA для реалізації алгоритмів обробки вхідних і вихідних сигналів і забезпечення обміну даними із APM SCADA системи.

Цей комплекс базується на операційній системі Windows, тому може працювати на ПК Schneider Electric Harmony iPC (APM).

Для створення системи SCADA було прийнято рішення обрати програму Ignition SCADA System.

Основними функціями Ignition SCADA System є:

- Наглядне спостереження за технологічним процесом;
- Відображення, архівування та запис інформації отриманої від технологічних об'єктів;
- Відкритий OPC – інтерфейс (OLE);
- Можливість зберігання, відображення та запису типів змінних.

Для візуалізації технологічного процесу на основі даних, отриманих від RTU та операторного керування, було обрано програмний пакет Ignition SCADA System. Цей програмний комплекс забезпечує підключення до пристроїв RTU через сервер OPC і забезпечує обмін даними між рівнями системи. Цей комплекс автоматично ідентифікує змінні програмного середовища, таким чином дозволяючи відображати технологічний процес. Крім того, цей програмний комплекс дозволяє створювати інтерактивні мнемосхеми та відображати їх на панелі керування оператора.

Використовуючи програму Designer Launcher була створена мнемосхема електроприводу стрічкопротяжного тракту сіткової частини ПРМ з відображенням усіх необхідних технологічних параметрів.

Мнемосхема – наочне графічне зображення функціональної схеми керованого або контрольованого об'єкта. Для побудови мнемосхеми необхідно дотримуватись певних принципів, а саме:

- Принцип лаконічності (Схема має бути простою і не повинна містити нічого зайвого);
- Принцип узагальнення та уніфікації (Подібні символи необхідно уніфікувати і об'єднувати);
- Принцип акценту (Елементи контролю та керування).

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	89	

Мнемосхема електроприводу стрічкопротяжного тракту сіткової частини ПРМ наведена у додатку А. Всі інші мнемосхеми інших секції ПРМ будуть виглядати майже ідентично, тому приводити їх всі не є доцільним.

Для відображення мнемосхеми і взаємодії оператора з системою використаємо ПК Schneider Electric Harmony iPC та монітор Schneider Electric Emaga 26''. Обраний нами ПК дає змогу підключення до каналу зв'язку і обмін інформацією за протоколами Modbus RTU і Modbus ASCII.

Для обміну даними між рівнями SCADA системи необхідно використовувати програмні протоколи та апаратні інтерфейси для узгодження протоколів обміну для формування каналів зв'язку. Через те, що система є локальною, і АРМ знаходиться в межах 100 метрів від ОК, немає необхідності використовувати віддалені засоби зв'язку, оскільки це вимагає використання додаткового обладнання та не є доцільним.

Як апаратний засіб каналу зв'язку було вирішено використовувати дротову мережу. Виходячи з умов роботи об'єктів керування, частоти обміну інформацією, наявних інтерфейсних і програмних можливостей для зв'язку пристроїв RTU і MTU було обрано асинхронний апаратний інтерфейс RS-485 і протокол зв'язку Modbus RTU. Інтерфейс RS-485 підтримує до 32 прийомопередатчиків в одному сегменті мережі довжиною до 1200 м. [39]

Протокол зв'язку Modbus заснований на архітектурі Ведучий/ Ведений (Master/Slave) і може використовуватися з послідовними лініями зв'язку RS-485, RS-232 і RS-422. Протокол Modbus RTU дозволяє використовувати в мережах один пристрій MTU і до 247 пристроїв RTU. Крім того, протокол може виявляти помилки в мережевих кадрах, усуваючи передачу пошкодженої інформації. Максимальний розмір кадру на основі версії цього протоколу Modbus RTU становить 256 байт. Апаратний інтерфейс RS-485 і протокол зв'язку Modbus RTU дозволяють обмінюватися інформацією в режимі реального часу між рівнями системи зі швидкістю 10 Мбайт/с у реальних умовах експлуатації, що відповідає вимогам апаратного та програмного забезпечення каналу зв'язку. [39]

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	90	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

ВИСНОВКИ

У дипломному проекті було розроблено систему керування автоматизованого електроприводу стрічкопротяжного тракту папероробної машини. А саме проведено аналіз об'єкту:

- Опис технологічного процесу виробництва паперу;
- Опис та особливості окремих секцій ПРМ;

В результаті аналізу технологічного процесу було розроблено схему інформаційно – матеріальних потоків. З її використанням розроблено функціональну схему автоматизації. Детально розглянуті окремі контури контролю та керування.

Також в дипломному проекті було проведено наступне:

- У першому розділі представлено конструктивно-технологічний аналіз об'єкту керування – електроприводу стрічкопротяжного тракту папероробної машини.

- Другий розділ присвячено опису контурів контролю та керування.
- Третій розділ присвячено вибору та обґрунтуванню ТЗА.
- В четвертому розділі розповідається про вибір ПЛК та інтерфейсів.
- В п'ятому розділі описано розробку SCADA системи та способи зв'язку з нею.

Система керування забезпечує наступні функціональні та технічні вимоги:

- Отримання готової продукції з робочою швидкістю 400 м/хв. з обрізною шириною 2,52 м;
- Термін служби обладнання – не менше 5 років;
- Напрацювання до відмови не менше 20000 год;
- Завдання та контроль швидкості стрічкопротяжного тракту у діапазоні 0-400 м/хв. з точністю до 1%;

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	91	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

- Завдання та контроль лінійного тиску між валами пресової частини у діапазоні 0-5 кН/м. з точністю до 1%;

- Контроль та сигналізація технологічних параметрів.

Для розробки мнемосхеми SCADA було вирішено обрати середовище Ignition SCADA System. Розроблена мнемосхема SCADA системи для контуру керування електроприводом стрічкопротяжного тракту ПРМ з відображенням усіх необхідних технологічних параметрів. Всі інші мнемосхеми інших контурів та секцій ПРМ будуть виглядати майже ідентично, тому приводити їх всі не є доцільним.

В завершенні можна сказати, що даний дипломний проект розроблений з урахуванням сучасних тенденцій, розробок та новітніх технологій в галузі, які спрямовані на зниження собівартості та підвищення якості продукції, що випускається. Ці заходи можуть зробити вироблену продукцію більш конкурентоспроможною.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	92	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. A. Kloss, A Basic Guide to Power Electronics, John Wiley & Sons, 2018, ISBN 0 471 90432 5. (original in German language as Leistungselektronik ohne Ballast, Franzis-Verlag GmbH, 2018).
2. Збірник основних термінів з електротехніки та альтернативної енергетики: навч. посіб. / Т.Ю. Введенська, Ю.В. Куваєв, М.С. Кириченко, І.В. Хуртак; під заг. ред. Ф.П. Шкрабця; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Дніпро : НГУ, 2018. – 144 с. [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/mr2cz85>
3. Automation of Sectional Drive Paper Machine Using PLC and HMI. International Journal of Engineering Research and General Science Volume 3, Issue 4, July-August, 2019 ISSN 2091-2730
4. Папероробні машини [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/394byek6>
5. S. Mitrofanov, A. Veremeev, "Simulation of Transient Processes in an Asynchronous Motor with a Phase Rotor", International Conference on Industrial Engineering, Applications and Manufacturing (ICIEAM), pp.372-377, 2021.
6. Vikas Joshi, Gauri Yadav, Harshita Pathak, Parvesh Saini, "Design and Analysis of controllers for paper machine subsystem", 2nd International Conference on Advances in Computing, Communication Control and Networking (ICACCCN), 2020.
7. Оніщенко Г.Б., Аксьонов М.И. Автоматизований електропривод промислових установок – М: ПАХСН, 2019. – 520 с.
8. Семикіна І.Ю., Зав'ялов В.М., Глазко М.А. Градієнтне керування багатодвигунним електроприводом // Вісті Київського політехнічного університету. 2019.
9. J.R.G. Schofield, "A 3.3 kV variable frequency converter for retrofitting to existing motors", IEE Seminar Advances in Induction Motor Control, 2020.

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	93	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

10. A. Guillermo Ramirez, M. Anibal Valenzuela, Steve Pittman, Robert D. Lorenz, “Modeling and Evaluation of Paper Machine Coater Sections”, IEEE IAS Pulp, Paper and Forest Industries Conference (PPFIC), 2018.

11. Методи синхронізації швидкості декількох частотно-керованих приводів [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.intechnics.ru/article_sinhronizatia_privodov.html

12. Датчики та перетворення вимірюваної величини у процесі вимірювань [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://vozom.org.ua/index.php/elementna-baza-a-it/datchyky?showall=1&limitstart>

13. Ємнісний датчик [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://ayvaz.com.ua/ua/news/67-yomkostnyy-datchik>

14. Схема автоматизації [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/3w7ynn4f>

15. Датчик [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%94%D0%B0%D1%82%D1%87%D0%B8%D0%BA>

16. Датчик швидкості ленти [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://amtorg.com.ru/datchik-skorosti-lenty-dsl>

17. ДАТЧИК ЄМНІСНИЙ ХТ232А1FBL2 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/3cj5t6ek>

18. Індуктивний датчик циліндр NC XSAV11801 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/3mv33msw>

19. Переваги і недоліки різних типів датчиків [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tehnar.net.ua/perevagi-i-nedoliki-riznih-tipiv-datchikiv/>

20. Індуктивні датчики: призначення і принцип роботи [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://vikna.if.ua/cikavo/127807/view>

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	94	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

21. Тензодатчик LX-200SD [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://www.alibaba.com/product-detail/200KG-Tension-load-cell-LX-200SD_1600212183627.html
22. Перетворювач сигналу тензодатчика [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://uralves.ru/catalog/additional/signal-amplifier>
23. Датчик лінійного переміщення серії LTC-A з аналоговим виходом 4-20 мА та штоком із здвоєним підшипником [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://profikom.com.ua/ua/p787772488-datchik-linejnogo-peremescheniya.html>
24. Абсолютний багатооборотний енкодер EP50S (Autonics) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://inav.com.ua/ua/shop/absolyutnyy-mnogooborotnyy-yenkoder-ep50s-autonics>
25. Smart Metal Housing Analog Output PDA-Cc100tgi CMOS Laser Distance Measuring Sensor 100cm [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://lanbaosensor.en.made-in-china.com/product/iEHUPuNKJYcp/China-Smart-Metal-Housing-Analog-Output-PDA-Cc100tgi-CMOS-Laser-Distance-Measuring-Sensor-100cm.html>
26. Вимірювання відстані: лазерний чи ультразвуковий датчик? [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://peko.com.ua/statti/laser-or-ultrasonic>
27. Асинхронні електродвигуни AIP [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://xn--80aqy.com.ua/asinhronni-elektrodiviguni-air/>
28. Перетворювачі частоти та пристрої плавного пуску [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/y45s3xhk>
29. Шаговий двигател ь FL130BYG2503, NEMA 51 (130 мм) [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: http://www.npoatom.ru/katalog/step_motor/fl130/
30. Цифровой драйвер шагового двигателя Leadshine DM2282 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.npoatom.ru/katalog/drivers/dm2282/>

					СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	95	Арк
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			

31. ПРОГРАМОВАНИЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР M241 [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/2jvk6u2p>
32. МОДУЛЬ ТМЗ 8 АНАЛОГ ВХ 12 БІТ [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/ycksdxba>
33. МОДУЛЬ ТМЗ 4 АНАЛОГ ВИХ 12 БІТ [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/eycw6tdy>
34. БЛОК ЖИВЛЕННЯ УНІВЕРСАЛЬНИЙ 24В 20А [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/2s4jepxu>
35. ПРОМ ПК ПЕРФ. SSD DC Win 8.1 2СЛЮТ [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://tinyurl.com/2p9bn443>
36. Підключення пристроїв по rs 485. Фізичні інтерфейси RS485 і RS422. Приклади правильних мереж [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://gadgets-room.ru/podklyuchenie-ustroistv-po-rs-485-fizicheskie-interfeisy-rs485-i-rs422/>
37. Optical distance sensor [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://www.leuze.com/en-sg/products/measuring-sensors/optical-distance-sensors?p=1>
38. Guráň M., Janota A., Holečko P. AUTOMATION OF SCADA SYSTEM DEVELOPMENT //Acta Technica Corviniensis-Bulletin of Engineering. – 2019. – Т. 12. – №. 2. – С. 73-77.
39. Kellers R. Home Automation Network MODBUS. – 2021.
40. B. K. Bose, Power Electronics and Motor Drives: Advances and Trends, Academic Press, 2020.
41. ДСТУ 8828:2019 Пожежна безпека. Загальні положення.
42. ДСТУ 12.2.016 – 81 Система стандартів безпеки праці. Загальні вимоги безпеки.
43. ДСТУ 2098-92. Виробництво паперу та картону. Терміни та визначення (61111).

						СУ-91/4-0.6.151.01.ПЗ	Арк
							96
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата			