

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

«До захисту в ЕК»

Декан факультету

Андрій ФОРСЮК

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«8» лютого 2024 р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

Ярослав СМІТЮХ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«8» лютого 2024 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА

зі спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані  
(код та назва спеціальності)

технології»

освітньо-професійної програми «Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації»

на тему: Розробка системи автоматизації управління подачі целюлозної маси на папероробну машину

Виконав: здобувач 3 курсу, групи ЗАК-3-1ск

Сопчук Ростислав Любомирович

(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Мацебула Дмитро Валерійович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

Валерій Бургело

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Я як здобувач(ка) Національного університету харчових технологій розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав(-ла) і не одержував(-ла) недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело

Здобувач

(підпис)

Київ – 2024 р.

# Національний університет харчових технологій

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

Освітній ступінь «Бакалавр»

Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні системи та програмна інженерія в автоматизації»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри АКТСУ

Ярослав СМІТЮХ

«19» грудня 2023 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Сопчука Ростислава Любомировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка системи автоматизації управління подачі целюлозної маси на папероробну машину

керівник роботи ст. викл. Мацебула Дмитро Валерійович

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від « 19 » грудня 2023 р. № 1005-кс

2. Строк подання здобувачем роботи « 15 » лютого 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи

Короткі відомості про об'єкт автоматизації, відомості про умови експлуатації об'єкта автоматизації та вимоги до системи автоматизації.

Матеріали

переддипломної

практики.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити)

Вступ. 1. Аналіз існуючих систем подачі целюлозної маси. 1.1. Огляд існуючих технологій галузі. 1.2. Аналіз сучасних систем автоматизації для папероробних машин. 1.3 Виявлення недоліків та можливостей для вдосконалення. 2. Характеристика процесу. Функції АСУТП 3. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК) та схеми

підключення. 4. Креслення встановлення технічного засобу. 5. Розробка алгоритмічного забезпечення АСР. 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога. 7. Моделювання АСР

5. Перелік графічного матеріалу

1. Схема автоматизації 2. Схеми підключення датчиків та ВМ до ПЛК.

3. Креслення встановлення технічного засобу.

6. Дата видачі завдання 19 грудня 2023 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

<b>№</b>	<b>Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи</b>	<b>Строк виконання етапів роботи</b>	<b>Примітка</b>
1	<i>Видача та затвердження завдання</i>	<i>Перед переддипломною практикою</i>	
2	<i>Розділ 1</i>	<i>Захист переддипломної практики</i>	
3	<i>Розділ 2</i>	<i>1 тиждень</i>	
4	<i>Розділ 3</i>	<i>2 тиждень</i>	
5	<i>Розділ 4 та 5</i>	<i>3 тиждень</i>	
6	<i>Розділ 6 та 7</i>	<i>4 тиждень</i>	
7	<i>Підготовка матеріалів до захисту</i>	<i>5 тиждень</i>	
8	<i>Захист кваліфікаційної роботи</i>	<i>6 тиждень</i>	

Здобувач Ростислав СОПЧУК

(підпис)

Керівник роботи Дмитро МАЦЕБУЛА

(підпис)

## Анотація

У першому розділі кваліфікаційної роботи проводиться аналіз існуючих систем подачі целульозної маси на папероробну машину та виявлення недоліків та можливостей для вдосконалення.

У другому розділі кваліфікаційної роботи приводиться завдання на розробку системи автоматизації, опис схеми автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації.

У третьому розділі кваліфікаційної роботи проводиться вибір та компонування модулів ПЛК.

У четвертому розділі кваліфікаційної роботи розглядається монтаж вимірювального приладу.

У п'ятому розділі кваліфікаційної роботи розробляється програма користувача для CPU 315-2 PN/DP мовою FBD.

У шостому розділі кваліфікаційної роботи розробляється людино-машинного інтерфейсу в програмному забезпеченні SIMATIC WinCC flexible.

У сьомому розділі кваліфікаційної роботи розглядається розробка моделювання автоматичної системи регулювання.

**Ключові слова:** модуль, ПЛК, Siemens, автоматизація, SCADA, конфігурація.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						3
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Summary

The first section of the qualification work analyzes the existing systems for supplying pulp to the paper machine and identifies shortcomings and opportunities for improvement.

The second section of the qualification work contains the task of developing an automation system, a description of the automation scheme and a specification of automation devices and means.

In the third section of the qualification work, the selection and layout of PLC modules is carried out.

The fourth section of the qualification work deals with the installation of the measuring device.

In the fifth section of the qualification work, a user program for the CPU 315-2 PN/DP is developed in FBD.

In the sixth section of the qualification work, a human-machine interface is developed in the SIMATIC WinCC flexible software.

The seventh chapter of the qualification work deals with the development of modeling of the automatic control system.

Keywords: module, PLC, Siemens, automation, SCADA, configuration.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ЗМІСТ

Вступ.....	6
1. Аналіз існуючих систем подачі целульозної маси.....	7
1.1 Огляд існуючих технологій галузі.....	7
1.2 Аналіз сучасних систем автоматизації для паперобних машин.....	18
1.3 Виявлення недоліків та можливостей для вдосконалення.....	21
2. Характеристика процесу. Функції АСУТП.....	23
3. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК) та схеми підключення.....	31
4. Креслення встановлення технічного засобу.....	38
5. Розробка алгоретмічного забезпечення АСР.....	39
6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога.....	47
7. Моделювання АСР.....	55
Висновки.....	68
Список використаної літератури.....	70

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВСТУП

В сучасному світі розвиток технологій неможливий без постійного вдосконалення та автоматизації виробничих процесів. Однією з галузей, яка вимагає постійної оптимізації, є виробництво паперу. Папероробні машини використовуються для виготовлення різноманітних паперових продуктів, і ефективне управління подачею целюлозної маси стає ключовим аспектом покращення якості та продуктивності в цій галузі.

Метою даного кваліфікаційного проекту є розробка системи автоматизації управління подачею целюлозної маси на папероробну машину. Дана система має на меті підвищити ефективність виробництва, зменшити витрати сировини, а також поліпшити якість паперу шляхом точного та автоматизованого контролю за подачею целюлози.

В ході реалізації проекту буде проведено аналіз існуючих систем управління подачею целюлозної маси, визначено вимоги до розроблюваної системи, розроблено архітектуру та алгоритми роботи, виконано програмну реалізацію та проведено тестування. Результати дослідження та впровадження розробленої системи можуть внести вагомий внесок у підвищення конкурентоспроможності виробництва паперу та стануть важливим кроком у напрямку сталого розвитку даної галузі.

Цей проект не тільки висвітлює актуальні аспекти виробництва паперу, але і спрямований на вдосконалення технологічних процесів, що, в свою чергу, може мати позитивний вплив на середовище та забезпечити стабільний розвиток галузі у майбутньому.

Закликаючи до подальших досліджень та розширення можливостей автоматизації в цій галузі, цей кваліфікаційний проект сподівається стати важливим внеском у сучасну технологічну парадигму та відкрити нові можливості для покращення виробництва паперу.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ СИСТЕМ ПОДАЧІ ЦЕЛУЛЬОЗНОЇ МАСИ

## 1.1 Огляд існуючих технологій галузі

Першим обладнанням, подібним до рафінера (тобто машини з обертовими шліфувальними дисками), яке використовувалося в процесах виготовлення целюлози на основі деревини, була машина, розроблена Voith для виготовлення целюлози з відходів SGW у 1859 році, цілком зрозуміло, що він рано експериментував із нижчими температурами рафінування, адаптованими для виробництва паперової целюлози. У 1950-х роках були зроблені перші спроби використовувати рафінери для виробництва газетного паперу.

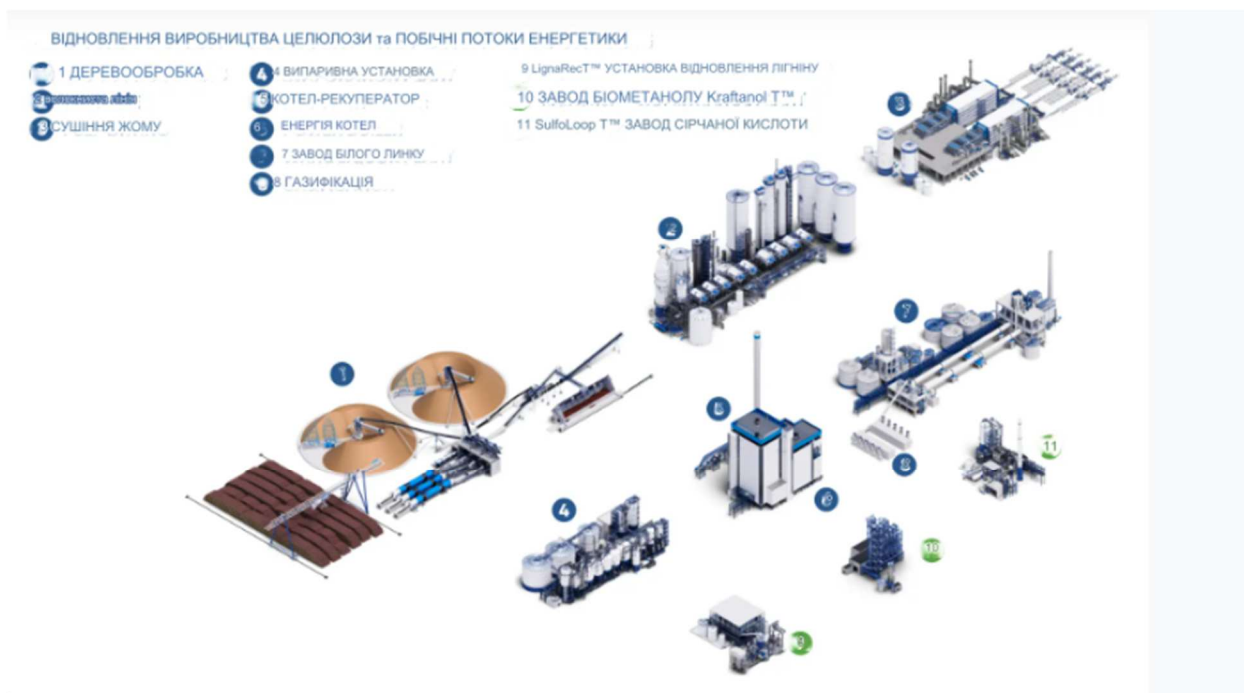


Рисунок 1.1 Приклад заводу по переробці целюлози

					Кваліфікаційна робота							
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата	Розробка системи автоматизації управління подачі целюлозної маси на папероробну машину			Літера	Аркуш	Аркушів		
Розробив	Сопчук Р.Л.										7	16
Перевірив	Мацебула Д.В.											
Консульт.												
Н. контр.												
Затвердив	Смітюх Я.В.							НУХТ ЗАК-3-1ск				

На ранній стадії було розроблено два основних типи рафінерів: подвійні дискові (DD) рафінери, оснащені двома дисками, що обертаються протилежно, від Bauer, пізніше також від SCA/Sunds Defibrator, і однодискові (SD) рафінери від Defibrator, Jylhävaara, Sprout Waldron і Нумас. Для збільшення потужності одного нафтопереробного заводу було введено дві концепції. Першим був рафінер Twin, по суті два рафінери SD в одному, розроблений Спраут Волдрон. Перша інсталяція млина включала 45-дюймовий рафінер на заводі Grand'Mère, Канада (Джонс 1968). Другою концепцією був конічний диск (CD) рафінер, розроблений Defibrator. Перша млинова установка на заводі Hallsta, Швеція, включала 70-дюймовий рафінер CD.

Під час цього раннього періоду механічного виробництва целюлози в рафінаторі цей процес часто називали рафінерним переробленням деревини або супер деревина. Пізніше процес і отриману целюлозу назвали механічною целюлозою рафінування (RMP). Перший комерційний процес RMP для друку паперу було запущено в 1956 році на фабриці Lyons Falls (тверда деревина) і Diamond Match Mill (м'яка деревина), США (Еванс 1956). Спочатку рафінери для виробництва паперу були без тиску (відкритий розряд) і працювали з відносно низькою консистенцією (нижче 15%), але незабаром було зрозуміло, що більш висока консистенція рафінування була корисною для підвищення якості целюлози.

Прорив у процесах на основі рафінерів відбувся, коли були представлені рафінери під тиском. Міцнісні властивості виробленої целюлози були значно вищими, а вміст стружки на 70–90% нижчим порівняно з ПМП. Найбільшим кроком у розвитку нафтопереробних установок у 1970-х роках було впровадження попереднього нагріву під тиском перед первинним нафтопереробленням під тиском. Цей процес отримав назву термомеханічної варіння целюлози (TMP). Спочатку машини з відкритим розвантаженням використовувалися на наступних стадіях рафінування. Перший рафінер TMP для виробництва товарної целюлози було

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

запущено на заводі Rockhammar у Швеції в 1968 році . Перші великі лінії TMP для газетного паперу були запущені одночасно в 1974 році на фабриці Халльста, Швеція та на фабриці Ньюберг , США . Певний період часу на деяких заводах використовувався процес із попереднім нагріванням під тиском з подальшим очищенням у відкритому розряді, який іноді називають TMR .

Вважалося, що оптимальна температура рафінування TMP була між 120 і 130 °C . Пізніше було зрозуміло, що, принаймні для ялини, можна було підвищити тиск (температуру) рафінування, якщо температуру попереднього нагрівання було знижено. Підвищення тиску рафінування дозволило рекуперувати пару з рафінерів для сушіння паперу без парових компресорів. Млин Kaipola першим встановив ребойлер без парових компресорів у 1980 році для виробництва чистої пари. Рекуперация водяною парою зробила собівартість виробництва целюлози конкурентоспроможною з SGW . Перша двоступенева лінія TMP під тиском була розроблена компанією Jylhävaara, а перша установка млина була встановлена на заводі Kaipola Mill у Фінляндії в 1976 році .

Усі лінії MP для друку паперу, запущені після 1990 року в Скандинавії , мають атмосферний попередній нагрів. У деяких процесах використовується лише короткий час попереднього нагрівання (5–10 с) під високим тиском (5–6 бар). Процеси з атмосферним попереднім нагріванням насправді слід називати PRMP (Pressurized Refiner Mechanical Pulp), але сьогодні акронім TMP зазвичай використовується для всіх процесів рафінування під тиском. Першу одноступінчасту нафтопереробну установку PRMP було запущено на заводі Бравікен у Швеції у 1982 році.

Розширення TMP було зафіксовано Leask, а пізніше Barnet у щорічному звіті, опублікованому в Pulp & Паперовий журнал Канада. Наприкінці 1970-х років застосування паперу для друку становило 82 % встановлених рафінерів TMP, а решта майже порівну розподілялася між картоном і товарною целюлозою .

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У 1980-х роках основною розробкою нафтопереробного обладнання був розмір машини, завдяки чому потужність збільшилася з прибіл. від 5 adt/год до 18 adt/год для двоступеневих процесів. Системи керування нафтопереробними заводами також значно покращилися протягом цього десятиліття.

У 1990-х роках виробники нафтопереробників високої консистенції (НС) були об'єднані в Valmet і Andritz. Протягом цього десятиліття Valmet розробив великий конічний дисковий рафінер (CD82) і великий подвійний дисковий рафінер (RGP68DD), тоді як Andritz розробив подвійний рафінер до Twin-66. Andritz представив процес RTS у 1997 році на основі оптимізованого Рчасу утримання, уточнення Ттемпература та обертальна Шшвидкість а першу установку млина було запущено на заводі Perlen Mill, Швейцарія.

З середини 1990-х років у дизайні нафтопереробника НС мало що змінилося, за винятком того, що компанія Andritz представила найбільший нафтопереробник НС Twin моделі TX68. Проте конструкція процесу, конструкція сегментів і керування нафтопереробником покращили продуктивність нафтопереробника з точки зору завантажуваності, стабільності роботи, виробничої потужності та якості целюлози .

Деревна стружка має бути гарячою та вологою, щоб досягти належного відділення волокон у процесі рафінування. Тому деревну стружку попередньо пропарюють, а потім одразу занурюють у мийну машину для видалення важкого сміття, такого як пісок, гравій тощо. Після миття стружки тріску можна попередньо нагріти ще раз перед рафінуванням. Операції попереднього пропарювання та промивання стружки не зазнали значних змін за ці роки, тому їх далі обговорювати не будуть.

Як невід'ємну частину кондиціонування стружки, просочування стружки водою за допомогою потужного шнекового живильника або Impressafiner, що подається в просочувальну колону, використовується з перевагою в різних частинах світу. Це один із способів впоратися з

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коливаннями вмісту вологи у струзі, що надходить, і забезпечити, щоб стружка з більш-менш постійним вмістом вологи подавалася до рафінарів .

Цей вид попередньої обробки стружки перед рафінуванням під важким стисненням також може зменшити питому енергію рафінування приблизно на 10 % і видалити 30–40 % екстрактивних речовин деревини, а також деякі речовини, що знижують яскравість.

Вичерпний огляд механічної попередньої обробки стружки був зроблений Gorski et al. -2010р.

Хімічна обробка в поєднанні з варінням целюлози на рафінаді використовується з моменту впровадження процесу Асплунд . Хімікати були додані під час випробувань і в млинових операціях майже у всіх уявних технологічних положеннях. Проте повне уявлення про всю роботу в цій галузі виходить за рамки цього огляду. Намір хімічних добавок полягав головним чином у покращенні якості целюлози та/або зменшенні питомої енергії. Крім того, додавання лужного сульфїту до рафінеру зменшило корозію сегмента, яка була проблемою для сплавів, які використовувалися на початку виробництва RMP . Найбільш використовуваними хімікатами у виробництві целюлози є бісульфїт або сульфїт натрію. Просочення чіпів із рівнями заряду 10–30 кг/бдт (як  $\text{Na}_2\text{SO}_3$  ) перед попереднім нагріванням під тиском (120–135 °C) і рафінуванням зазвичай називають хіміко-термомеханічною варкою (ХТМП), яка детально не обговорюється в цьому огляді. У 1980-х роках виробничі потужності СТМР почали швидко збільшуватися, особливо в Канаді. На початку розробки RMP і ТМР деякі заводи додавали сульфїт у процес.

Хімічні речовини додано до процесу в різних місцях, напр. г. в імпрегнаторі або до води для розведення рафінера. Втрату розсіювання світла від попередньої обробки сульфїтної стружки також можна до певної міри зменшити за рахунок підвищення інтенсивності рафінування. Найменше зменшення розсіювання світла досягається, якщо хімічна обробка виконується на фракції довгого волокна (наприклад, відбраковані сита) перед

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						11
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

рафінуванням. Цей ефект є меншим, коли сульфїт додається після первинної стадії рафінування. Коли сульфїт додається перед первинним рафінером, розсіювання світла виробленої пульпи зменшується). Хімічна обробка в поєднанні з МР була більш повно узагальнена. Ліндхольмом у 1990 році. Додавання сульфїту до води для розведення рафінера пізніше було названо сульфурванням води для розведення (DWS) .

Починаючи з кінця 1980-х років і пізніше, хімічна обробка паперу не була поширеною на фабриках МР для друку. Однак останні дослідження показали, що для підвищення енергоефективності та властивостей целюлози може бути корисним додавання хімічних речовин у процес.

#### Основна лінія переробки

На перших лініях RMP очищення основної лінії проводилося у два етапи після попередньої обробки стружки в Pressafiner, Рисунок 1.2. Первинне рафінування проводилося при вищій консистенції (спочатку при 15 %, пізніше понад 20 %), а вторинне рафінування проводилося при низькій консистенції (LC, 4–6 %) або середній консистенції (MC, 7–15 %). Протягом 1960-х років стало більш поширеним встановлення процесів із двома стадіями рафінування НС, за якими часто слідувала третя стадія рафінування низької консистенції, але без Pressafiner.

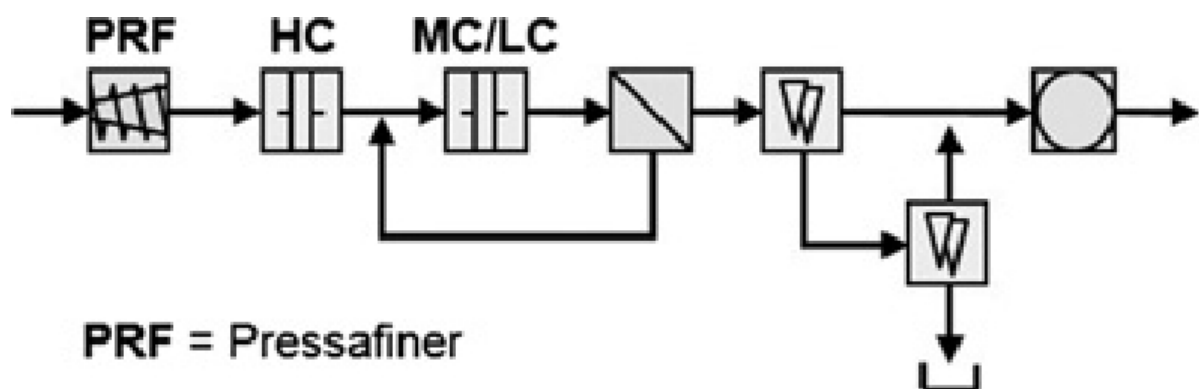


Рисунок 1.2 Початковий процес RMP із другим етапом очищення MC/LC і відбракованими відходами, що повертаються на очищення LC;

Перехід на двостадійну НС рафінування був зумовлений тим фактом,

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		12

що було важко, принаймні з ранніми DD рафінерами, застосувати навантаження, необхідне для досягнення прийнятної якості целюлози на одній стадії НС без тиску. Щоб мати можливість підтримувати високу консистенцію рафінування, Атак і Вуд зазначили, що необхідно виконувати рафінування на основній лінії (без тиску) в два-три етапи. З іншого боку, Міллс і Біт показали, що можна виконувати очищення основної лінії в одну стадію з високою консистенцією.

На початку історії RMP було зрозуміло, що умови процесу під час початкового відділення волокон мають великий вплив на досягнуті властивості целюлози. Тому конструкція основної лінії переробки має вирішальне значення. Іноді використовують вислів, що первинний рафінер встановлює «відбиток» виробленої целюлози. Ідея поділу дефібрації та фібриляції на різні стадії рафінування була запропонована рано. Однак на той момент не було відомо, які умови переробки є оптимальними для двох процесів. Дослідження, проведені у 80-х роках, показали, що початкове відділення волокон було корисним за відносно низької температури, а фібриляцію – за вищої. На основі цієї концепції Valmet розробив процес Thermopulp, а пізніше Andritz розробив процес Advanced TMP (ATMP), рисунок 1.3 . Процес ATMP було розпочато в Steyermühl, Австрія, у 2011 році. На відміну від цього, було показано, що високоякісну целюлозу можна виробляти з низькою питомою енергією в одноступінчастому рафінері DD68, який працює при високій температурі, у співпраці з Norske Skog .

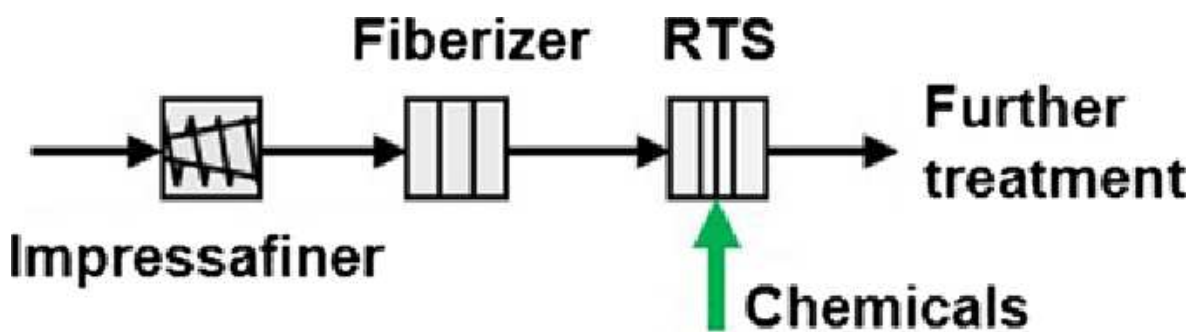


Рисунок 1.3 Приклад процесу ATMP

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		13

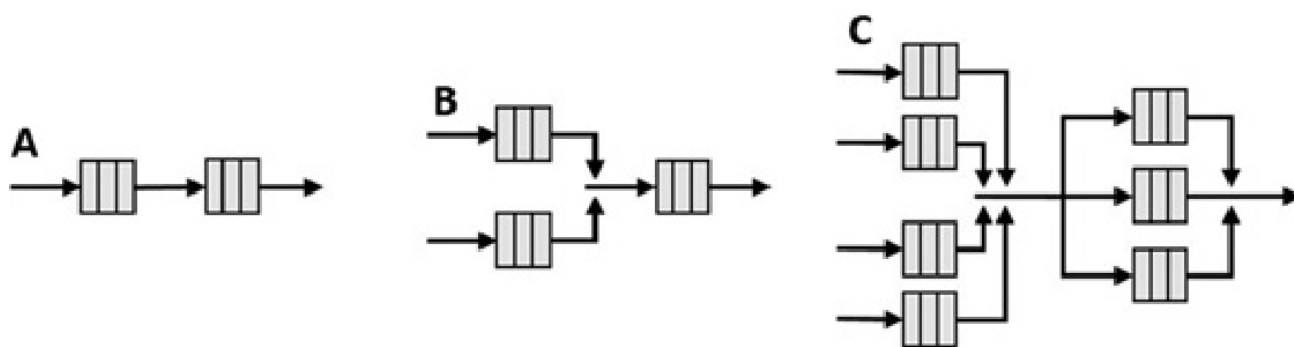


Рисунок 1.4 Три приклади конфігурації рафінера основної лінії.

Деревину можна охарактеризувати як в'язкопружний матеріал, і тому швидкість деформації, якій піддається деревина та волокнистий матеріал, впливатиме на розвиток властивостей та енергоефективність. Протягом багатьох років були представлені різні концепції підвищення ефективності, засновані на цьому факті. Майлз та ін. припустив, що було б вигідно застосовувати відносно низьку кількість енергії на стадії первинного рафінування при високій інтенсивності, а основну частину енергії – на низька інтенсивність на другому етапі рафінування. З іншого боку, Sabourin et al. (2003) припустив, що початкове розщеплення на волокна має здійснюватися з низькою інтенсивністю, а на другому етапі основна частина енергії повинна застосовуватися з високою інтенсивністю. Інтенсивність – це поняття, яке нелегко дати точне визначення, але його можна описати як жорстокість або суворість, а пізніше адаптовано для рафінування НС. Його вперше було введено для рафінування з низькою консистенцією рафінування та певною мірою може бути пов'язано зі швидкістю деформації.

Нафтопереробники головної лінії об'єднано кількома способами. Оскільки рафінери для стружки зазвичай можна завантажувати більше, ніж рафінери другого ступеня того самого розміру, одна концепція полягала в тому, щоб забезпечити один рафінер другого ступеня целюлозою з двох первинних рафінерів, або три вторинні рафінери, що живляться чотирма первинними рафінерами. Основна мета цих конфігурацій полягала в тому,

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						14
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

щоб мати можливість використовувати один розмір двигуна та один розмір рафінера та максимально завантажувати всі ступені.

З огляду на дизайн основної лінії, існують досить чіткі відмінності між практикою Північної Америки та рештою світу нафтопереробників. Сьогодні майже всі процеси в Північній Америці мають дві (або більше) стадії основної лінії очищення, тоді як установки за межами Північної Америки відрізняються більшою різноманітністю і складаються з:

1. 36 % одностадійних операцій з домінуванням дводискових рафінерів;
2. 45 % двоетапних операцій;
3. 4 % двох первинних рафінерів подають в один вторинний рафінер;
4. На 14 % складніші конфігурації – зазвичай чотири первинні рафінери живлять три вторинні рафінери.

У Північній Америці, де частота електромережі становить 60 Гц, однодискові рафінери обертаються зі швидкістю 1800 об/хв, тоді як великі подвійні дискові рафінери обертаються зі швидкістю  $2 \times 1200$  об/хв, що дає  $\Delta\text{об/хв} = 600$  (DD-SD). У Європі та багатьох інших частинах світу, де частота електромережі становить 50 Гц, однодискові рафінери обертаються зі швидкістю 1500 об/хв, якщо вони не обладнані редуктором для збільшення швидкості обертання, тоді як подвійні дискові рафінери обертаються зі швидкістю  $2 \times 1500$  rpm, що дає  $\Delta\text{rpm} = 1500$  (DD-SD). Цих відмінностей між північноамериканськими та європейськими нафтопереробними установками достатньо, щоб пояснити деякі відмінності в спостереженнях щодо якості целюлози та питомої енергії між північноамериканськими та європейськими нафтопереробними установками (Bergström et al. 1970-1991, Корт та ін. 1988, Сундхольм та ін.).

#### Одностадійна магістральна переробка

Перші лінії RMP зазвичай працювали з одностадійним рафінуванням НС, за яким слідувала друга стадія рафінування LC. Пізніше більшість із них було переведено на багатоступеневе рафінування НС, оскільки рафінери зазвичай були більш стабільними та мали довший термін служби сегментів,

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

коли працювали на вищій продуктивності в багатоступінчастих конфігураціях.

У той час було важко завантажити рафінери DD до рівня, необхідного для досягнення бажаної вільності пульпи за один етап, особливо для більших рафінерів DD . Маннстрьом модифікував подачу до рафінерів Bauer DD, що полегшило роботу одноступеневих рафінерів DD під тиском до низьких значень помола (нижче 100 мл CSF) . Перша одноступенева лінія TMP під тиском була запущена на заводі Summa, Фінляндія, у 1977 році.

Було зазначено, що одностадійні процеси легше контролювати та підтримувати . У рафінерах DD одностадійні операції також мають вищу енергоефективність . З іншого боку, Wild і Steeves та Mihelich повідомив, що не було суттєвої різниці в енергоефективності та якості целюлози для одностадійного та двоступеневого рафінування з тим самим типом рафінеру.

Сьогодні одностадійне очищення паперу на головній лінії майже виключно використовується в процесах із високоінтенсивним очищенням стружки, таких як DD або RTS. На Рис.1.5 показана одноступінчаста конструкція з сучасною системою просіювання з щілинами. Прикладами таких систем є Perlen (RTS) і Kvarnsveden (DD) , Доннакона . Для друку паперу працювало лише кілька одноступеневих рафінерів SD. Деякі приклади: Кеногамі , Kvarnsveden CD82 , Braviken RLP58. Процес у Braviken знаходиться у виробництві.

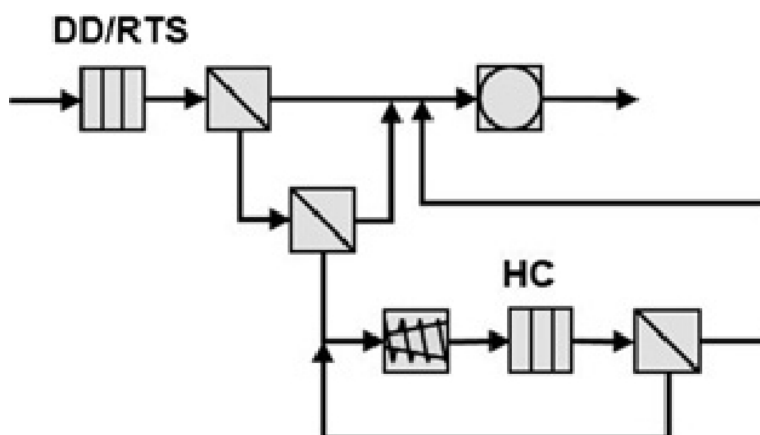


Рисунок 1.5 Приклад процесу з одноступеневим рафінуванням основної лінії, зазвичай є кілька паралельних рафінерів стружки.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		16

## Основна лінія низькоконсистенційної рафінації

Рафінування LC використовувалося на ранній стадії для очищення відходів і подальшого очищення на лініях SGW . Однак вважалося, що неможливо достатньо розвинути властивості волокна під час рафінування LC, і стимулом було в основному зменшити відкладення та остаточну помолу. налаштування.

На початку RMP LC рафінування використовувалося для другого або третього етапу рафінування в основній лінії, часто в поєднанні з грохотним рафінуванням, , але його також використовували для окремого рафінування відходів, однак Курдін. У 1980-х роках було широко визнано, що механічна целюлоза потребує меншої інтенсивності під час рафінування LC, щоб уникнути значного зменшення довжини волокон.

У середині 1990-х років кількість LC-рафінерів, які використовуються на лініях TMP, зростає, головним чином встановлених для третьої стадії основної лінії рафінування . У той час стимулом для таких установок було економічно ефективно збільшення виробничої потужності на 10–15 % і зниження питомої енергії до заданої вільності. LC рафінування механічної целюлози було докладно описано Велчем. Бажано поєднувати LC рафінування з високоінтенсивним рафінуванням стружки, щоб досягти рівня розсіювання світла, еквівалентного досягнутому SD HC рафінуванням . Для LC рафінування споживання енергії для певного збільшення індексу розтягування або зниження помолу становить приблизно половину порівняно з HC рафінуванням. Однак LC рафінування утворює волокна по-іншому порівняно з HC рафінуванням. Волокна випрямляються під час рафінування LC, а стінки волокон не відлущуються та не фібрилюються зовні такою ж мірою, як у рафінерах HC, що призводить до отримання пульпи з меншим розсіюванням світла порівняно з рафінуванням HC

Сучасні лінії CTMP, в основному виготовлені з листяної деревини, використовують LC рафінування на основній лінії та для обробки відходів,  
Рисунок 1.6.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						17
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

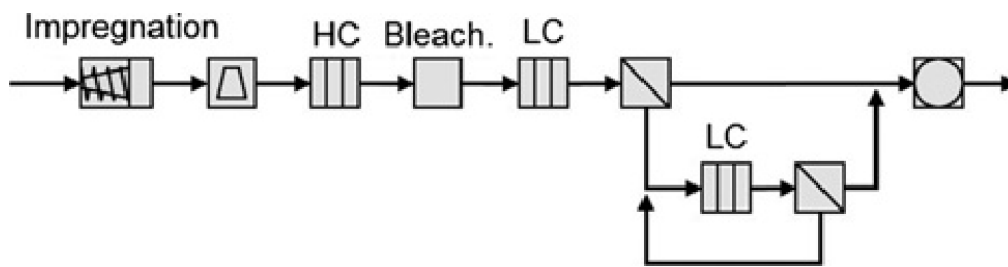


Рисунок 1.6 Приклад сучасного дизайну процесу СТМР із LC-рафінуванням як другою стадією в основній лінії та для очищення браку;

## 1.2 Аналіз сучасних систем автоматизації для папероробних машин

У сучасному виробництві паперу, автоматизація відіграє ключову роль у підвищенні ефективності, якості та конкурентоспроможності виробництва. Системи автоматизації для папероробних машин на сьогоднішній день стають все більше розвиненими та інтелектуалізованими, забезпечуючи комплексний контроль над усіма етапами виробничого процесу.

Системи керування та моніторингу є серцевиною будь-якої автоматизованої папероробної машини. Сучасні системи використовують ПЛК (програмовані логічні контролери) та СКБ (системи контролю та вимірювань) для автоматизації різних процесів, включаючи подачу целюлозної маси, регулювання тиску, швидкості та інші параметри. Вони забезпечують точність та надійність управління, що є критично важливим для досягнення високої якості продукції.

В сучасних папероробних машинах використовуються системи візуального контролю для автоматичного виявлення дефектів та відступлень від стандартів якості. Ці системи зазвичай базуються на використанні камер та програмного забезпечення для аналізу великої кількості даних. Вони дозволяють вчасно виявляти невідповідності та усувати їх, що забезпечує виробництво високоякісного паперу.

Системи автоматичного регулювання використовуються для динамічного коригування параметрів виробничого процесу. Наприклад, системи автоматичного регулювання можуть автоматично адаптувати

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

температуру, тиск та інші параметри залежно від змінних умов виробництва та якості вхідного сировини.

Однією з сучасних тенденцій у виробництві є інтеграція систем автоматизації з Інтернетом речей (IoT). Це дозволяє здійснювати дистанційний моніторинг та керування виробничими процесами, отримувати реальний час інформації та здійснювати аналіз даних для оптимізації ефективності виробництва.

Штучний інтелект та машинне навчання стають все більше поширеними в сфері автоматизації. Системи, що використовують ці технології, можуть адаптуватися до змінних умов, прогнозувати відмови обладнання, вдосконалювати процеси та зменшувати витрати.

У відповідь на сучасні вимоги до сталого виробництва, системи автоматизації також спрямовані на зменшення витрат ресурсів та негативного впливу на довкілля. Енергоефективні технології та системи рециклінгу є важливою частиною сучасних рішень у папероробній галузі.

Сучасні системи автоматизації для папероробних машин представляють собою інтегровані, інтелектуалізовані та екологічно чисті рішення, спрямовані на максимізацію продуктивності та якості виробництва. Використання передових технологій, таких як Інтернет речей, штучний інтелект та машинне навчання, дозволяє підняти ефективність виробництва на новий рівень. Розробка та впровадження інноваційних систем автоматизації може виявитися важливим фактором у зміцненні позицій папероробних підприємств на ринку, забезпечуючи їхню конкурентоспроможність в умовах швидко змінюючогося виробничого ландшафту.

Однією з сучасних систем керування є система Siemens SIMATIC, яка використовує ПЛК для автоматизації папероробних машин. SIMATIC надає високоточний контроль за різними параметрами, такими як тиск, температура, та інші. Вона інтегрується з системами моніторингу, які

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

забезпечують операторам доступ до важливої інформації в режимі реального часу.

Система візуального контролю Cognex In-Sight використовує камери та програмне забезпечення для виявлення дефектів на бобинах паперу чи рулонів. Вона може автоматично класифікувати дефекти, забезпечуючи виробникам можливість приймати швидкі та точні рішення щодо якості продукції.

ABB Ability System 800xA використовує систему автоматичного регулювання для динамічного адаптування параметрів виробничого процесу. Наприклад, система може автоматично коригувати тиск у системі подачі целюлозної маси для оптимізації продуктивності та забезпечення стабільної якості продукції.

SAP Leonardo IoT – інтегрована платформа для підключення обладнання папероробної машини до Інтернету речей. Це дозволяє віддалено моніторити та аналізувати роботу обладнання, передбачати можливі відмови та оптимізувати виробничі процеси з використанням аналітики даних.

Voith Infinity представляє систему, яка використовує штучний інтелект для аналізу великої кількості даних з папероробної машини. Система може виявляти патерни та вдосконалювати параметри виробничого процесу для оптимізації якості та продуктивності.

EcoPaperLoop - це інноваційна система для відновлення та використання вторинної сировини в паперовиробництві. Вона інтегрується з системами управління та моніторингу для ефективного використання ресурсів та зменшення впливу на навколишнє середовище.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3 Виявлення недоліків та можливостей для вдосконалення

Сучасні системи автоматизації управління подачею целюлозної маси в папероробній промисловості відіграють ключову роль у забезпеченні ефективності та конкурентоспроможності виробництва. Однак, з використанням та впровадженням нових технологій з'являються питання щодо їхньої надійності, безпеки та можливостей для подальших вдосконалень.

Недоліки сучасних систем:

**Складність інтеграції:** Багато систем виявляють складнощі у процесі інтеграції з існуючим обладнанням папероробних машин. Це може створювати труднощі для підтримки та обслуговування, а також збільшувати час впровадження.

**Неоднорідність сирової целюлози:** Сучасні системи іноді виявляють складнощі у врахуванні неоднорідностей у сирій целюлозі, що може впливати на якість та однорідність паперу.

**Відсутність гнучкості:** Деякі системи можуть бути менш гнучкими у відповіді на зміни у виробничому середовищі. Це може обмежувати їхню адаптивність до різних умов та вимог.

**Безпека та конфіденційність:** Збільшення обсягу зібраних даних може викликати проблеми з безпекою та конфіденційністю. Забезпечення захисту від несанкціонованого доступу та збереження конфіденційності стають важливими аспектами.

Можливості для вдосконалення:

**Системи Штучного Інтелекту (ШІ):** Впровадження ШІ може допомогти вирішити проблеми неоднорідностей сирової целюлози, роблячи системи більш адаптивними та реактивними до змінних умов виробництва.

**Стандартизація та сумісність:** Розробка стандартизованих протоколів та інтерфейсів може полегшити інтеграцію нових систем з існуючим обладнанням. Це сприятиме зменшенню складнощів у впровадженні та обслуговуванні.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						21
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Гнучкі системи автоматизації: Розробка гнучких систем, які можуть ефективно пристосовуватися до змін у виробничому середовищі, дозволить підтримувати високий рівень ефективності при змінних умовах.

Інтеграція із системами безпеки: Врахування високих стандартів безпеки та конфіденційності у розробці систем може забезпечити безпечну експлуатацію та обробку конфіденційної інформації.

Інтелектуальні алгоритми оптимізації: Використання інтелектуальних алгоритмів може допомогти в оптимізації параметрів процесу, щоб досягти вищої ефективності та якості продукції.

Екологічні аспекти: Розвиток систем, спрямованих на зменшення впливу на навколишнє середовище та збільшення екологічності виробництва, є ключовим напрямком для вдосконалення.

Враховуючи ці недоліки та можливості для вдосконалення, розробники та виробники можуть спрямовувати свої зусилля на покращення систем автоматизації управління подачею целюлозної маси на папероробну машину, забезпечуючи більш ефективне та стабільне виробництво.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						22
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 2. ХАРАКТЕРИСТИКА ПРОЦЕСУ. ФУНКЦІ АСУТП

Розглядається процес підготовки целюлози у виробництві газетного паперу на папероробній машині (ПДМ). Розглядається вузол технологічного процесу, що включає пульсаційний млин, змішувальний басейн СФА і СФІ целюлози, а також басейн-акумулятор. Сульфатна (СФА) целюлоза подається за допомогою насоса з басейну в пульсаційний млин. Пульсаційний млин призначений для дорозпуску целюлози. Розпуск пелюсток, грудочок, пучків волокон у пульсаційному млині відбувається без укорочення довжини волокон. Далі СФА целюлоза подається в басейн, де вона змішується із сульфідною (СФІ) целюлозою. Потім суміш подається в басейн - акумулятор. Як виконавчі пристрої, на потоках целюлози і води використовуються заслінки регульовальні з пневмоприводами і електропневматичними позиціонерами. На всіх виконавчих пристроях встановлено кінцеві вимикачі. Для насосів і мішалок басейнів використовуються приводи змінного струму, 30 Квт, 380 В. Для пульсаційного млина використовується привід змінного струму з частотним перетворювачем, 300 Квт, 6000В.

Дана система повинна забезпечувати отримання целюлози з якістю, необхідною для виробництва газетного паперу на ПДМ зі швидкістю полотна 1200-1300 м/хв і шириною полотна готового паперу 7,2 м. Параметри ПДМ:

- швидкість - 1200-1300 м/хв ;
- ширина полотна готового паперу - 7,2 м.

Виконавчі пристрої :

на потоках целюлози і води - заслінки, регулюючі з пневмоприводами і електропневматичними позиціонерами;

на всіх виконавчих пристроях встановлено кінцеві вимикачі.

					Кваліфікаційна робота			
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив		Сопчук Р.Л.			Розробка системи автоматизації управління подачі целюлозної маси на папероробну машину	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Мацебула Д.В.					23	8
Консульт.						НУХТ ЗАК-3-1ск		
Н. контр.								
Затвердив		Смітюх Я.В.						



4. Регулювання витрати маси(4000л/хв);

5. подача маси на змішувальний насос.

### Специфікація приладів та засобів автоматизації

№ п/п	№ поз. за схемою	Місце встановлення	Найменування і технічна характеристика виробу	Тип, Марка	К-сть	Виробник
1	2	3	4	5	6	7
1	1а	по місцю	Датчик рівня з уніфікованим вихідним сигналом 4-20мА, напру-га живлення 24 В DC, діапазон вимірювань 0.1 - 40 бар	PMC 71	1	Endress + Hauser
2	1г-2г-4г	по місцю	Електро-пневматичний клапан з аналоговим вхідним сигналом 4-20 мА, напруга живлення 24 В DC	RAA 250AS	3	Metso
3	2а	по місцю	Ротаційний датчик концентрації діапазон вимірювань 1 - 16% концентрації волокна, напруга живлення 24 В DC	MEK 3000	1	BTG Instruments AB
4	2б	по місцю	Комунікаційна платформа, напруга живлення 220 В AC	CPM	1	BTG Instruments AB
5	3а-5а	по місцю	Датчик тиску з уніфікованим вихідним сигналом 4-20мА, напру-га живлення 24 В DC, діапазон вимірювань 0.1 - 40 bar	PMC 51	2	Endress + Hauser
6	4а	по місцю	Електромагнітний датчик витрати з уніфікованим вихідним сигналом 4-20мА, напруга живлення 24 В DC, діапазон вимірювань 0...9600 м <sup>3</sup> /Г	55S2 F	1	Endress + Hauser
7	5г	по місцю	Електро-пневматичний клапан, з дискретним вхідним сигналом, напруга живлення 24 В DC	RAA 250AS	1	Metso

									Арк.
									25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Кваліфікаційна робота				

Рівень маси в басейні №10 визначається за допомогою датчика рівня PMC71 (поз. 1а.), та регулюється рівень за допомогою електро-пневматичного клапана RAA250AS (поз. 1г.) подачею маси в басейн №10. Концентрація маси вимірюється первинним приладом MEK3000 (поз. 2а.), тоді сигнал передається на вторинний прилад СРМ (поз. 2б.), регулюється концентрація за допомогою електро-пневматичного клапана RAA250AS (поз. 2г.). Тиск маси вимірюється датчиком тиску PMC51 (поз. 3а.), регулювання тиску відбувається за допомогою змішуючим насосом 24D07. Вимірювання витрати маси відбувається за допомогою електромагнітного датчика витрати 55S2F (поз. 4а.), витрата маси регулюється за допомогою електро-пневматичного клапана RAA250AS (поз. 4г.). Подача маси на змішуючий насос відбувається за допомогою електро-пневматичного клапана RAA250AS (поз. 5г.) тоді коли присутній тиск свіжої води на ущільнення датчиком тиску PMC51 (поз. 5а.).

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						26
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Обґрунтування вибору датчика рівня

Перетворювачі тиску Endress+Hauser PMS 71 розроблено для вимірювання тиску (абсолютного або надлишкового) рідин, пари та газів, їхнього об'єму, маси або рівня за тиску до 40 бар. Датчики характеризуються стабільністю роботи, високою точністю вимірювання параметрів (похибка  $\pm 0,075\%$ ). Вимірювальна діафрагма, яка використовується в датчиках Cerabar S PMS 71, виготовлена з кераміки і є сухим сенсором. У цьому випадку тиск робочого середовища впливає на діафрагму, деформуючи її і змінюючи електричну ємність між електродами. Товщина діафрагми визначає діапазон вимірювання тиску.



1. Діапазон вимірювання 0.1 - 40 бар;
2. Робоча температура  $-40\dots+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
3. Вихідний сигнал 4-20мА;
4. Напруга живлення 24 В DC.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		27

## Обґрунтування вибору датчика концентрації

Ротаційний датчик концентрації паперової маси може застосовуватися на всіх стадіях технологічного процесу - від видувної лінії варильного котла, на ступенях сортування і промивання, у вибілюванні, аж до машинного басейну. Повна універсальність датчика супроводжується надвисокою точністю вимірювання з конструкцією, що забезпечує максимальну компактність, зниження вимог техобслуговування і збільшений термін експлуатації.



MEK-3000 живиться від однофазної мережі комунікаційної платформи СРМ, що забезпечує сумісність з поточними і майбутніми вимогами до інтерфейсів зв'язку, від аналогового виходу з HART® до польових шин.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

## Обґрунтування вибору датчика тиску

Принцип дії перетворювача РМС51 полягає в деформаціях вимірювальної мембрани, поява яких викликає зміни ємності на вході електронної схеми.

Електронна схема утворює струмовий сигнал 4-20 мА



1. Діапазон вимірювання 0.1 - 40 бар;
2. Робоча температура -20...+125 °С;
3. Вихідний сигнал 4-20мА;
4. Напруга живлення 24 В DC.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		29

## Обґрунтування вибору датчика витрати



1. Діапазон вимірювання 0 - 9600 м<sup>3</sup>/г;
2. Макс. похибка вимірювання  $\pm 0.2\%$  за об'ємом;
3. Робоча температура -40 - +60 °С;
4. Вихідний сигнал 4-20мА;
5. Напряга живлення 24 В DC.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		30

## РОЗДІЛЗ . ПРОЄКТНЕ КОМПОНУВАННЯ ПРОМИСЛОВОГО ЛОГІЧНОГО КОНТРОЛЕРА (ПЛК) ТА СХЕМИ ПІДКЛЮЧЕННЯ.

Регулювання параметрів процесу здійснює програмований контролер серії SIMATIC S7-300 (Siemens). Цей контролер забезпечує розв'язання завдань нижніх рівнів керування в системах комплексної автоматизації - від керування окремими елементами та пристроями технологічного обладнання до керування виробничими ділянками та лініями.

За функціональними ознаками контролер можна розділити на наступні складові:

1. Центральний процесор, призначений для виконання команд (інструкцій) керуючої програми та обробки даних, розміщених у пам'яті.
2. Пам'ять контролера з жорстким розподілом областей для розміщення різних типів даних.
3. Процесори, що забезпечують обмін інформацією між модулями вводу/виводу і відповідними областями пам'яті.
4. Процесори зв'язку, призначені для обслуговування каналів контролера з програмами, з головною ЕОМ, з іншими контролерами або локальними обчислювальними системами, інформація, прийнята по каналах зв'язку, розміщуються безпосередньо в пам'яті.
5. Модулі введення, що забезпечують приймання та первинне перетворення інформації від датчиків об'єкта керування.
6. Модулі виведення, призначені для видачі керуючих сигналів на виконавчі пристрої об'єктів управління.

Для реєстрації параметрів технологічних процесів (t, p тощо) і аварійних повідомлень використовується принтер.

					<b>Кваліфікаційна робота</b>					
					Розробка системи автоматизації управління подачі целюлозної маси на папероробну машину					
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата				Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив	Сопчук Р.Л.								31	7
Перевірив	Мацебула Д.В							<b>НУХТ ЗАК-3-1ск</b>		
Консульт.										
Н. контр.										
Затвердив	Смітюх Я.В.									

Виведення на друк параметрів здійснюється в часі та за запитом оператора. На місці оператора може використовуватися РС, що дає змогу здійснювати:

- 1 перегляд інформації
- 2 перегляд стану обладнання
- 3 приймання та підтвердження сигналів аварійних повідомлень
- 4 архівування інформації
- 5 роздрукування протоколів
- 6 виведення графіків

Програмування контролера здійснюється за допомогою інструментального програмного пакета STEP7 для Windows 98/NT/2000. Редактор програм STEP7 містить мови програмування за стандартом ІЕС 61131-3: FBD, LD, IL або додатково мови програмування високого рівня.

Відповідно до технічного завдання та з урахуванням вибраних технічних засобів автоматизації був скомпонований наступний мікропроцесорний контролер.

Позначення модуля	К-сть	Найменування модуля	Характеристика модуля
З'єднувач	3	и-подібний шинний з'єднувач	Пасивний з'єднувач задньої шини контролерів S7-300
SITOP PSU100L	1	Модуль живлення	100...240VAC, 34 Вт
CPU 315-2	1	Процесорний модуль	PN/DP
DI8 xDC24V	1	Дискретний вхідний модуль	На 8 каналів
DO8 xDC24V		Дискретний вихідний модуль	На 8 каналів
AI8x13Bit	1	Аналоговий вхідний модуль	На 8 каналів
AO8x12Bit	1	Аналоговий вихідний модуль	На 8 каналів

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		32

На рисунку 3.1 наведено конфігурування контролера в програмному пакеті Simatic Step 7

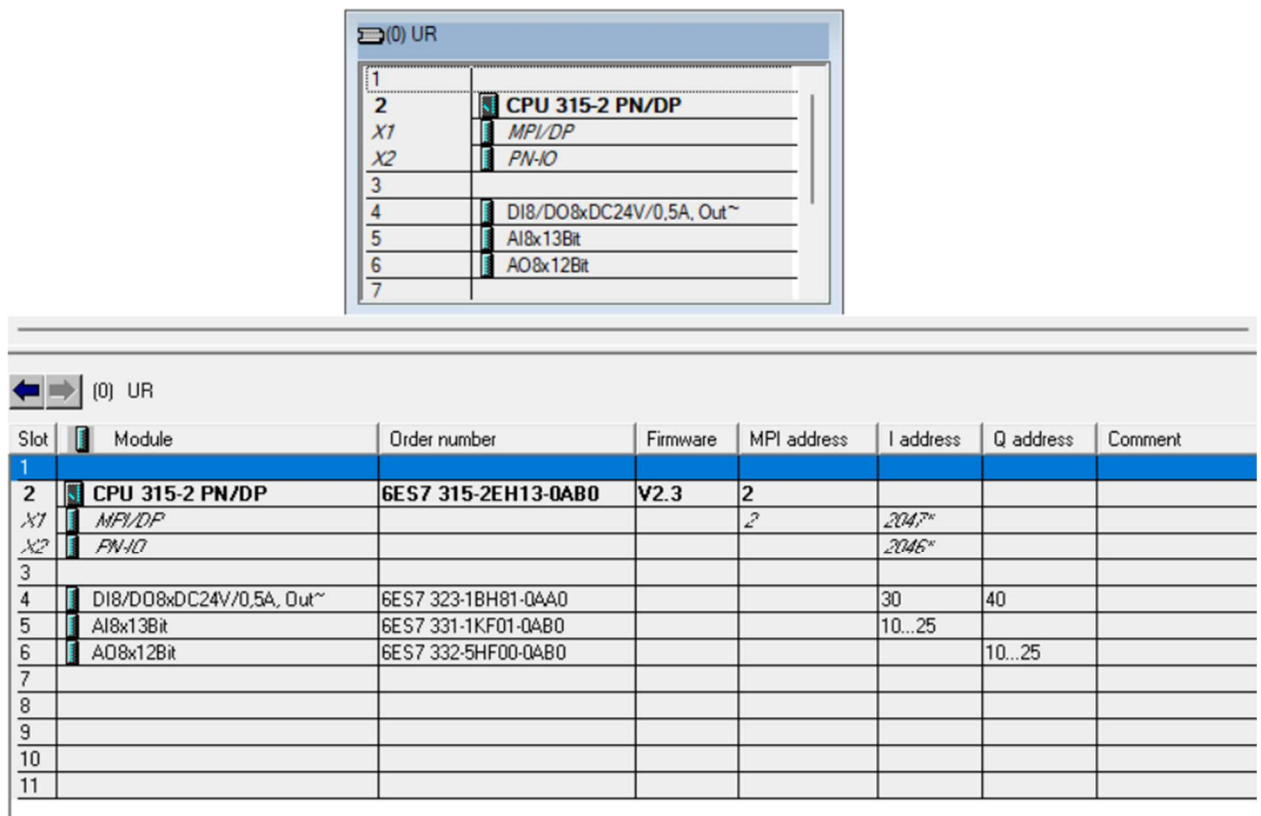


Рис 3.1. Проектне компонування в програмному пакеті Simatic Step 7

### Обґрунтування вибору процесорного модуля

CPU 315-2: центральний процесор для побудови систем управління, в яких потрібна швидкісна обробка інформації та підтримка систем локального введення- виведення, що включає в свій склад до 32 модулів.

	CPU 315-2
Напруга живлення (DC)	24 В
Робоча пам'ять	384 Кбайт
Час обробки процесора	
- для логічних операцій	0.05 мкс
- для операцій зі словами	0.09 мкс

## Обґрунтування вибору модуля аналогових входів

Модулі вводу аналогових сигналів призначені для аналого-цифрового перетворення вхідних аналогових сигналів контролера і формування цифрових величин, використовуються центральним процесором в процесі виконання програми. До входів модулів можуть підключатися датчики з уніфікованими вихідними електричними сигналами напруги.

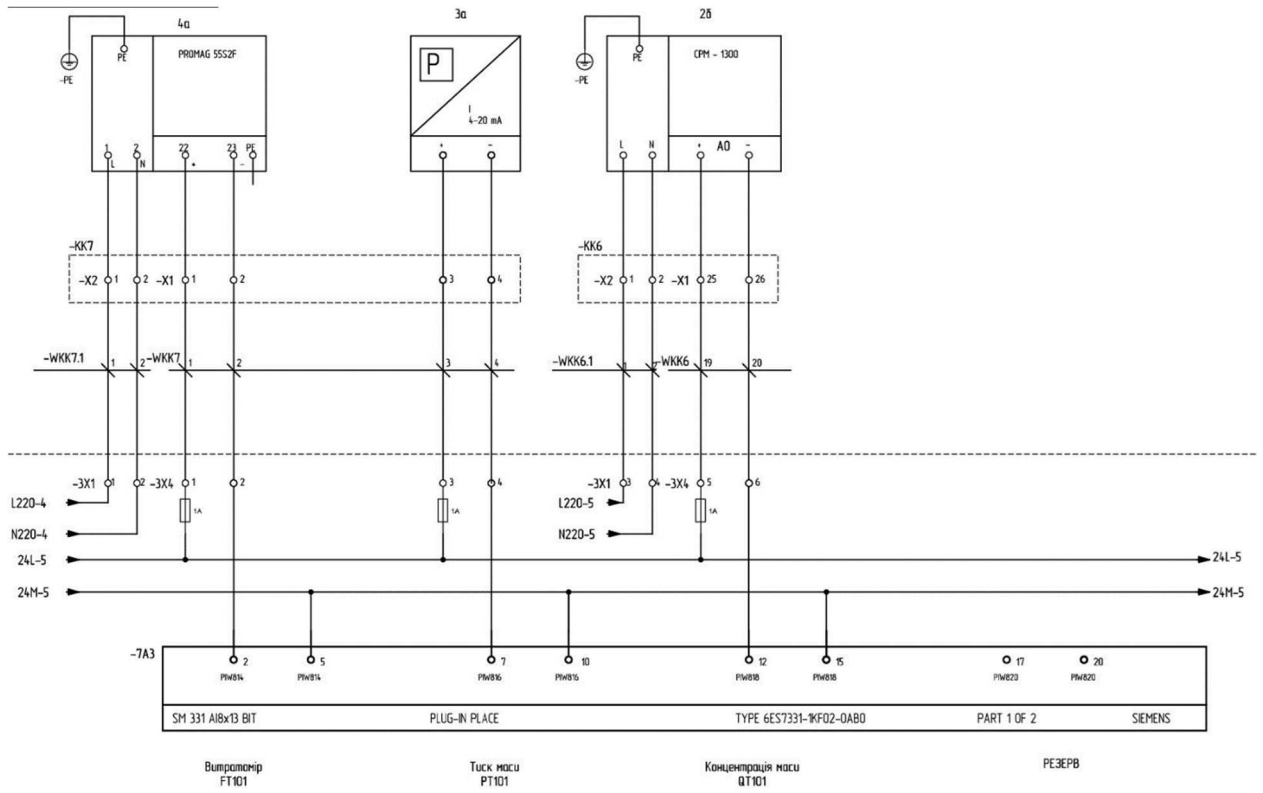


Рис. 3.2. Схема підключення зовнішніх ланцюгів до модуля аналогових входів SM 331 AI8x13Bit.

## Обґрунтування вибору модуля аналогових виходів

Модулі виведення аналогових сигналів призначені для цифро-аналогового перетворення внутрішніх цифрових величин контролера і формування його вихідних аналогових сигналів. До виходів модулів можуть підключатися виконавчі пристрої, керовані уніфікованими сигналами сили струму або напруги.

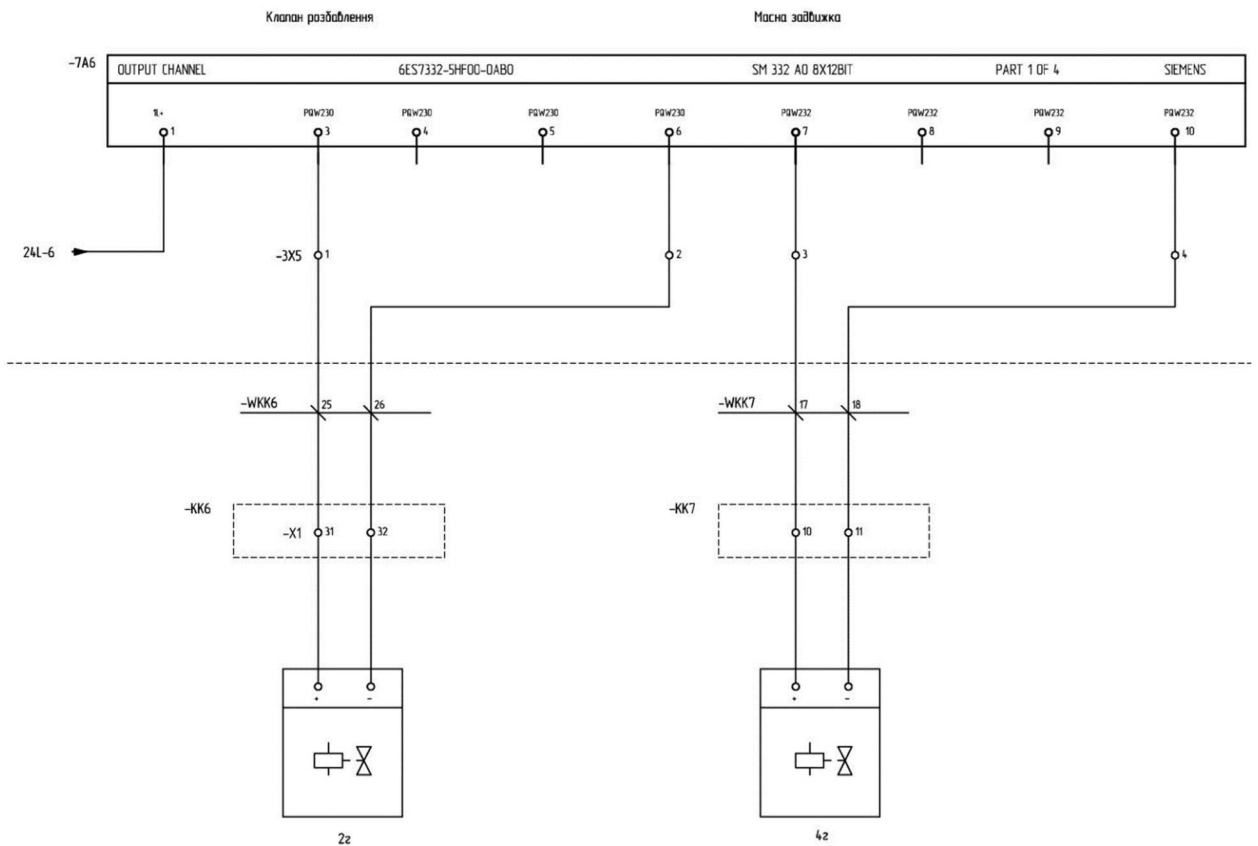


Рис. 3.3. Схема підключення зовнішніх ланцюгів до модуля аналогових виходів SM 332 AI8x12Bit.



## Обґрунтування вибору модуля дискретних виходів

Модулі виводу дискретних сигналів призначені для перетворення внутрішніх логічних сигналів контролера в його вихідні дискретні сигнали. До виходів модулів можуть підключатися виконавчі пристрою або їх комутаційні апарати.

Модулі випускаються в пластикових корпусах. На їх лицьових панелях розташовані:

1. зелені світлодіоди, індикація стану вхідних ланцюгів;
2. червоний світлодіод індикації відмов і помилок;
3. роз'єм для установки фронтального з'єднувача, закритий захисною кришкою;

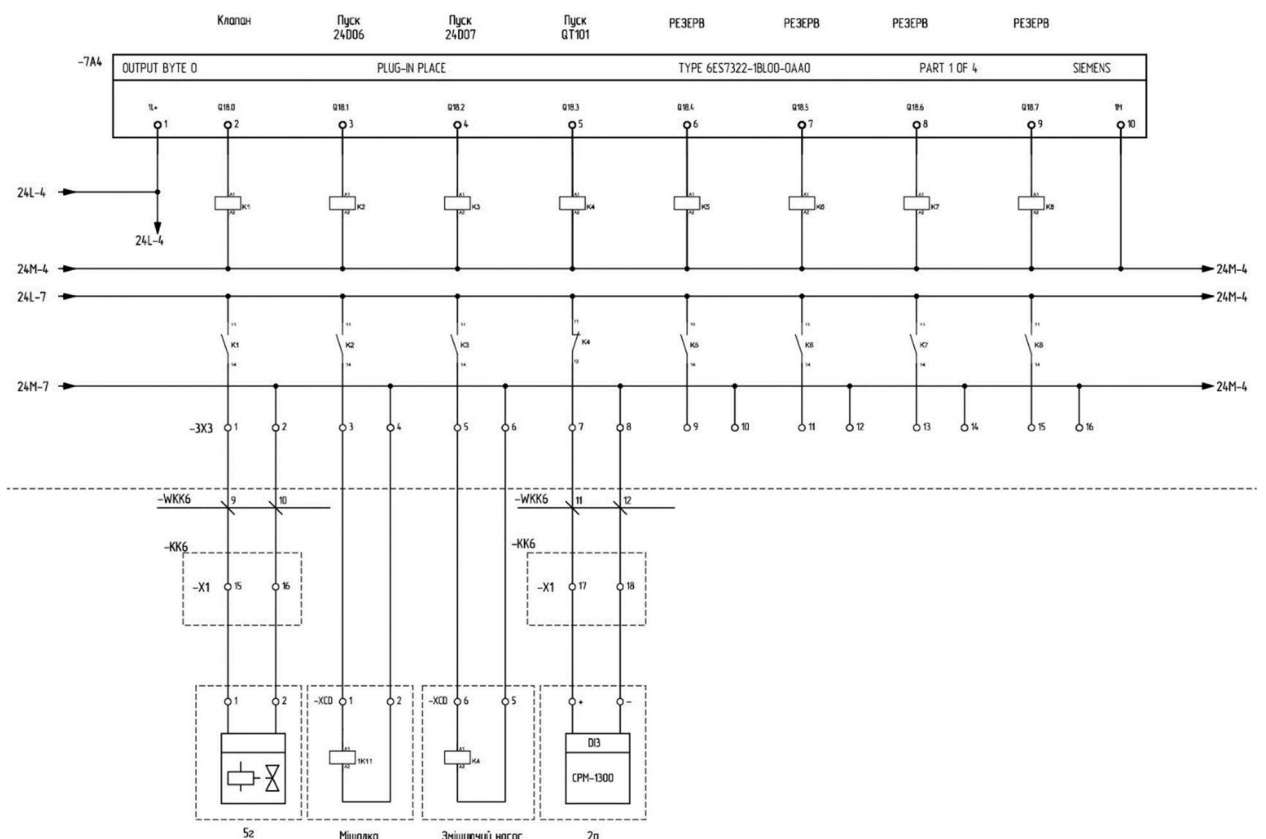


Рис. 3.5. Схема підключення зовнішніх ланцюгів до модуля дискретних виходів SM 332 DO8xDC24V.

## РОЗДІЛ 4. КРЕСЛЕННЯ ВСТАНОВЛЕННЯ ТЕХНІЧНОГО ЗАСОБУ.

### Документація та монтаж

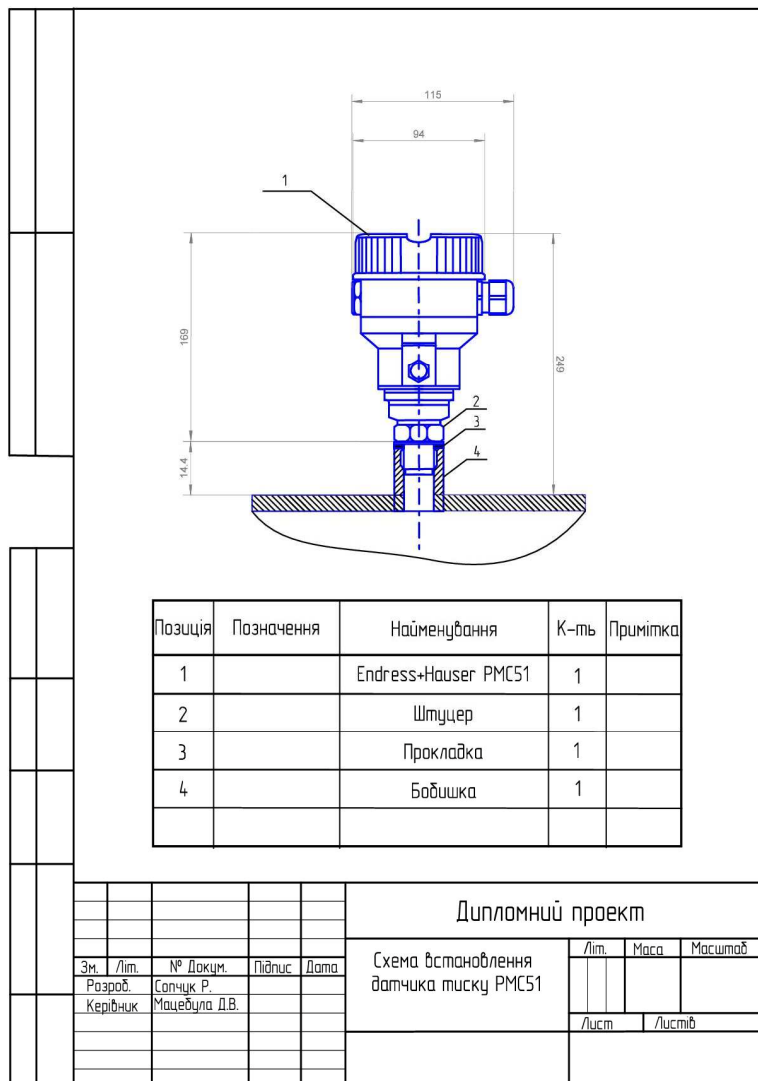
У якості датчика тиску був обраний датчик Endress+Hauser PMC51

1 Уніфікований вихідний сигнал 4-20мА;

2 Напру-га живлення 24 В DC;

3 Діапазон вимірювань 0.1 - 40 bar;

4 Діапазон робочих температур -20...+125 °С



<b>Кваліфікаційна робота</b>				
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата
Розробив		Сопчук Р.Л.		
Перевірив		Мацебула Д.В.		
Консульт.				
Н. контр.				
Затвердив		Смітюх Я.В.		
Розробка системи автоматизації управління подачі целюлозної маси на папероробну машину				
		Літера	Аркуш	Аркушів
			38	1
НУХТ ЗАК-3-1ск				

## РОЗДІЛ 5 РОЗРОБКА АЛГОРЕТМІЧНОГО ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ АСР

Програмування контролера відбувається в програмному забезпеченні Simatic Step 7. Step 7 – пакет програмного забезпечення компанії Siemens, яке призначене для розробки систем на базі програмованих логічних контролерів Simatic та інших з подібною архітектурою.

Найменування та адресація на CPU 315-2 PN/DP

	Statu	Symbol /	Address	Data type	Comment
1		24D07_feedback	I 30.1	BOOL	Мотор (РОБОТА)/
2		24D07_ready	I 30.0	BOOL	Мотор (ГОТОВ)
3		24D07_run	Q 40.1	BOOL	МОТОР (ПУСК)
4		CONT_C	FB 41	FB 41	Continuous Control
5		CONT_S	FB 42	FB 42	Step Control
6		CYC_INT5	OB 35	OB 35	Cyclic Interrupt 5
7		FS_103	I 30.3	BOOL	Контроль наявності води на ущільнення сальників
8		FT_102	IW 14	INT	Витрата маси
9		FV_100	QW 18	INT	Клапан заповнення басейну
1		FV_101	QW 20	INT	Клапан регулювання концентрації
1		FV_102	QW 22	INT	Клапан регулювання витрати
1		HS_104	Q 40.0	BOOL	Засувка шиберна басейну
1		HS_Close	I 30.5	BOOL	
1		HS_Open	I 30.4	BOOL	
1		JS_103	QW 24	INT	Регулювання обертів двигуна(рег. тиску)
1		LT_100	IW 10	INT	Рівень басейну
1		Main_data	DB 100	DB 100	
1		PT_103	IW 16	INT	Тиск маси
1		PULSEGEN	FB 43	FB 43	Pulse Generation
2		QT_101	IW 12	INT	Концентрація маси
2		SCALE	FC 105	FC 105	Scaling Values
2		UNSCALE	FC 106	FC 106	Unscaling Values
2					

					Кваліфікаційна робота			
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата	Розробка системи автоматизації управління подачі целюлозної маси на папероробну машину	Літера	Аркуш	Аркушів
Розробив		Сопчук Р.Л.					39	8
Перевірив		Мацебула Д.В.				НУХТ ЗАК-3-1ск		
Консульт.								
Н. контр.								
Затвердив		Смітюх Я.В.						

Після визначення схем підключення виконується конфігурування окремих модулів

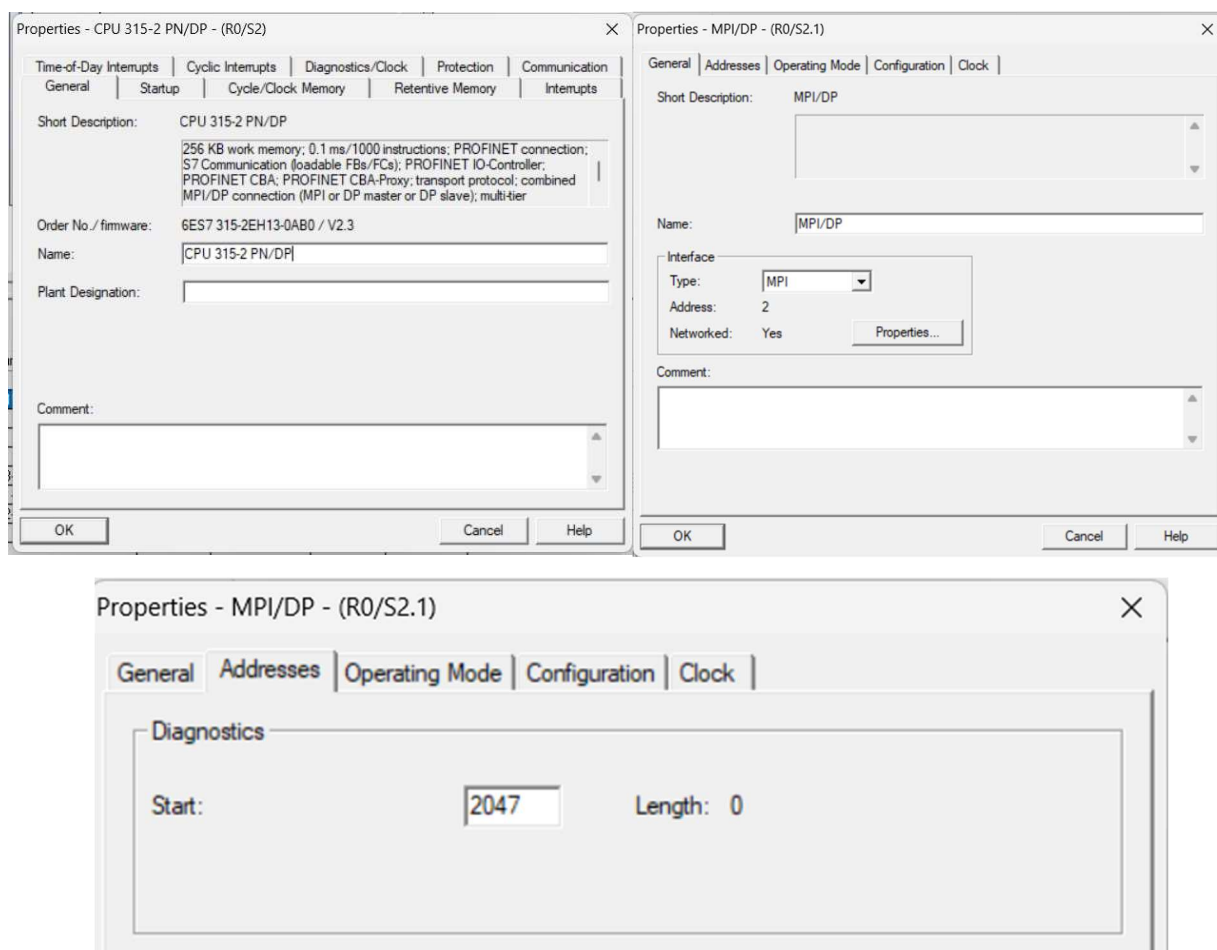


Рис.5.1. Конфігурування процесорного модуля CPU 315-2

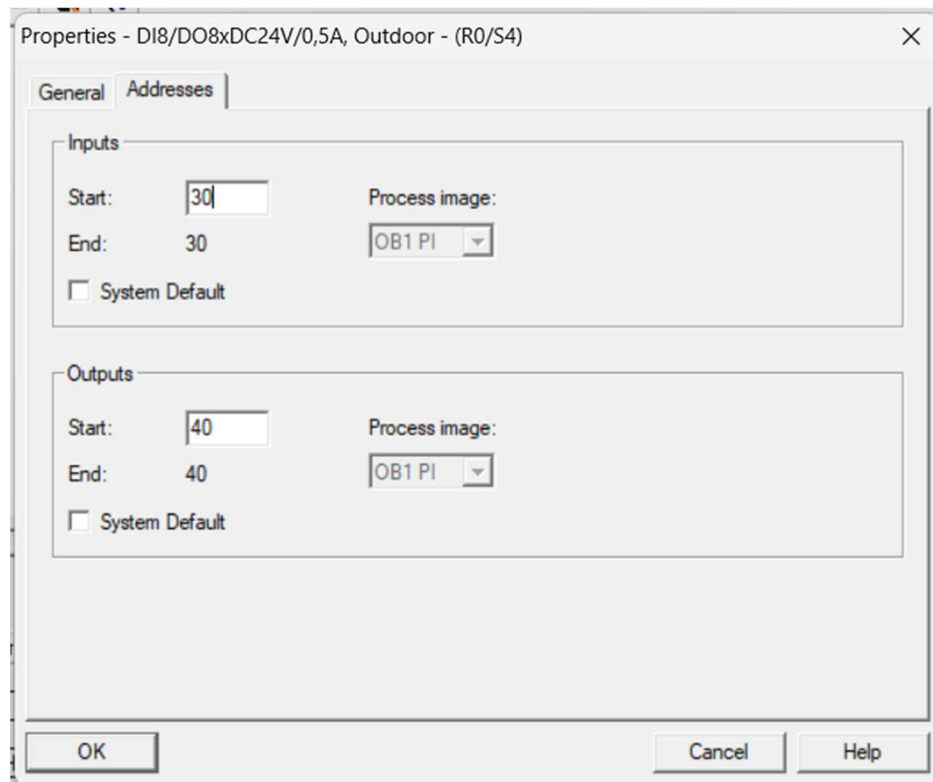


Рис.5.2. Конфігурування модуля дискретних входів/виходів DI8/DO8xDC24V

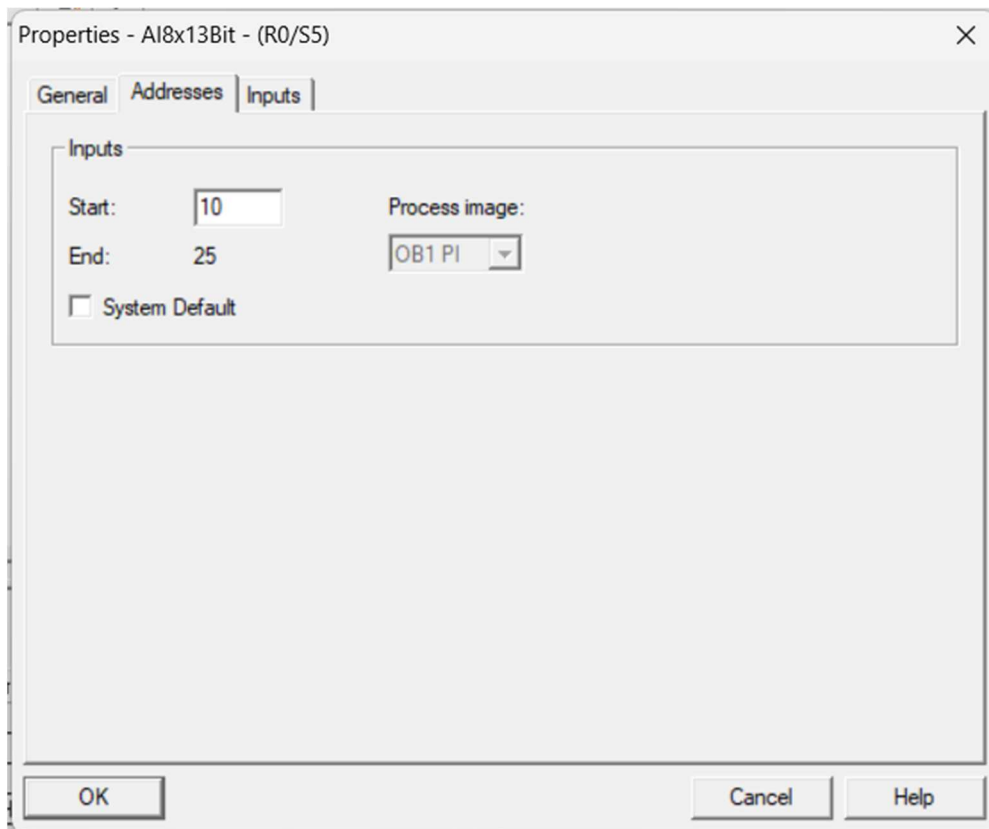


Рис. 5.3. Конфігурування модуля аналогових входів AI8x13Bit

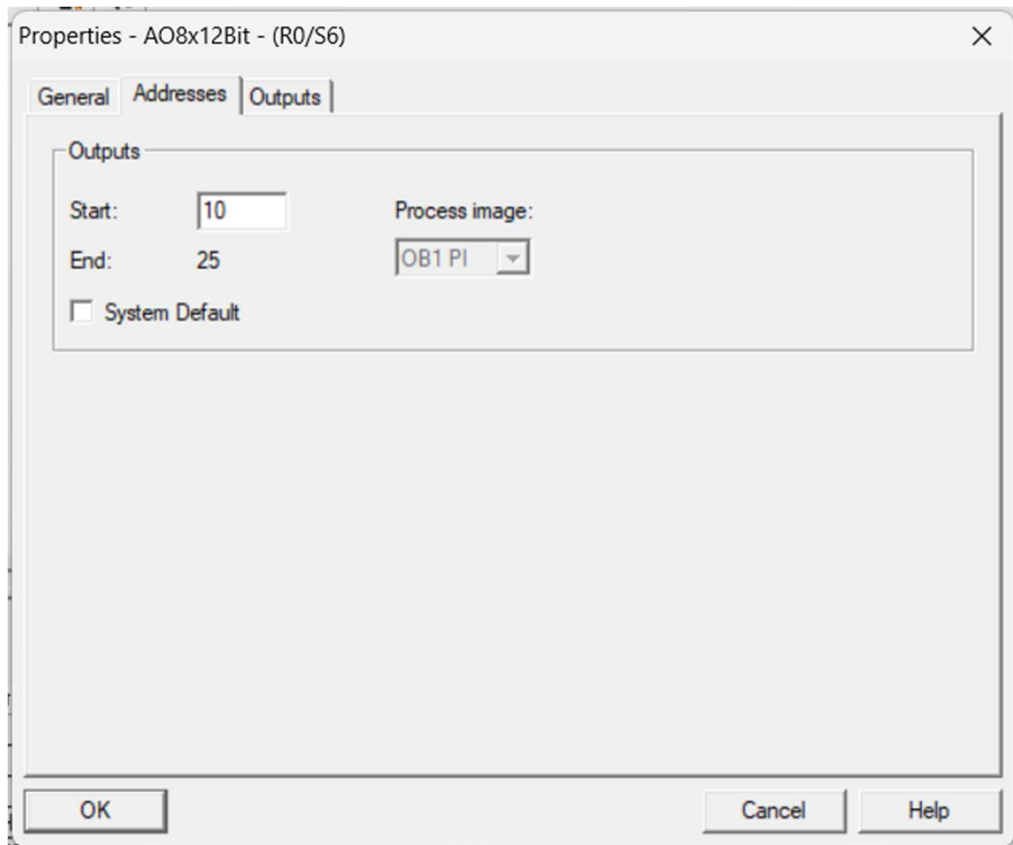


Рис. 5.3. Конфігурування модуля аналогових виходів AO8x12Bit

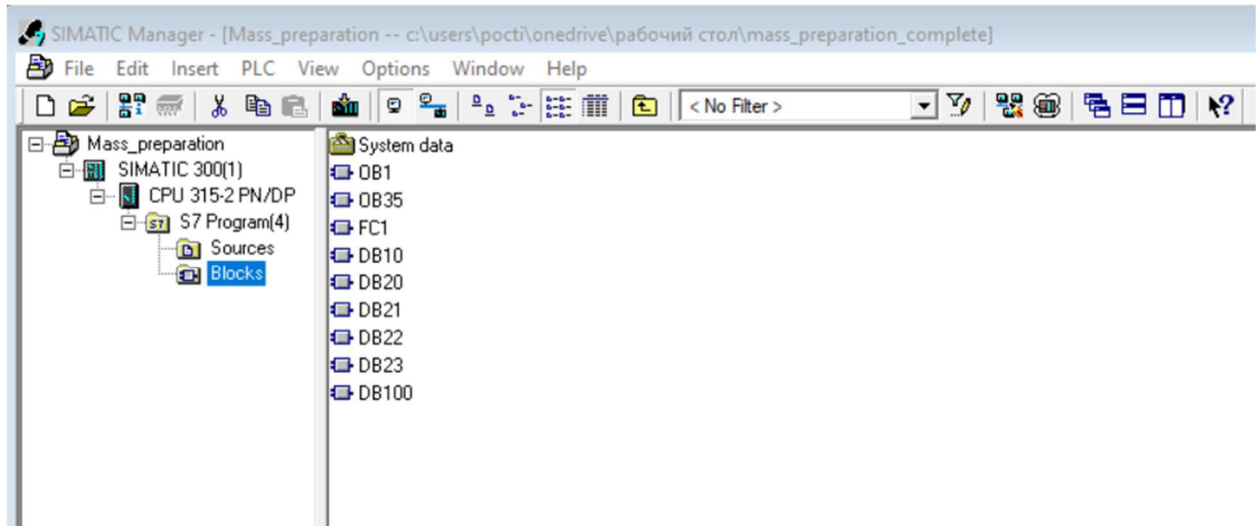
					Кваліфікаційна робота	Арк.
						42
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розроблення прикладного програмного забезпечення

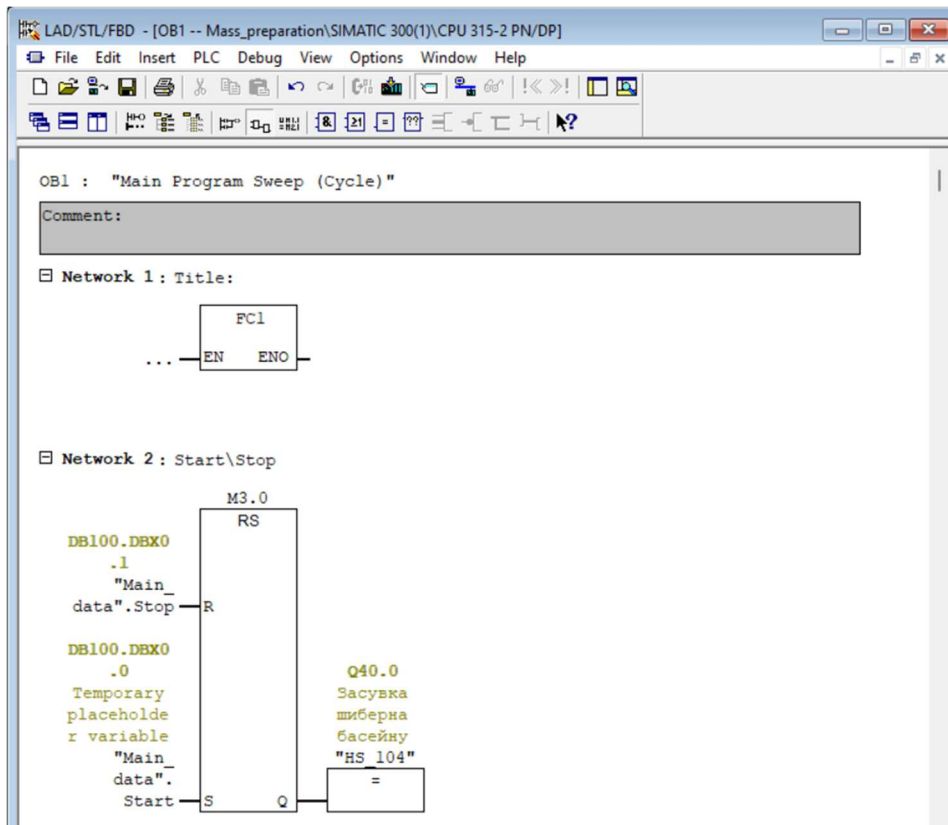
Розроблення програми користувача для CPU 315-2 PN/DP

Програма розроблена мовою FBD

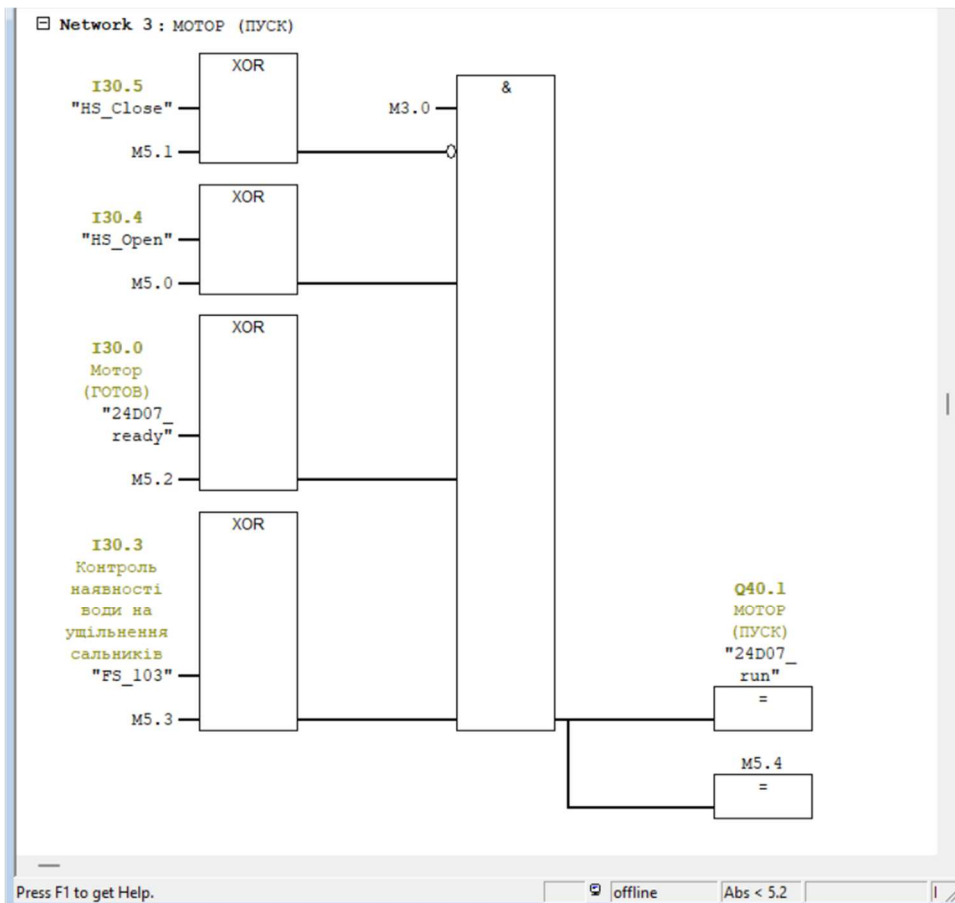
Система складається з таких блоків



В блоці OB1 відбувається перевірка програми та запуск циклу



										Арк.
										43
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата						



Network 2 , а саме RS Trigger відповідає за увімкнення та вимкнення автоматичного режиму.

Network 3 відповідає за умови запуску змішуючого насосу

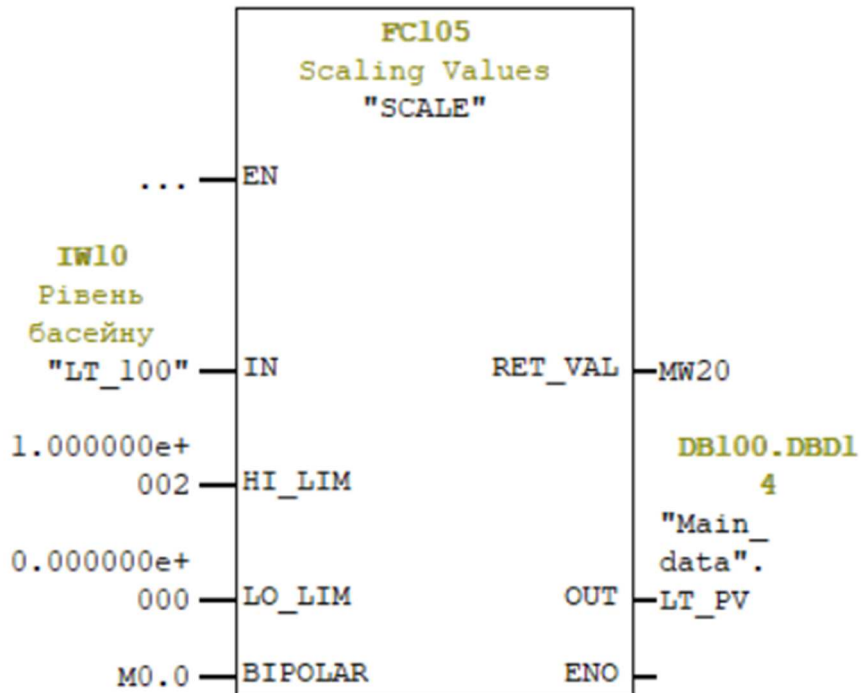
					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		44

Блок FC1 в даному випадку складається з функцій Scaling та Unscaling.

FC1 : Title:

Comment:

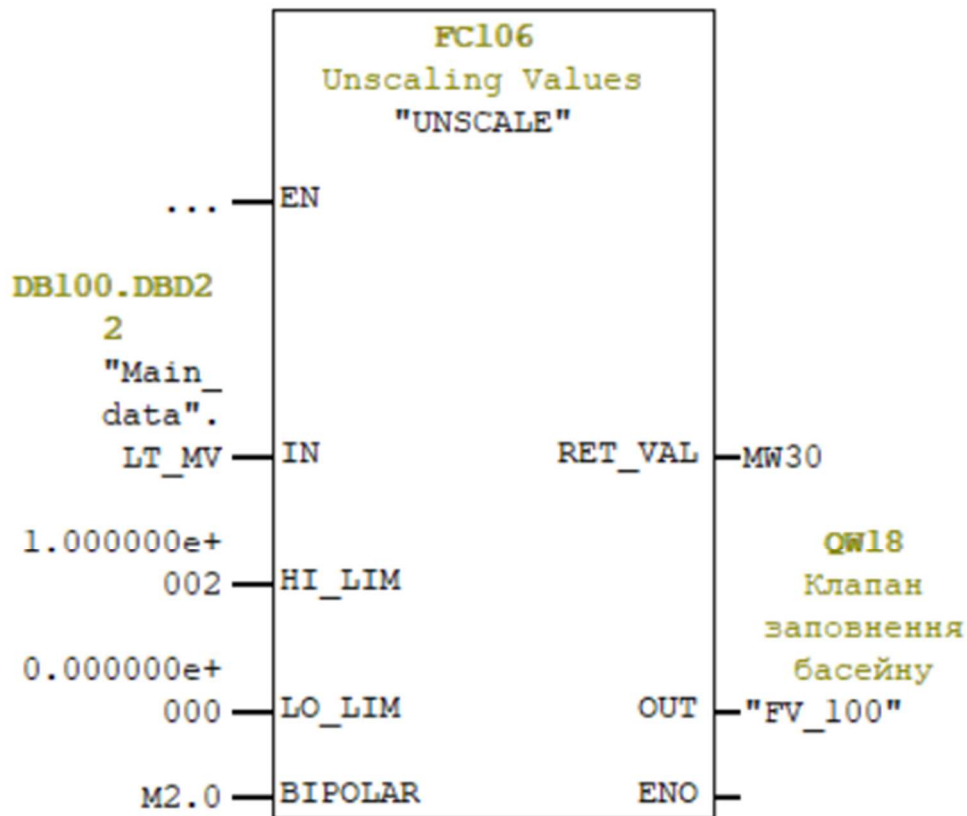
Network 1 : Title:



В даній секції відбувається масштабування значень датчика рівня за допомогою функціонального блока Scaling . Так при опитуванні датчика температури сигнал від універсальних аналогових вхідних модулів перетворюється в діапазон 0-10000. Після масштабування на виході маємо значення в діапазоні 0-100%

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						45
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Network 5 : Title:



Функціональний блок Unscaling перетворює значення з діапазону 0-10000 в аналоговий сигнал 4-20мА для виконавчого пристрою, в даному випадку для клапана.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 6. РОЗРОБКА ЛЮДИНО-МАШИННОГО ІНТЕРФЕЙСУ ОПЕРАТОРА ТЕХНОЛОГА

### Опис людино-машинного інтерфейсу

Система автоматизації SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) представляє систему збору даних та оперативного контролю для отримання та зберігання інформації про поточний режим енергосистеми та стан обладнання, обробки отриманої інформації за різними критеріями достовірності та надання інформації підсистем АСУ ТП та інших автоматизованих систем управління. Центральною ланкою в АСУ ТП є оператор, помилки якого за статистикою спричиняють близько 40% аварій.

Оператор не розташований поруч із фізичним обладнанням, не може реально оцінити його стан, і в АСУ ТП функцію оцінки виконує SCADA-система, основою якої є людино-машинний інтерфейс (ЧМІ). SCADA-система представляє верхній рівень АСК ТП, структура якої представлена на рис. 1. На рис. 1 нижній рівень АСУ ТП у вигляді датчиків та виконавчих механізмів через середній рівень, представлений пристроєм зв'язку з об'єктом (УСО) у вигляді ПЛК, передає сигнали на ЧМІ та SCADA-систему.

Раніше ЧМІ представляв набір кнопок, приладів, перемикачів, рубильників на панелях шаф із лампами індикації аварій. Сучасний ЧМІ представляє панель (П) оператора з клавіатурою, набір віртуальних кнопок та ПК з ПЗ, що відображають графіки, аналогові та цифрові показники. Повністю відмовитися від фізичних пристроїв поки що неможливо через необхідність дотримання стандартів безпеки, які наказують на наявність фізичного розриву в ланцюзі управління, а також необхідність контролю ситуації при виході з ладу віртуального інтерфейсу.

					Кваліфікаційна робота			
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив		Сопчук Р.Л.			Розробка системи автоматизації управління подачі целюлозної маси на папероробну машину	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Мацебула Д.М.					47	8
Консульт.						НУХТ ЗАК-3-1ск		
Н. контр.								
Затвердив		Смітюх Я.В.						

Панель оператора П і ЧМІ різняться тим, що П відбиває лише спрощену технологію процесу, тоді як ЧМІ враховує інтелект системи як поєднання апаратних засобів і ПО.

Оператори та диспетчери практично не беруть участь у процесі створення ЧМІ, хіба що лише в процесі налагодження протомоделі SCADA-системи. В результаті проектувальники намагаються створювати інтерфейси за вже застарілими зразками, що помітно знижує ефективність управління і підвищує кількість помилок операторів.

Розроблення SCADA інтерфейсу відбувається в програмному забезпеченні SIMATIC WinCC flexible.

### Перелік вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI

#### Вікно тегів

Name	Display na...	Connection	D... ▲	Symbol	Address	Array elements	Acquisition cycle
State		Connection_1	Bool	<Undefined>	M 3.0	1	1 s
QT_Mode		Connection_1	Bool	<Undefined>	DB 100 DBX 50.2	1	1 s
Motor_feedback		Connection_1	Bool	<Undefined>	I 30.1	1	1 s
Start		Connection_1	Bool	<Undefined>	DB 100 DBX 0.0	1	1 s
HS_open		Connection_1	Bool	<Undefined>	I 30.4	1	1 s
PT_Mode		Connection_1	Bool	<Undefined>	DB 100 DBX 50.3	1	1 s
LT_Mode		Connection_1	Bool	<Undefined>	DB 100 DBX 50.0	1	1 s
Stop		Connection_1	Bool	<Undefined>	DB 100 DBX 0.1	1	1 s
FT_Mode		Connection_1	Bool	<Undefined>	DB 100 DBX 50.1	1	1 s
FS_water		Connection_1	Bool	<Undefined>	I 30.3	1	1 s
QT_man		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 56	1	1 s
QT_PV		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 2	1	1 s
QT_SP		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 6	1	1 s
FT_MV		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 46	1	1 s
FT_PV		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 38	1	1 s
LT_MV		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 22	1	1 s
PT_man		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 60	1	1 s
QT_MV		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 10	1	1 s
PT_PV		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 26	1	1 s
LT_SP		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 18	1	1 s
FT_man		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 64	1	1 s
PT_SP		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 30	1	1 s
LT_PV		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 14	1	1 s
LT_man		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 52	1	1 s
PT_MV		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 34	1	1 s
FT_SP		Connection_1	Real	<Undefined>	DB 100 DBD 42	1	1 s

## Вікно змінних

Statu	Symbol	Address	Data type	Comment
1	24D07_feedback	I 30.1	BOOL	Мотор (РОБОТА)/
2	24D07_ready	I 30.0	BOOL	Мотор (ГОТОВ)
3	24D07_run	Q 40.1	BOOL	МОТОР (ПУСК)
4	CONT_C	FB 41	FB 41	Continuous Control
5	CONT_S	FB 42	FB 42	Step Control
6	CYC_INT5	OB 35	OB 35	Cyclic Interrupt 5
7	FS_103	I 30.3	BOOL	Контроль наявності води на ущільнення сальників
8	FT_102	IW 14	INT	Витрата маси
9	FV_100	QW 18	INT	Клапан заповнення басейну
1	FV_101	QW 20	INT	Клапан регулювання концентрації
1	FV_102	QW 22	INT	Клапан регулювання витрати
1	HS_104	Q 40.0	BOOL	Засувка шиберна басейну
1	HS_Close	I 30.5	BOOL	
1	HS_Open	I 30.4	BOOL	
1	JS_103	QW 24	INT	Регулювання обертів двигуна(рег. тиску)
1	LT_100	IW 10	INT	Рівень басейну
1	Main_data	DB 100	DB 100	
1	PT_103	IW 16	INT	Тиск маси
1	PULSEGEN	FB 43	FB 43	Pulse Generation
2	QT_101	IW 12	INT	Концентрація маси
2	SCALE	FC 105	FC 105	Scaling Values
2	UNSCALE	FC 106	FC 106	Unscaling Values
2				

## Аналогові аварії

Text	Number	Class	Trigger tag	Limit	Trigger mode
Висока витрата	1	Errors	FT_PV	7000	On rising edge
Високий рівень басейну	2	Errors	LT_PV	80	On rising edge
Високий тиск	3	Errors	PT_PV	350	On rising edge
Висока концентрація	4	Errors	QT_PV	4	On rising edge
Низький рівень басейну	5	Errors	QT_PV	10	On falling edge
	6	Errors	QT_PV	<No limit>	On falling edge

## Дискретні аварії

Text	Number	Class	Trigger Tag	Trigger bit	Trigger address
Відсутня вода на ущільнення	1	Errors	FS_water	0	0

## Вікно трендів

Name	Display	Line type	Bar wid...	Samples	Display limi...	Trend type	Source settin...	Side	Foreground c...
QT	Lines	Solid	50	100	No	Realtime cyclic ...	[QT_PV]	Left	255, 0, 255
PT	Lines	Solid	50	100	No	Realtime cyclic ...	[PT_PV]	Left	255, 102, 0
FT	Lines	Solid	50	100	No	Realtime cyclic ...	[FT_PV]	Left	0, 0, 255

## З'єднання з контролером

**CONNECTIONS**

Name	Active	Communication driver	Station	Partner	Node	Online	Comment
Connection_1	On	SIMATIC S7 300/400				On	

**Parameters** Area pointers

WinCC Flexible Runtime

Interface: MPI/DP

**HMI device**

Type:  TTY,  RS232,  RS422,  RS485,  Simatic

Baud rate: 187500

Address: 1

Access point: S7ONLINE

Only master on the bus

**Network**

Profile: MPI

Highest station address (HSA): 31

Number of masters: 2

**PLC device**

Address: 2

Expansion slot: 0

Rack: 2

Cyclic operation

## Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора SCADA-системи

No.	Time	Date	Status	Text	GR
5	11:13:29 AM	2/7/2024	C	Низький рівень басейну	0

**Регулятор концентрації**  
 PV 0.03 %  
 SP 2.70 %  
 MV 100 %  
 Ручний Авто

**Регулятор тиску**  
 PV 70.0 кПа  
 SP 90.0 кПа  
 MV 100 %  
 Ручний Авто

**Регулятор вібрації**  
 PV 3000 л/хв  
 SP 4000 л/хв  
 MV 100 %  
 Ручний Авто

**Регулятор рівня басейну**  
 PV 0 %  
 SP 80 %  
 MV 100 %  
 Ручний Авто

Подача маси: Старт Стоп

11:27:04 AM 2/7/2024

Trend	Tag connection	Value	Date/Time
QT	QT_PV	0,026042	2/7/2024 11:28:44:348
PT	PT_PV	70,000000	2/7/2024 11:28:44:348
FT	FT_PV	3000,000000	2/7/2024 11:28:44:348

Приготування целюлози: після того, як сировину зібрано, її перетирають. Цей процес розбиває волокна на целюлозу, готову для обробки.

чистий: після обробки м'якоть очищається від будь-яких забруднень або домішок, таких як бруд або кора.

Рафінування: целюлоза потім очищається для створення однорідної текстури та підвищення міцності паперу.

добавка: різноманітні добавки, такі як проклеювачі або наповнювачі, можна додавати до целюлози для покращення властивостей паперу.

формування: суспензію потім формують у листи або рулони за допомогою різних методів, включаючи форми Fourdrinier, Cylinder або Twin Wire.

прес: сформований аркуш або рулон потім пресують, щоб видалити надлишок води та збільшити щільність паперу.

сухий: потім папір сушиться за допомогою нагрітих валиків або пропускається через ряд сушарок.

охайний: готовий папір може піддаватися додатковій обробці, наприклад каландруванню або покриттю, щоб покращити його властивості та зовнішній вигляд.

Сучасна технологія виробництва паперу стала високоавтоматизованою та ефективною, завдяки сучасному обладнанню та комп'ютеризованому контролю, який контролює й оптимізує весь процес. Це дозволяє паперовим фабрикам виробляти великі обсяги високоякісного паперу, мінімізуючи відходи та вплив на навколишнє середовище.

Однак виробництво паперу все ще стикається з деякими екологічними проблемами, такими як використання хімікатів і утворення стічних вод і твердих відходів. Багато паперових фабрик запровадили такі методи сталого розвитку, як використання перероблених матеріалів і зменшення споживання води та енергії для мінімізації впливу на навколишнє середовище.

Переваги та недоліки різних технологій виготовлення паперу

Переваги та недоліки різних процесів виготовлення паперу такі:

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						51
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

механічне пульпування

Механічне виготовлення целюлози[30] — це процес виробництва паперу, який передбачає фізичне подрібнення деревної стружки в целюлозу. Ось деякі переваги та недоліки механічного виробництва целюлози:

перевага:

Високий вихід: Механічне варіння целюлози має високий вихід, що означає, що воно може виробляти велику кількість целюлози з певної кількості деревної тріски. Це робить його економічно ефективним способом виготовлення паперу.

Працює з деякими типами паперу: механічна целюлоза чудово підходить для газетного паперу та іншого паперу низької якості, який не потребує високої міцності чи довговічності.

енергоефективність: Механічне варіння целюлози потребує менше енергії, ніж інші методи виробництва целюлози, такі як хімічне виробництво целюлози, оскільки воно базується на фізичному подрібненні, а не на хімічних реакціях.

недолік:

Зменшення міцності паперу: механічне оброблення целюлозою спричиняє втрату міцності паперу, що підвищує ймовірність його розриву або ламання. Це пов'язано з тим, що процес руйнує волокна деревини, в результаті чого утворюються коротші та слабкіші волокна.

Якість паперу погіршилася: механічне оброблення целюлози також призводить до зниження якості паперу, з більш нерівною поверхнею та зменшенням яскравості.

Проблеми навколишнього середовища: процес подрібнення, який використовується при механічному виробництві целюлози, створює багато тепла та шуму, а також багато стічних вод. Крім того, використання деревної тріски з нераціонально вирубаних дерев може призвести до вирубки лісів та інших екологічних проблем.

хімічне варіння целюлози

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						52
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Хімічна целюлоза — це процес виготовлення паперу, який передбачає використання хімічних речовин для розщеплення лігніну в деревній стружці та відділення целюлозних волокон для отримання целюлози. Ось деякі переваги та недоліки хімічного виробництва целюлози:

перевага:

Міцніший папір: хімічна целюлозна обробка зазвичай виробляє більш міцний папір, ніж механічна целюлозна обробка, оскільки процес виробляє довші та міцніші целюлозні волокна.

Краща якість паперу: хімічна целюлоза також виробляє папір вищої якості з більш гладкою поверхнею та підвищеною яскравістю, що робить його придатним для ширшого спектру застосувань.

Більш стійкий: хімічне виробництво целюлози може здійснюватися з використанням екологічно заготовленої деревини, зменшуючи вплив виробництва паперу на навколишнє середовище.

недолік:

Витрати дорожчі: хімічне варіння целюлози потребує більше енергії та ресурсів, ніж механічне варіння целюлози, тому є дорожчим.

Хімічні відходи: хімічні речовини, які використовуються в процесі, можуть бути шкідливими для здоров'я людини та навколишнього середовища, а отримані відходи складно та дорого утилізувати належним чином.

Нижчий вихід: хімічне варіння целюлози, як правило, менш продуктивне, ніж механічне варіння целюлози, тобто виробляє менше целюлози з певної кількості деревної стружки. Якщо не робити це стабільно, це може збільшити витрати на виробництво та призвести до вирубки лісів.

сульфатний спосіб

Перероблений папір — це папір, виготовлений із використаного та викинутого паперу. Ось деякі переваги та недоліки переробленого паперу у виробництві паперу:

перевага:

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						53
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зменшення впливу на навколишнє середовище: перероблений папір зменшує необхідність збирання незайманих дерев і зменшує кількість відходів, які відправляються на звалище, що допомагає зменшити викиди парникових газів та інший вплив на навколишнє середовище.

Енергозбереження: виробництво паперу з перероблених волокон потребує менше енергії, ніж виробництво первинних волокон, оскільки волокна вже були оброблені та можуть бути перероблені в целюлозу без додаткової обробки.

Економічно ефективний: використання переробленого волокна є економічно ефективним, оскільки воно зменшує потребу в первинній целюлозі та дешевше, ніж інші джерела волокна.

недолік:

Якість паперу погіршилася: волокна переробленого паперу, як правило, коротші та слабші, ніж первинні волокна, що може призвести до зниження якості, міцності та довговічності паперу.

Обмежена доступність: доступність переробленого волокна може бути обмеженою, особливо для певних сортів і типів паперу, що може ускладнити використання переробленого волокна деякими виробниками.

забруднює: перероблений папір може забруднитися чорнилом, брудом та іншими матеріалами, які впливають на якість паперу та потребують додаткових етапів обробки для видалення.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						54
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 7.МОДЕЛЮВАННЯ АСР

Для введення значень налаштувань використовуються три входи: КР - коефіцієнт за пропорційної складової, КD - за диференціальної, КІ - за інтегральної.

Модуль негативного значення, що подається на вхід КІ, передається на вихід. Далі під час подавання на вхід КІ невід'ємного значення регулювання починається зі встановленої величини.

Для обмеження величини керуючого впливу використовуються входи блоку MIN і MAX. Перший із них задає нижню межу керування, а другий - верхню. Якщо величина керування виходить за будь-яку з цих меж, то виходу присвоюється величина відповідного входу і перестає накопичуватися інтегральна складова закону регулювання.

Цей блок обчислює величину керування за значенням неузгодженості регульованої величини і завдання, яке треба обчислювати за допомогою окремого функціонального блоку.

### Програмування контролера

Програмування контролера здійснюється шляхом вибору алгоритмічних блоків зі стандартного, раніше встановленого, набору. Розроблення алгоритмів регулювання може здійснюватися за допомогою будь-якої інструментальної системи розроблення АСУ з використанням візуального програмування, наприклад такої як "Trace Mode". Для внесення програми безпосередньо в контролер, або для коригування наявної програми, зручно використовувати переносний комунікатор, який має компактні розміри і під'єднується до контролера безпосередньо в місці його встановлення, через послідовний інтерфейс RS-485.

					Кваліфікаційна робота			
Зм.	Аркуш	№ документа	Підпис	Дата				
Розробив		Сопчук Р.Л.			Розробка системи автоматизації управління подачі целюлозної маси на папероробну машину	Літера	Аркуш	Аркушів
Перевірив		Мацебула Д.В.					55	13
Консульт.						НУХТ ЗАК-3-1ск		
Н. контр.								
Затвердив		Смітюх Я.В.						

Необхідно виділити канали для обміну даними між контролером і операторською станцією відповідно до заданого технологічного процесу. Необхідно також передбачити процедури масштабування даних. Програмна реалізація регулювання заданим технологічним параметром здійснюється на вбудованій у середовище ТРЕЙС МОУД мові функціональних блоків FBD

Система автоматичного регулювання концентрації целюлози після басейну-акумулятора повинна забезпечувати відхилення концентрації від заданого значення в діапазоні:  $C(t) - C_{зад} 0.2\%$ .

де:  $C(t)$ ,  $C_{зад}$  - поточне і задане значення концентрації целюлози, %;  
 $C_{зад} = 2.8 \%$  ;

Під час зупинки насоса (443) на виході басейну заслінка (031) на потоці оборотної води повинна закриватися. Перехідну характеристику об'єкта регулювання за каналом: "зміна положення регулювальної заслінки (031) на потоці оборотної води - зміна концентрації целюлози після басейну-акумулятора" представлено на малюнку. У разі ручного керування в процесі експлуатації на об'єкті спостерігаються зміни концентрації целюлози, викликані відхиленнями концентрації целюлози, що надходить у басейн-акумулятор. Вони можуть бути описані функцією:

$$C(t) = 2.8 + A * (1 - e^{-t/T_c})$$

де:  $t$  - час, сек,  $A$ ,  $T_c$  - коефіцієнти,  $A = 0.7$ ,  $T_c = 900$ , сек.

Розробляємо математичну модель об'єкта керування на основі перехідних характеристик.

$$D_0(z) = \frac{-0.00202 \cdot z^{-9}}{1 - 0.846 \cdot z^{-1}} = \frac{C(z)}{L(z)}$$

$$-0.00202z^{-9}L(z) = 1 - 0.846z^{-1}C(z)$$

$$-0.00202L[n - 9] = C[n] - 0.846C[n - 1]$$

$$C[n] = 0.846C[n - 1] - 0.00202L[n - 9]$$

За отриманим рівнянням будемо графік перехідного процесу для об'єкта регулювання

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						56
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.1 Результати обчислень

t	n	L[n]	L[n-9]	C[n-1]	C[n]
18	0	0	0	0	0
20	1	-25	0	0	0
22	2	-25	0	0	0
24	3	-25	0	0	0
26	4	-25	0	0	0
28	5	-25	0	0	0
30	6	-25	0	0	0
32	7	-25	0	0	0
34	8	-25	0	0	0
36	9	-25	0	0	0
38	10	-25	-25	0	0,0505
40	11	-25	-25	0,0505	0,093223
42	12	-25	-25	0,093223	0,129367
44	13	-25	-25	0,129367	0,159944
46	14	-25	-25	0,159944	0,185813
48	15	-25	-25	0,185813	0,207698
50	16	-25	-25	0,207698	0,226212
52	17	-25	-25	0,226212	0,241876
54	18	-25	-25	0,241876	0,255127
56	19	-25	-25	0,255127	0,266337
58	20	-25	-25	0,266337	0,275821
60	21	-25	-25	0,275821	0,283845
62	22	-25	-25	0,283845	0,290633
64	23	-25	-25	0,290633	0,296375
66	24	-25	-25	0,296375	0,301233
68	25	-25	-25	0,301233	0,305344

70	26	-25	-25	0,305344	0,308821
72	27	-25	-25	0,308821	0,311762
74	28	-25	-25	0,311762	0,314251
76	29	-25	-25	0,314251	0,316356
78	30	-25	-25	0,316356	0,318137
80	31	-25	-25	0,318137	0,319644
82	32	-25	-25	0,319644	0,320919
84	33	-25	-25	0,320919	0,321997
86	34	-25	-25	0,321997	0,32291
88	35	-25	-25	0,32291	0,323682
90	36	-25	-25	0,323682	0,324335
92	37	-25	-25	0,324335	0,324887
94	38	-25	-25	0,324887	0,325355
96	39	-25	-25	0,325355	0,32575
98	40	-25	-25	0,32575	0,326084

Отриманий графік має вигляд

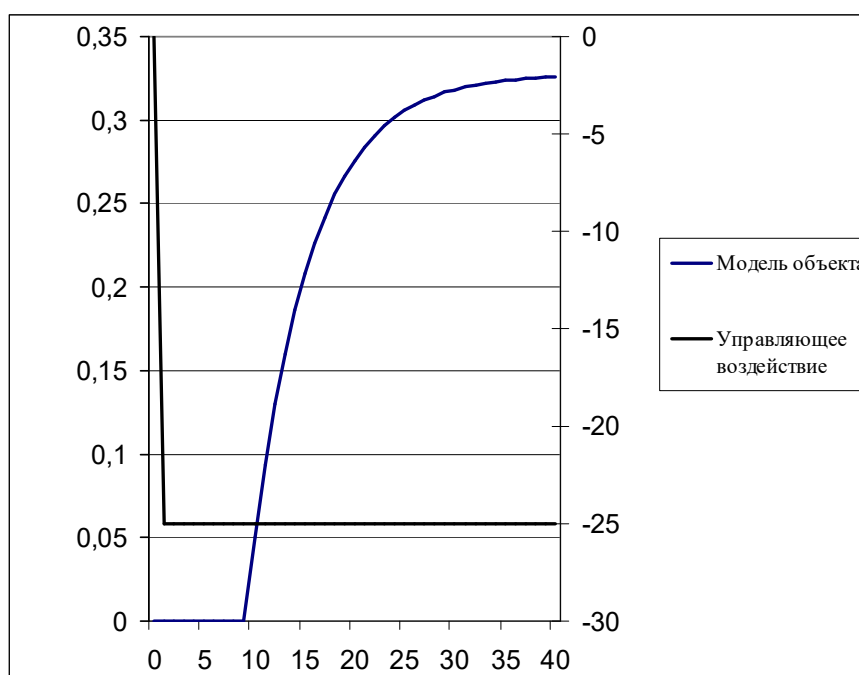


Рисунок 6.4 Отриманий графік моделювання

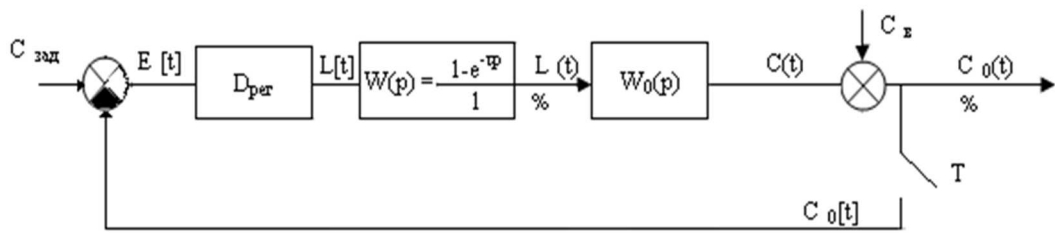


Рисунок 6.5 Блок контролера

Для ПІ-регулятора маємо:

$$L(t) = K_p * C_o + K_i \int C_o(t) dt$$

$$L[n] = L[n-1] + K_p (C_o[n] - C_o[n-1]) + K_i * C_o[n], \text{ де}$$

- ступінь відкриття клапана (%);

C - концентрація (%).

При

$$K_p = -20 ;$$

$$K_i = -6;$$

За отриманим рівнянням будуємо графік.

Для побудови графіка перехідного процесу за задавальним впливом складається таблиця 6.2 з даними:

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						59
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 6.2 Таблиця перехідного процесу

t	n	L[n]	L[n-1]	L[n-9]	C[n-1]	C[n]
0	0	-15	0	0	0	0
2	1	-30	-15	0	0	0
4	2	-45	-30	0	0	0
6	3	-60	-45	0	0	0
8	4	-75	-60	0	0	0
10	5	-90	-75	0	0	0
12	6	-105	-90	0	0	0
14	7	-120	-105	0	0	0
16	8	-135	-120	0	0	0
18	9	-149,39	-135,00	-15,00	0,00	0,03
20	10	-163,09	-149,39	-30,00	0,03	0,09
22	11	-176,01	-163,09	-45,00	0,09	0,16
24	12	-188,10	-176,01	-60,00	0,16	0,26
26	13	-199,29	-188,10	-75,00	0,26	0,37
28	14	-209,55	-199,29	-90,00	0,37	0,50
30	15	-218,84	-209,55	-105,00	0,50	0,63
32	16	-227,12	-218,84	-120,00	0,63	0,78
34	17	-234,36	-227,12	-135,00	0,78	0,93
36	18	-240,57	-234,36	-149,39	0,93	1,09
38	19	-245,76	-240,57	-163,09	1,09	1,26
40	20	-249,95	-245,76	-176,01	1,26	1,42
42	21	-253,16	-249,95	-188,10	1,42	1,58
44	22	-255,45	-253,16	-199,29	1,58	1,74
46	23	-256,85	-255,45	-209,55	1,74	1,90
48	24	-257,41	-256,85	-218,84	1,90	2,05

50	25	-257,19	-257,41	-227,12	2,05	2,20
52	26	-256,25	-257,19	-234,36	2,20	2,34
54	27	-254,66	-256,25	-240,57	2,34	2,46
56	28	-252,48	-254,66	-245,76	2,46	2,58
58	29	-249,78	-252,48	-249,95	2,58	2,69
60	30	-246,63	-249,78	-253,16	2,69	2,79
62	31	-243,10	-246,63	-255,45	2,79	2,88
64	32	-239,24	-243,10	-256,85	2,88	2,96
66	33	-235,14	-239,24	-257,41	2,96	3,03
68	34	-230,85	-235,14	-257,19	3,03	3,08
70	35	-226,43	-230,85	-256,25	3,08	3,13
72	36	-221,94	-226,43	-254,66	3,13	3,17
74	37	-217,43	-221,94	-252,48	3,17	3,19
76	38	-212,96	-217,43	-249,78	3,19	3,21
78	39	-208,57	-212,96	-246,63	3,21	3,21
80	40	-204,30	-208,57	-243,10	3,21	3,21

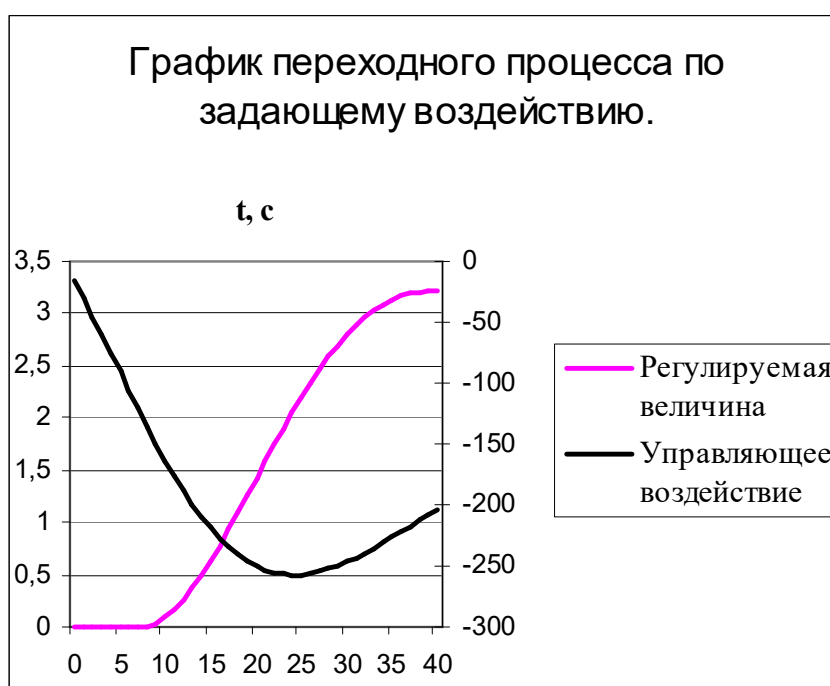


Рисунок 6.6 Побудований график

Для побудови графіка перехідного процесу за збурливим впливом складається таблиця 2.5:

t	n	L[n]	L[n-1]	L[n-9]	C[n-1]	C[n]	Cв[n]	Co[n]	Co[n-1]
0,000	0	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000
2,000	1	0,903	0,000	0,000	0,000	0,000	0,045	0,045	0,000
4,000	2	2,018	0,903	0,000	0,000	0,000	0,087	0,087	0,045
6,000	3	3,333	2,018	0,000	0,000	0,000	0,127	0,127	0,087
8,000	4	4,833	3,333	0,000	0,000	0,000	0,164	0,164	0,127
10,000	5	6,508	4,833	0,000	0,000	0,000	0,198	0,198	0,164
12,000	6	8,346	6,508	0,000	0,000	0,000	0,231	0,231	0,198
14,000	7	10,336	8,346	0,000	0,000	0,000	0,261	0,261	0,231
16,000	8	12,468	10,336	0,000	0,000	0,000	0,289	0,289	0,261
18,000	9	14,734	12,468	0,000	0,000	0,000	0,316	0,316	0,289
20,000	10	17,088	14,734	0,903	0,000	- 0,002	0,341	0,339	0,316
22,000	11	19,508	17,088	2,018	- 0,002	- 0,006	0,364	0,358	0,339
24,000	12	21,973	19,508	3,333	- 0,006	- 0,012	0,385	0,374	0,358
26,000	13	24,461	21,973	4,833	- 0,012	- 0,020	0,406	0,386	0,374
28,000	14	26,954	24,461	6,508	- 0,020	- 0,030	0,425	0,395	0,386

					Кваліфікаційна робота				Арк.
									62
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

30,00 0	15	29,432	26,954	8,346	- 0,030	- 0,042	0,442	0,400	0,395
32,00 0	16	31,877	29,432	10,336	- 0,042	- 0,057	0,459	0,403	0,400
34,00 0	17	34,272	31,877	12,468	- 0,057	- 0,073	0,475	0,401	0,403
36,00 0	18	36,599	34,272	14,734	- 0,073	- 0,092	0,489	0,397	0,401
38,00 0	19	38,844	36,599	17,088	- 0,092	- 0,112	0,503	0,390	0,397
40,00 0	20	40,995	38,844	19,508	- 0,112	- 0,135	0,515	0,381	0,390
42,00 0	21	43,041	40,995	21,973	- 0,135	- 0,158	0,527	0,369	0,381
44,00 0	22	44,973	43,041	24,461	- 0,158	- 0,184	0,539	0,355	0,369
46,00 0	23	46,782	44,973	26,954	- 0,184	- 0,210	0,549	0,339	0,355
48,00 0	24	48,462	46,782	29,432	- 0,210	- 0,238	0,559	0,321	0,339
50,00 0	25	50,008	48,462	31,877	- 0,238	- 0,266	0,568	0,302	0,321
52,00 0	26	51,418	50,008	34,272	- 0,266	- 0,294	0,576	0,282	0,302
54,00 0	27	52,690	51,418	36,599	- 0,294	- 0,323	0,584	0,261	0,282
56,00 0	28	53,824	52,690	38,844	- 0,323	- 0,352	0,592	0,239	0,261
58,00	29	54,820	53,824	40,995	-	-	0,599	0,217	0,239

					<b>Кваліфікаційна робота</b>				Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					63

0					0,352	0,381			
60,00	30	55,681	54,820	43,041	-	-	0,605	0,195	0,217
0					0,381	0,410			
62,00	31	56,411	55,681	44,973	-	-	0,611	0,173	0,195
0					0,410	0,438			
64,00	32	57,014	56,411	46,782	-	-	0,617	0,151	0,173
0					0,438	0,466			
66,00	33	57,495	57,014	48,462	-	-	0,622	0,130	0,151
0					0,466	0,492			
68,00	34	57,860	57,495	50,008	-	-	0,627	0,109	0,130
0					0,492	0,518			
70,00	35	58,116	57,860	51,418	-	-	0,632	0,089	0,109
0					0,518	0,543			
72,00	36	58,271	58,116	52,690	-	-	0,636	0,070	0,089
0					0,543	0,566			
74,00	37	58,331	58,271	53,824	-	-	0,641	0,052	0,070
0					0,566	0,588			
76,00	38	58,306	58,331	54,820	-	-	0,644	0,035	0,052
0					0,588	0,609			
78,00	39	58,203	58,306	55,681	-	-	0,648	0,020	0,035
0					0,609	0,628			
80,00	40	58,030	58,203	56,411	-	-	0,651	0,005	0,020
0					0,628	0,646			

					Кваліфікаційна робота				Арк.
									64
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

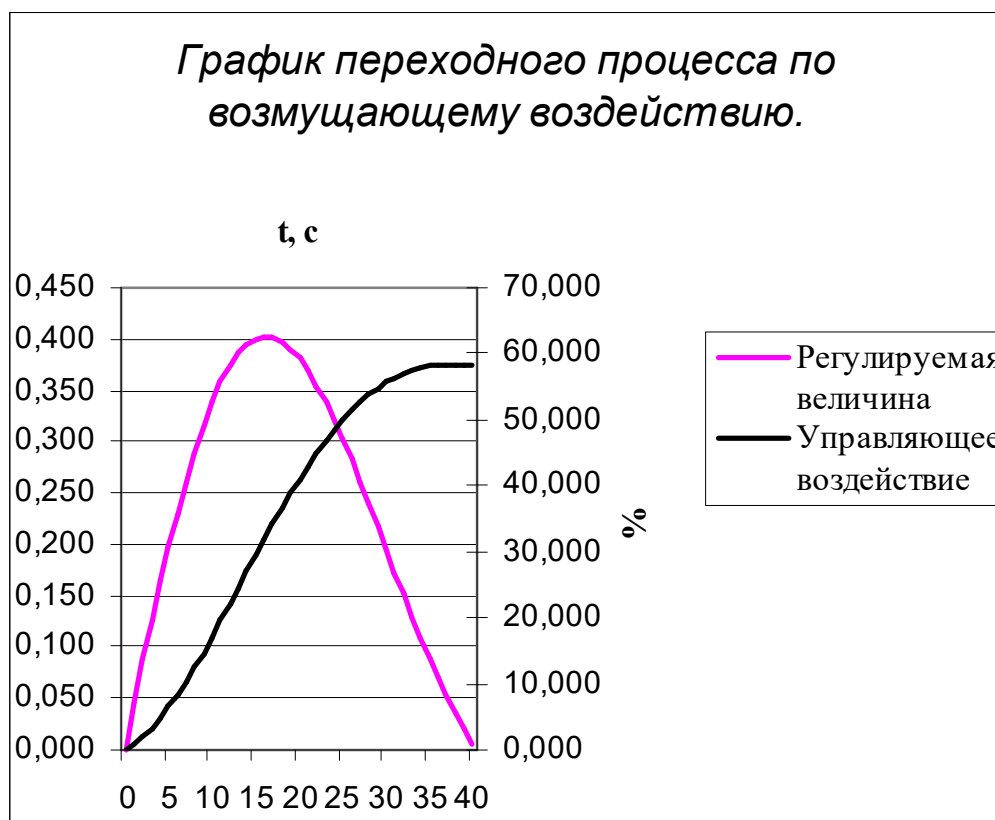


Рисунок 6.7 побудований графік

За цих налаштувань система справляється зі збуренням, але відхилення значення концентрації від заданого перевищує допустимі 0,2%.

ТРЕЙС МОУД - це програмний комплекс, призначений для розроблення, настроювання та запуску в реальному часі систем керування технологічними процесами. Усі програми, що входять до ТРЕЙС МОУД, діляться на дві групи:

- інструментальна система розроблення АСУ;
- виконавчі модулі (runtime).

Інструментальна система містить у собі три редактори:

- Редактор бази каналів;
- Редактор подання даних;
- Редактор шаблонів.

У них розробляються: база даних реального часу, програми оброблення даних і керування, графічні екрани для візуалізації стану технологічного

процесу і керування ним, а також шаблони для генерації звітів про роботу виробництва.

Залежно від ліцензії інструментальна система дає змогу створювати проекти на різну кількість каналів. Існують такі градації інструментальних систем за кількістю точок введення/виведення в одному вузлі проекту: 128, 1024, 32000x16, 64000x16.

Результатом роботи в цьому редакторі є математична та інформаційна структури проекту АСУТП. Ці структури містять у собі набір баз каналів і файлів конфігурації для всіх контролерів і операторських станцій (вузлів) проекту, а також файл конфігурації всього проекту.

Редактор подання даних

Тут розробляється графічна частина проекту системи керування.

При цьому створюється статичний малюнок технологічного об'єкта, а потім поверх нього розміщуються динамічні форми відображення та управління. Серед них такі, як поля виведення чисельних значень, графіки, гистограми, кнопки, області введення значень і переходу до інших графічних фрагментів тощо.

Крім стандартних форм відображення (ФО), ТРЕЙС МОУД дає змогу вставляти в проекти графічні форми представлення даних або управління, розроблені користувачами. Для цього можна використовувати стандартний механізм Active-X.

Усі форми відображення інформації, управління та анімаційні ефекти пов'язуються з інформаційною структурою, розробленою в редакторі бази каналів.

Графічні бази вузлів проекту, створені в редакторі подання даних, зберігаються у файлах із розширенням dbg. Їх збереження здійснюється у відповідні директорії проектів.

Характеристика ПІД-регулятора (PID)

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						66
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Цей блок формує вихідне значення за ПДД-законом від величини, поданої на його вхід INP. Формула обчислення вихідного значення має такий вигляд: n

$$Q := KP * INP + KD * (INP - INP1)/dt + S KI * INP i*dt$$

Q	- вихід блоку;
INP	- значення входу на поточному такті перерахунку;
INP1	- значення входу на попередньому такті перерахунку;
INP I	- значення входу на i-му такті перерахунку;
N	- загальне число тактів перерахунку;
Dt	- час між тактами перерахунку;
KP	- коефіцієнт при пропорційній складовій;
KD	- коефіцієнт при диференціальній складовій;
KI	- коефіцієнт при інтегральній складовій.

## ВИСНОВКИ

Паперова промисловість постійно розвивається, що керується прогресом технологій, зміною споживчих уподобань і проблемами сталого розвитку. Ось кілька майбутніх тенденцій у техніці виготовлення паперу:

**Цифровізація та автоматизація:** паперова промисловість використовує цифрові та автоматизовані системи для підвищення ефективності, зниження витрат і мінімізації помилок. Машинне навчання та штучний інтелект використовуються для оптимізації процесів, скорочення часу простою та покращення якості продукції.

**Екологічно чисті методи.** Сталий розвиток є ключовим питанням у паперовій промисловості, і багато компаній застосовують екологічні методи. Це включає використання відновлюваних джерел енергії, зменшення споживання води та використання перероблених матеріалів.

**Використання альтернативних волокон:** оскільки стійкість стає все більш важливою, зростає інтерес до використання альтернативних волокон для виробництва паперу. Це включає в себе сільськогосподарські відходи, такі як солома і цукрова тростина, а також перероблений текстиль і синтетичні волокна.

**Розумна упаковка:** з розвитком електронної комерції та онлайн-покупок зростає попит на рішення для розумної упаковки. Це може включати активне та інтелектуальне пакування, яке може контролювати та звітувати про стан продуктів під час транспортування та зберігання.

**Індивідуалізація та персоналізація:** споживачі все більше шукають унікальні та персоналізовані продукти, і паперова промисловість реагує на це, пропонуючи персоналізовані послуги друку та дизайну.

Загалом галузь виробництва паперу постійно адаптується до мінливих вимог ринку та технологічного прогресу. Наведені вище тенденції є лише кількома прикладами того, як галузь розвивається, щоб задовольнити потреби клієнтів, одночасно вирішуючи екологічні проблеми.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68

Фактори для визначення найбільш підходящої технології виробництва паперу для вашого бізнесу

Є кілька факторів, які можуть визначити найкращу технологію виробництва паперу для бізнесу. Ці фактори включають:

Тип паперового продукту: Тип паперового продукту, який підприємство має намір виробляти, може визначити найбільш прийнятну техніку виробництва паперу. Наприклад, деякі паперові вироби, такі як цигарковий і газетний папір, можуть вимагати іншого процесу виробництва порівняно з преміальними паперовими виробами, такими як папір для друку та спеціальний папір.

Необхідний обсяг виробництва: необхідний обсяг виробництва також може визначити найбільш прийнятну техніку виробництва. Деякі методи більше підходять для виробництва великих обсягів, тоді як інші краще підходять для менших обсягів.

Вартості: вартість виробництва також може бути фактором у визначенні найбільш прийнятної технології виробництва. Для деяких технологій може знадобитися дорожче обладнання або сировина, що може збільшити вартість виробництва.

Екологічні міркування. Проблеми навколишнього середовища також можуть відігравати певну роль у визначенні найбільш прийнятної технології виробництва. Деякі методи можуть мати більший вплив на навколишнє середовище, ніж інші, і бізнес може віддати перевагу використанню методів, які є більш стійкими та екологічно чистими.

Вимоги до якості: Вимоги до якості паперового продукту також можуть бути фактором у визначенні найбільш підходящої технології виробництва. Деякі технології можуть краще підходити для виробництва високоякісних паперових виробів, ніж інші.

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						69
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Laftah WA, Wan Abdul Rahman WA (2016) Pulping process and the potential of using non-wood pineapple leaves fiber for pulp and paper production: a review. *J Nat Fibers* 13:85–102. <https://doi.org/10.1080/15440478.2014.984060>
2. Kuusisto I (2004) Trends and developments in the Chinese pulp and paper industry. Presentation prepared for the International forum on investment and finance in China's forestry sector, Beijing
3. Kamoga OLM, Byaruhanga JK, Kirabira JB (2013) A review on pulp manufacture from non wood plant materials. *Int J Chem Eng Appl* 4:144–148. <https://doi.org/10.7763/IJCEA.2013.V4.281>
4. Rodríguez A, Moral A, Serrano L, Labidi J, Jiménez L (2008) Rice straw pulp obtained by using various methods. *Bioresour Technol* 99:2881–2886. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2007.06.003>
5. Jiménez L, Rodríguez A, Pérez A, Moral A, Serrano L (2008) Alternative raw materials and pulping process using clean technologies. *Ind Crop Prod* 28:11–16. <https://doi.org/10.1016/j.indcrop.2007.12.005>
6. FAO (2009) State of the world's forests 2009. FAO, Rome
7. Mandeep, Kumar Gupta G, Shukla P (2020) Insights into the resources generation from pulp and paper industry wastes: challenges, perspectives and innovations. *Bioresour Technol* 297:122496
8. Obidzinski K, Dermawan A (2012) Pulp industry and environment in Indonesia: is there sustainable future? *Reg Environ Chang* 12:961–966. <https://doi.org/10.1007/s10113-012-0353-y>
9. Wang Q, Jahan MS, Liu S, Miao Q, Ni Y (2014) Lignin removal enhancement from prehydrolysis liquor of kraft-based dissolving pulp production by laccase-induced polymerization. *Bioresour Technol* 164:380–385. <https://doi.org/10.1016/j.biortech.2014.05.005>
10. Bajpai P (2011) *Biotechnology for pulp and paper processing*. Springer US, New York. <https://doi.org/10.1007/978-1-4614-1409-4>

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						70
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

11. Das TK, Houtman C (2004) Evaluating chemical-, mechanical-, and bio-pulping processes and their sustainability characterization using life-cycle assessment. *Environ Prog* 23:347–357. <https://doi.org/10.1002/ep.10054>
12. Martín-Sampedro R, Fillat Ú, Ibarra D, Eugenio ME (2015) Towards the improvement of Eucalyptus globulus chemical and mechanical pulping using endophytic fungi. *Int Biodeterior Biodegrad* 105:120–126. <https://doi.org/10.1016/j.ibiod.2015.08.023>
13. Xu X, Liu F, Jiang L, Zhu JY, Haagenson D, Wiesenborn DP (2013) Cellulose nanocrystals vs. cellulose nanofibrils: a comparative study on their microstructures and effects as polymer reinforcing agents. *ACS Appl Mater Interfaces* 5:2999–3009. <https://doi.org/10.1021/am302624t>
14. Rojo E, Peresin MS, Sampson WW, Hoeger IC, Vartiainen J, Laine J, Rojas OJ (2015) Comprehensive elucidation of the effect of residual lignin on the physical, barrier, mechanical and surface properties of nanocellulose films. *Green Chem* 17:1853–1866. <https://doi.org/10.1039/c4gc02398f>
15. Verma SR, Dwivedi UN (2014) Lignin genetic engineering for improvement of wood quality: applications in paper and textile industries, fodder and bioenergy production. *South African J Bot* 91:107–125. <https://doi.org/10.1016/j.sajb.2014.01.002>
16. Jia M, Sun M, Li X, Xu X, Wang Y, Shi L, Hu H (2018) A new era of straw-based pulping? Evidence from a carbon metabolism perspective. *J Clean Prod* 193:327–337. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2018.04.227>
17. Biermann CJ (1996) *Handbook of pulping and papermaking*, 2nd ed. Elsevier Inc.
18. Kocurek MJ, Frederick S, Joint Textbook Committee of the Paper Industry (1983) *Pulp & Paper Manufacture*, 3rd ed. TAPPI
19. Gullichsen J, Fogelholm CJ, Yhdistys (1999) *Chemical pulping*, volume 2. Fapet Oy
20. Stephenson NJ (1950) *Pulp and paper manufacture volume 1 - preparation & treatment of wood pulp. Pulp pap pulp mill bleach*

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						71
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Grant I (1958) Cellulose pulp & allied products, 3rd ed. Thomas Reed & Company limited
22. Passas R (2012) Natural fibres for paper and packaging. In: Handbook of Natural Fibres. Elsevier, pp. 367–400
23. Koch G (2008) Raw material for pulp. In: Herbert S (ed) Handbook of pulp. Wiley-VCH Verlag GmbH, Weinheim, pp 21–68
24. Iglesias MC, Gomez-Maldonado D, Via BK et al (2020) Pulping processes and their effects on cellulose fibers and nanofibrillated cellulose properties: a review. For Prod J 70:10–21. <https://doi.org/10.13073/FPJ-D-19-00038>
25. Malkov S, Tikka P, Gustafson R et al (2003) Towards complete impregnation of wood chips with aqueous solutions. Part 5: improving uniformity of kraft displacement batch pulping. Pap ja Puu/Paper Timber 85:215–220
26. Stelte W, Sanadi AR (2009) Preparation and characterization of cellulose nanofibers from two commercial hardwood and softwood pulps. Ind Eng Chem Res 48:11211–11219. <https://doi.org/10.1021/ie9011672>
27. Rubin EM (2008) Genomics of cellulosic biofuels. Nature 454:841–845. <https://doi.org/10.1038/nature07190>
28. Pu Y, Zhang D, Singh PM, Ragauskas AJ (2008) The new forestry biofuels sector. Biofuels Bioprod Biorefin 2:58–73
29. Mboowa D, Khatri V, Saddler JN (2020) The use of fluorescent protein-tagged carbohydrate-binding modules to evaluate the influence of drying on cellulose accessibility and enzymatic hydrolysis. RSC Adv 10:27152–27160. <https://doi.org/10.1039/d0ra05333c>
30. Hallac BB, Sannigrahi P, Pu Y, Ray M, Murphy RJ, Ragauskas AJ (2010) Effect of ethanol organosolv pretreatment on enzymatic hydrolysis of *Buddleja davidii* stem biomass. Ind Eng Chem Res 49:1467–1472. <https://doi.org/10.1021/ie900683q>
31. Shallom D, Shoham Y (2003) Microbial hemicellulases. Curr Opin Microbiol 6:219–228. [https://doi.org/10.1016/S1369-5274\(03\)00056-0](https://doi.org/10.1016/S1369-5274(03)00056-0)

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						72
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

32. Argyropoulos DS (2001) Wood and cellulosic chemistry. Second Edition, Revised and Expanded Edited by David N.-S. Hon (Clemson University) and Nubuo Shiraishi (Kyoto University). Marcel Dekker: New York and Basel. 2001. vii + 914 pp. \$250.00. ISBN 0-8247-0024-4. J Am Chem Soc 123:8880–8881. <https://doi.org/10.1021/ja015237p>

					Кваліфікаційна робота	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		