Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)
Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

магістр
(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення та дослідження автоматизованої системи виробництва коркової продукції

Виконав: студент VI курсу, групи КТм-61

спеціальності 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(шифр і назва спеціальності)

(підпис) Матвєєв В.В.
(прізвище та ініціали)

Керівник (підпис) Золотий Р.З..
(прізвище та ініціали)

Нормоконтроль (підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри (підпис) Микитишин А.Г.
(прізвище та ініціали)

Рецензент (підпис) Марущак П.О.
(прізвище та ініціали)

Тернопіль
2024

Міністерство освіти і науки України
Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя

Факультет Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій
(повна назва кафедри)

ЗАТВЕРДЖУЮ
Завідувач кафедри
_____ Микитишин А.Г.
(підпис) (прізвище та ініціали)
«____» _____ 2024 р.

ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

на здобуття освітнього ступеня Магістр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 174 Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Матвєєву Віктору Володимировичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення та дослідження автоматизованої системи виробництва коркової продукції

Керівник роботи Золотий Роман Захарійович, канд. техн. наук, доцент кафедри КТ
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «29» жовтня 2024 року №_4/7-1030_____

2. Термін подання студентом завершеної роботи 23 грудня 2024р.

3. Вихідні дані до роботи Технічні вимоги щодо виробництва комбікормів

4. Зміст роботи (перелік питань, які потрібно розробити)
Вступ
Аналітична частина
Техологічна частина
Конструкторська частина
Науково-дослідна частина
Спеціальна частина
Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень, слайдів)
Титульний слайд
Актуальність роботи
Завдання роботи
Основна частина
Висновки

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Спеціальна частина	доц. Золотий Р.З.		
Охорона праці та	доц. Тотосько О.В.		
безпека в надзв. ситуаціях			

7. Дата видачі завдання 15 жовтня 2024 року

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
	Аналіз постановки завдання і огляд матеріалів за	18.10.2024	
	темою кваліфікаційної роботи		
	Розробка структури комплексу і алгоритму роботи	30.10.2024	
	Підбір модулів ПЛК та розробка схем спряження	03.11.2024	
	Розробка мережі передавання даних	05.11.2024	
	Розробка і налагодження керуючої програми	07.11.2024	
	Науково-дослідна частина	14.11.2024	
	Спеціальна частина	28.11.2024	
	Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях	10.12.2024	
	Оформлення графічної частини	16.12.2024	

Студент _____ Матвєєв В.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи _____ Золотий Р.З.
(підпис) (прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Кваліфікаційна робота магістра складається з пояснювальної записки та графічної частини (ілюстративний матеріал – слайди).

Об’єм графічної частини дипломної роботи становить _____.

Об’єм пояснювальної записки складає ___ друкованих сторінок формату А4.

В роботі використано ___ літературних джерел.

Основною метою роботи була підтримка та вдосконалення системи керування виробництвом із застосуванняс SCADA у підрозділі грануляції.

Було проведено ідеалізацію системи з точки зору клієнта, яким у даному випадку є промисловий підрозділ. Було визначено сигнали, які можна перетворити на дані (наразі втрачених), а також для ідеалізації функціональних можливостей системи та вивчення можливих нових елементів для додавання до існуючих. Ці цілі були досягнуті, а деякі інші ідеї, які виникли під час стажування, були підтверджені компанією та втілені в реальні дії. Щоб не забути, їх зафіксували в документі, аби в подальшому реалізувати. Робота ще триває і продовжуватиметься після закінчення цього стажування, як уже було відомо на його початку.

Можна було помітити, що на сьогоднішній день на лінії Переробки #1 у компанії є умови для початку процесу цифровізації, тоді як на лінії Grinding #1 це стане можливим лише після поставки визначеного обладнання. З роботи, виконаної на лінії переробки №1, можна зробити висновок, що застосована методологія, якщо її розповсюдити на весь підрозділ, дозволить розробити мережу пунктів збору інформації, яка гарантуватиме бажану видимість виробничого процесу, і в цьому таким чином, надасть дані, звернення до яких дозволить покращити поточні процеси як на рівні виробництва, так і на рівні обслуговування.

Ключові слова: КОНТРОЛЕР, ІНДУСТРІЯ 4.0, ПЕРЕРОБКА, КЕРУВАННЯ, ОПТИМІЗАЦІЯ.

ЗМІСТ

ВСТУП *5*

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА *6*

1.1. Індустрія 4.0 і нова промислова парадигма *6*

1.2. Інтернет речей (IoT) *6*

1.3. Кіберфізична система (CPS) *7*

1.4. Піраміда комп'ютерно-інтегрованого виробництва та аналіз її рівнів. *11*

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА *25*

2.1. Процес виробництва гранульованих матеріалів *25*

3 КОСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА *36*

3.1 Методологія оптимізації виробництва *36*

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА *51*

4.1 Дослідження давачів на критичні елементи. *51*

4.2 Діаграма масового потоку *55*

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА *59*

5.1 Будова машини для випробовування коркової продукції *59*

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ ... *68*

6.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням *68*

6.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт *73*

6.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування *75*

6.4 Розрахунок захисного заземлення *77*

ВИСНОВКИ ***83***

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ ***84***

ВСТУП

Використання пакетів для транспортування та зберігання їжі та напоїв відомо тисячі років. Приблизно наприкінці 1970-х років пластик був представлений як новий пакувальний матеріал, який замінив папір або скляні вироби в багатьох сферах їх використання [1].

Широке розповсюдження пластикових пляшок можна пояснити як їхніми механічними властивостями, так і великою свободою дизайну, яку надає матеріал, що, безумовно, робить продукти більш привабливими. У минулому процес проектування в основному зосереджувався на виробництві упаковок, які зберігають товари, які в них містяться, особливо з використанням герметичних ущільнень, які часто призводять до того, що пляшки важко відкривати. З іншого боку, в останні роки тенденція змістилася в бік дизайну, орієнтованого на клієнта. Іншими словами, сучасний фокус — це привертає увагу та простий у використанні продукт, який також добре виконує свою основну мету [2].

Згідно з деякими дослідженнями, щорічне споживання становить близько 46 мільярдів одноразових ПЕТ пляшок для напоїв у Європі [3]. Серед споживачів багато дітей, людей похилого віку та людей з обмеженими можливостями, для яких відкрити щільно закриту пляшку не просто незручно, а може стати проблемою; отже зростаючий інтерес компаній з виробництва напоїв до пропозиції продукту, який легко відкривати.

Для більшості контейнерів для напоїв ця вимога щодо доступності разом із специфікаціями пакування, необхідними для забезпечення збереження самого напою, перетворюється на визначення бажаного інтервалу моменту виймання. Це означає, що крутний момент, необхідний для відкриття пляшки, має залишатися в певному діапазоні. Якщо він занадто скромний, напій погано зберігається, тоді як, якщо він надмірний, вміст пляшки буде важкодоступним.

1. АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

1.1. Індустрія 4.0 і нова промислова парадигма

Споживачі дедалі більше шукають продукцію, яка відповідає індивідуальним вимогам, і очікується, що галузь відповість на це великомасштабним виробництвом на замовлення. Це означає радикальну зміну парадигми виробничих ліній і ланцюгів постачання; цієї зміни можна досягти лише за допомогою впровадження технологій I4.0.

Як зазначає McKinsey & Company у дослідженні «Фабрика майбутнього», дані відіграють центральну роль у розумній фабриці, використовуючи такі ключові технології, як автоматизована логістика на фабриці, збір даних у всьому ланцюжку постачання, прогнозне технічне обслуговування на основі даних, автоматизація та взаємодія людини та машини, цифрова система якості та контроль процесів, цифрове управління ефективністю, а також розумне планування та гнучкі операції. Природно, не всі визначення однакові, але I4.0 – це, зрештою, назва технологій, які складають поточну тенденцію автоматизації та обміну даними в галузі. Такі технології, як Інтернет речей (IoT), Cyber-Physical Systems (CPS), Big Data Analytics (BDA) і Cloud Computing (CC), створюють необхідні умови для розробки Smart Factory, повністю підключеного середовища з повною прозорістю інформації, з даними, доступними в будь-який час і в будь-якому місці.

1.2. Інтернет речей (IoT)

Інтернет речей (IoT) — це мережа фізичних пристроїв із вбудованою технологією, яка дозволяє їм спілкуватися, відчувати або взаємодіяти зі своїм внутрішнім чи зовнішнім станом. Як уже згадувалося, I4.0 містить кілька

важливих концепцій для реалізації його повного потенціалу. Інтелектуальна машина має потенціал і автономію для прийняття децентралізованих рішень за допомогою розширених статистичних і аналітичних моделей на основі великих обсягів даних (Big Data). Ці дані витягуються з фізичного світу за допомогою вже згаданих пристроїв або «речей», які можуть зберігатися в хмарних службах (Cloud Computing) і можуть живити кіберфізичні системи (CPS). Отже, ми бачимо, що IoT дозволяє збирати та обмінюватися інформацією з цією складною екосистемою елементів і різних технологій.

1.3. Кіберфізична система (CPS)

Як випливає з назви, кіберфізичні системи — це мережі фізичних елементів і кібернетичних систем. Ці системи є життєво важливими для реалізації концепції I4.0 Smart Factory, оскільки вони складають екосистему, що включає датчики, виконавчі механізми, процесори, бази даних, людино-машинні інтерфейси (HMI) та всі їхні з’єднання. Системи CPS дозволяють об’єднувати промислові системи в мережу, експоненціально розширюючи наявні виробничі можливості. Економічний і соціальний потенціал цих систем значно вищий, ніж досягнутий на сьогоднішній день, і зараз у всьому світі здійснюються значні інвестиції для розробки цієї технології. Щоб краще зрозуміти концепцію CPS, можна переглянути концептуальну карту, яку можна побачити на рис. 1.1. На рис. 1.2 показано приклад CPS.

Big Data Analytics (BDA)

Безперервна робота обладнання призводить до збільшення обсягу даних різного характеру, які збираються з виробничих процесів. Цінна та значуща інформація для машин і процесів зберігається в цих великих наборах даних, тому визначення того, як ефективно виявляти закономірності в цих базах даних, щоб підвищити продуктивність і прибутковість, стало викликом і можливістю.

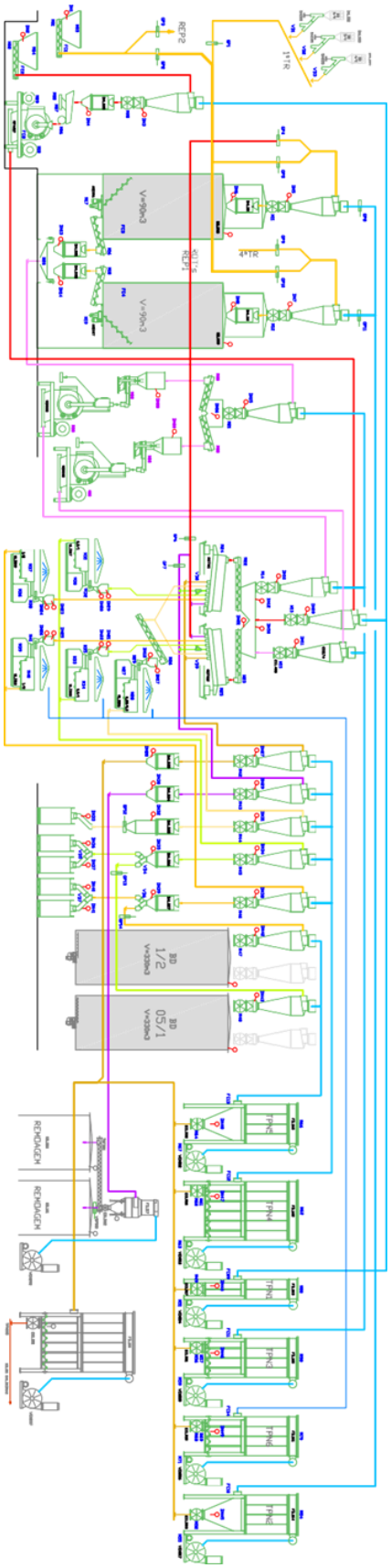


Рисунок 1.1 - Схема лінії повторної обробки.

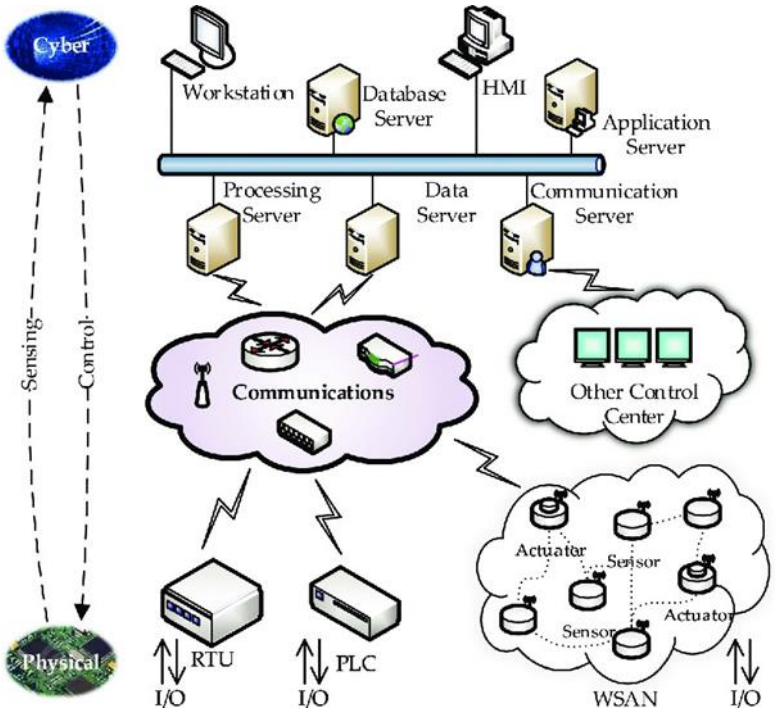


Рисунок 1.2 – Приклад кіберфізичної системи

Термін «дані» спочатку використовувався для позначення «комп'ютерної інформації, яку можна передавати та зберігати». Оскільки дані вторглися в багато аспектів сучасної цивілізації, визначення цього терміну змінювалося, і сьогодні він означає «згенеровану інформацію, яка містить як цінну, так і нерелевантну або зайву інформацію, яку необхідно обробити, щоб мати значення». Цей перехід у сприйнятті терміна «дані» добре ілюструє, як дані більше не є просто пасивним носієм інформації, а активним джерелом цінності.

Оскільки швидкість генерування та вилучення даних зростає в геометричній прогресії, особливо в останнє десятиліття, дані стали «великими» не лише з точки зору обсягу та швидкості збору, але й з точки зору різноманітності та багатства, що дозволяє отримати більш повний і описовий цифровий картину фізичного світу, яка може внести значний внесок у визначення стратегій у різних сферах. Термін «великі дані» стосується великого обсягу чи різноманітності даних або даних, зібраних з

високою швидкістю, з більшою чи меншою правдивістю, що потребує вдосконалених аналітичних підходів для того, щоб бути переведеними у значущу інформацію.

Хмарні обчислення (CC)

За останні кілька років з'явилися платформи хмарних обчислень. Вони являють собою потужні обчислювальні системи, які вирішують необхідність збору інформації з масивних сховищ даних, а також забезпечують ефективні платформи для таких баз даних.

З точки зору клієнта, хмара виражає віддалене та масштабоване надання обчислювальних ресурсів і ресурсів зберігання. Хмарні системи побудовані на величезних обчислювальних ресурсах, розташованих в IT-середовищі постачальника послуг, і призначаються додаткам за запитом.

Хмарні обчисленняАмериканський інститут стандартів і технологій (NIST) визначає як «модель забезпечення зручного доступу за вимогою до мережі спільного пулу настроюваних обчислювальних ресурсів, які можуть бути швидко доступні з мінімальними зусиллями керівництва або взаємодії з постачальником послуг». ". Ми можемо визначити п'ять основних атрибутів систем хмарних обчислень на основі визначення NIST:

- Самообслуговування на вимогу: кінцевий користувач може підписатися та отримувати послуги без особливих затримок, коли це необхідно;
- Широкий доступ до мережі: послуга легко доступна всюди через стандартні інтерфейси (настільні ПК, ноутбуки, планшети та смартфони);
- Об'єднання ресурсів: ілюзія нескінченних ресурсів, які доступні миттєво, що дозволяє змінювати рівні обслуговування в будь-який час без фізичних або віртуальних обмежень;
- Швидка еластичність: надання потужностей є гнучким і може бути масштабовано для підтримки піків попиту;

• Виміряна послуга: плата розраховується відповідно до використання.

1.4. Піраміда комп’ютерно-інтегрованого виробництва та аналіз її рівнів.

Через складність операцій автоматизації та взаємозв’язків між різними компонентами традиційні системи автоматизації керування часто проектуються в ієрархічній або централізованій структурі. Основні дії автоматизації поділяються на кілька рівнів пірамідальної структури, як показано на рис. 9, відповідно до ANSI/ISA-95. Цей стандарт визначає п’ять рівнів для обміну інформацією між системами: рівень 0 – поле, рівень 1 – контроль, рівень 2 – контроль (SCADA), рівень 3 – виконання виробництва (MES) і рівень 4 – планування ресурсів підприємства (ERP). (Foehr та ін. 2017).

Між кожними двома послідовними шарами завжди є два канали зв'язку. Один призначений для передачі інформації на вищий рівень, а інший для отримання наказів з того самого рівня. Наприклад, Польовий Рівень передає інформацію та отримує інструкції від Рівня Контролю, тоді як Рівень Керування передає інформацію та отримує інструкції від Рівня Нагляду, і так далі для інших рівнів.

Рисунок 1.3 – Піраміда CIM ANSI/ISA-95.

Рівень поля - давачі та виконавчі механізми

Польовий рівень є найнижчим рівнем ієрархії автоматизації та включає польові пристрої, такі як виконавчі механізми та датчики. Основною функцією польових пристроїв є надсилання машинних і технологічних даних до блоку керування для подальшого моніторингу та аналізу. Датчики перетворюють властивості процесу в режимі реального часу, такі як об'єм, вага, потік, температура та тиск, зокрема, у сигнали. Приводи включають, серед іншого, пневматичні приводи, двигуни, реле, соленоїди або перекидні клапани.

Рівень керування - ПЛК (програмований логічний контролер)

Програмовані логічні контролери, широко відомі як ПЛК, є членами сімейства комп'ютерів, спеціально розроблених, щоб протистояти суворим умовам промислового середовища, які виконують операції керування через інтегральні схеми. Вони можуть зберігати інструкції для керування промисловим обладнанням і процесами, такими як послідовність, синхронізація, підрахунок, арифметика, маніпулювання даними та зв'язок. ПЛК можна розглядати як промислові комп'ютери зі спеціально розробленою архітектурою в їх центральних процесорах (CPU) і схемами інтерфейсу з польовими пристроями (з'єднання вводу/виводу із зовнішнім світом).

- Центральний процесор (CPU) - цей компонент виконує три завдання під час своєї роботи. По-перше, він зчитує або приймає вхідні дані від польових пристроїв через вхідні інтерфейси. Він виконує, запускає через мікропроцесор керуючу програму, збережену в його системі пам'яті, і, нарешті, записує або оновлює пристрої виводу через вихідні інтерфейси.
- Модулі вводу/виводу (I/O) - поки ЦП ПЛК зберігає та обробляє дані, модулі вводу/виводу підключають ПЛК до решти обладнання. Вони

надсилають вхідну інформацію до центрального процесора, запускаючи певні процеси через вихідні з’єднання. Датчики, кнопки та лічильники є пристроями введення, тоді як реле, світло, електромагнітні клапани та пускачі двигунів є прикладами пристроїв виведення.

- Комунікації – ПЛК може потребувати підключення до інших систем на додаток до пристроїв введення та виведення. Наприклад, за бажанням він може передавати дані, зібрані ПЛК, до системи диспетчерського керування та збору даних (SCADA), яка відстежує різні підключені пристрої або бере участь у взаємодії в режимі реального часу через інтерфейс людина-машина (HMI). Щоб увімкнути ці з’єднання з іншими системами, ПЛК включають різноманітні комунікаційні порти та протоколи (які можна визначити як правила, що регулюють зв’язок між пристроями).

Крім ПЛК, існують інші пристрої, які називаються віддаленими терміналами (RTU), які дуже схожі за функціональністю та можливостями, настільки, що RTU можна вважати віддаленим ПЛК, оскільки він більше підходить для дуже важких умов і тривалого дистанційне спілкування.

Наглядовий рівень - SCADA (наглядовий контроль і збір даних)

Незважаючи на те, що ПЛК забезпечують просте підключення до промислового обладнання, вони не гарантують платформу для реалізації передових методів керування. З іншого боку, ПК можуть стати чудовою платформою для розробки та впровадження таких систем керування, але створюють більш значні труднощі під час підключення до пристроїв через проблеми введення/виведення. Головний комп’ютер виконує функції керування для вирішення цієї проблеми, тоді як ПЛК беруть на себе функції виконання.

SCADA — це система, яка використовується для моніторингу стану виробничого процесу та керування різними промисловими засобами керування в режимі реального часу. Його завданням є обробка даних із

різних пристроїв, таких як ПЛК або RTU, і відображення результатів на моніторі.

Головний комп'ютер, на якому працює програмне забезпечення SCADA, може підключатися до процесора кожного контролера виробничого процесу через промислові мережі, щоб координувати всі дії для створення продуктів відповідно до встановлених специфікацій. SCADA може збирати дані, змінювати параметри процесу, а також запускати та зупиняти операції.

Рівень управління - MES (Manufacturing Execution System)

Системи управління виробництвом (MES) відстежують, контролюють і оптимізують виробничі процеси та виробничі активи. Інформація, яку надає MES, допомагає менеджерам зрозуміти взаємозв’язки між підсистемами, залученими у виробництво, пов’язуючи операції на рівні підприємства з контрольними станціями на заводі, оскільки вони охоплюють дані наглядового рівня (SCADA).

Нові технології, описані вище, IoT, CPS, CC і BDA, стимулюють розробки I4.0, вводячи нові парадигми в промислові системи. Очікується, що ця революція суттєво вплине на майбутнє MES.

Рівень підприємства - ERP (Enterprise Resource Planning)

Системи ERP є одними з найбільш широко використовуваних інформаційних систем в організаціях. Вони служать центральним сховищем для зберігання та передачі даних між відділами та бізнес-процесами, забезпечуючи покращений обмін даними між операційними сферами та всередині них. Ці системи можуть контролювати все підприємство, відстежуючи постачання, замовлення, планування, інвентаризацію готової продукції та іншу важливу управлінську інформацію. Успішно впроваджені системи планування ресурсів підприємства можуть надати компаніям значні стратегічні та операційні переваги.

Комунікація на польовому та корпоративному рівнях можлива через різні рівні. Наприклад, якщо замовлення підтверджено в ERP, система може

негайно перевірити, чи є продукт на складі, і, якщо є необхідність його виготовити, створити замовлення на виробництво в MES. MES зв’язується з SCADA, яка зв’язується через ПЛК із поверхом, керуючи виробництвом потрібного продукту. Це приклад повної вертикальної інтеграції.

Технічне обслуговування

Відповідно до класичної точки зору, роль технічного обслуговування полягала в ремонті зламаного обладнання. Технічне обслуговування часто вважалося «центром витрат» і розглядалося серед організацій як «необхідне зло». Цей спрощений погляд зводив технічне обслуговування до реактивного ремонту або заміни. Ця ідея застаріла, і галузь тепер розуміє переваги проактивного обслуговування, тобто активної оцінки стану обладнання та прийняття набору заходів щодо моніторингу, збереження або заміни до того, як станеться збій.

Компанії у своїй діяльності постійно стикаються з необхідністю максимізації прибутку. Це може бути підкріплено збільшенням продажів, скороченням витрат або комбінацією обох. Одним із способів мінімізації витрат є усунення всіх видів відходів, пов'язаних з виробничим процесом. Часто відходи в промисловості є результатом існування поломок, і найкращий спосіб мінімізувати їх – це прийняти політику управління технічним обслуговуванням. Технічне обслуговування суттєво впливає на продуктивність і доступність обладнання, що слід розглядати як цінний внесок для компаній. Технічне обслуговування має важливе значення для забезпечення високої доступності обладнання за менших витрат. Крім того, слід зазначити, що тенденція на ринку полягає в більш значних вимогах, зокрема щодо якісних реквізитів, що означає, що обладнання та його обслуговування стають все більш складними.

Стандарт EN13306:2010 (CEN 2010) визначає технічне обслуговування як сукупність технічних і адміністративних дій з управління, які здійснюються протягом життєвого циклу активу, щоб зберегти або відновити

його до стану, в якому він може виконувати свої необхідні функції. Крім того, промислове обладнання є високою ціною для компанії, тому всі політики, спрямовані на збільшення терміну його служби, повинні бути ретельно розглянуті. Важливо підтримувати безперебійну роботу обладнання, але отримана додана вартість повинна покривати витрати, пов'язані з цим. Цей принцип здається очевидним, але рідко зустрічається на практиці через відсутність необхідних показників. Ці показники необхідні для забезпечення домінуючого підходу до виробництва та обслуговування, а не підкореної поведінки щодо обладнання. Для розрахунку цих показників необхідно забезпечити збір і обробку даних, і саме в цьому вимірі технології I4.0 можуть сприяти управлінню обслуговуванням. Концепції «технічне обслуговування 4.0» або «інтелектуальне технічне обслуговування» стосуються розширеного прийняття рішень на основі даних у реальному часі та використання передових технологій і великих наборів даних для досягнення рентабельності технічного обслуговування.

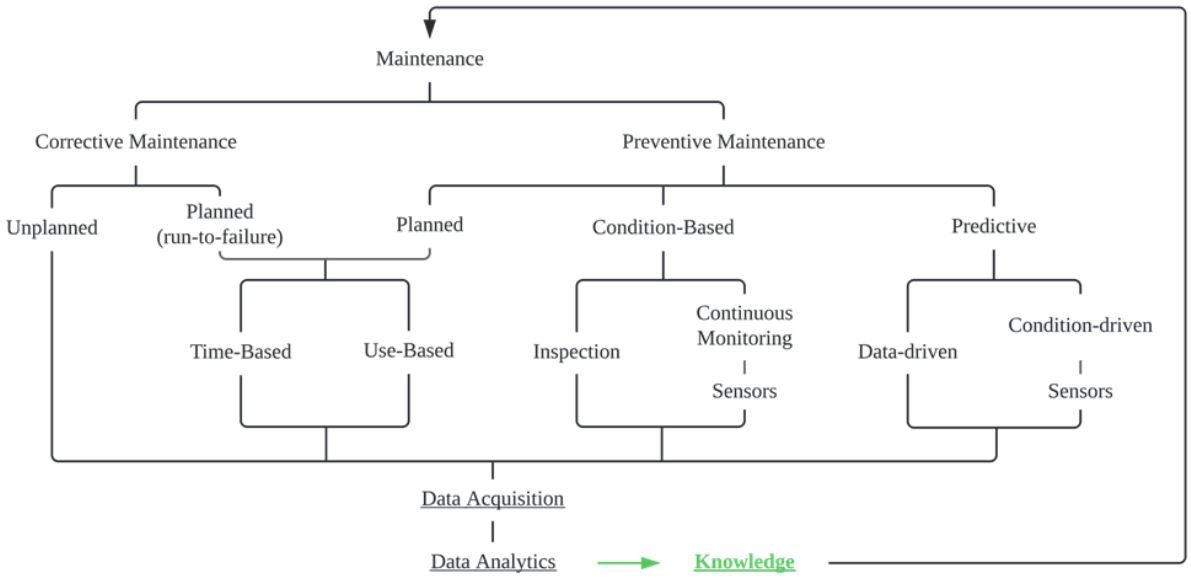


Рисунок 1.4 – Важливість даних у визначенні політики обслуговування

Політику технічного обслуговування можна згрупувати в дві основні групи: коригувальне обслуговування та профілактичне обслуговування. Як

випливає з назви, перший стосується дій з ремонту та відновлення робочих умов обладнання чи системи, що вийшли з ладу. Другий спрямований на те, щоб мінімізувати ймовірність відмови, діючи раніше.

Корекційне обслуговування

Коригувальне технічне обслуговування, також відоме як технічне обслуговування в разі відмови, — це політика техобслуговування, яка полягає у відновленні нормальних робочих умов активу шляхом ремонту. У розробці надійності відмова описується як стан або умова недосягнення наміченої мети. Тому коригувальне технічне обслуговування зосереджується на виявленні причин несправності та починається з аналізу явища несправності.

Необхідно уникати незапланованого ремонту, оскільки це може призвести до неочікуваних зупинок виробництва. Однак ремонтне технічне обслуговування можна запланувати, і для низькопріоритетного обладнання це може бути найбільш прийнятною політикою. Він приймається, коли шляхом аналізу запису про відмови за допомогою відповідних методів робиться висновок, що коригувальний підхід є більш вигідним з економічної точки зору. Коли це так, це означає, що рентабельніше провести коректний ремонт обладнання, навіть зазнавши втрати виробничих витрат, ніж впроваджувати політику превентивної заміни. Його також часто впроваджують, оскільки це найпростіша політика. Він використовує весь термін служби активів і має низькі короткострокові витрати (оскільки мінімізує кількість втручань). Це визначається як заплановане коригування, оскільки в цих випадках існує ряд змінних, які можна розрахувати і які призведуть до кращого реагування на момент відмови, наприклад, оптимальна кількість резервних елементів або доступність ремонтної бригади, згадати декілька.

Тим не менш, це може становити значний ризик, обумовлюючи операції в невідомий момент, додаючи непередбачуваність, довгострокові

витрати та, потенційно, певну небезпеку для процесу. Важливо відзначити, що навіть із запровадженням інших правил технічного обслуговування трапляються поломки, і неможливо усунути збої, тому коригуюче технічне обслуговування завжди буде необхідним, навіть якщо лише у виняткових ситуаціях.

Профілактичне обслуговування

Профілактичне технічне обслуговування — це набір втручань перед поломкою, або чищення, або заміна деталей через заздалегідь визначений період або кількість циклів, або залежно від стану обладнання. Ця філософія технічного обслуговування спрямована на забезпечення хорошого стану обладнання з метою зменшення кількості відмов.

Планове профілактичне технічне обслуговування проводиться періодично залежно від часу або використання. Більшість рішень щодо технічного обслуговування приймаються експертами на основі їх досвіду роботи з обладнанням і даних про попередні несправності. Часто буває важко заздалегідь визначити відповідний графік технічного обслуговування, оскільки точно невідомо, коли станеться збиток. Застосовуються більш консервативні підходи, що призводить до передчасної заміни обладнання, яке може бути ще в робочому стані. Через зростаючі вимоги до надійності, доступності та безпеки планове профілактичне технічне обслуговування стає менш ефективним і навіть застарілим.

Сьогодні впровадження політики технічного обслуговування, заснованої на стані, і прогнозованого технічного обслуговування стало домінуючим у галузі завдяки його здатності зменшувати витрати на технічне обслуговування та несподівані зупинки, одночасно продовжуючи термін служби обладнання. Ці політики технічного обслуговування використовують неінтрузивні методи тестування, такі як термічний, акустичний аналіз, аналіз вібрації та інфрачервоні датчики, щоб назвати декілька, для моніторингу та оцінки стану обладнання та тенденцій продуктивності.

Технічне обслуговування за умовами використовує встановлення граничних умов або значень, щоб визначити, коли потрібне технічне обслуговування, ніби це правило. Наприклад, технічне обслуговування необхідно проводити, коли температура перевищує раніше визначену меж. Зображення цього типу технічного обслуговування показано на рис. 1.5.

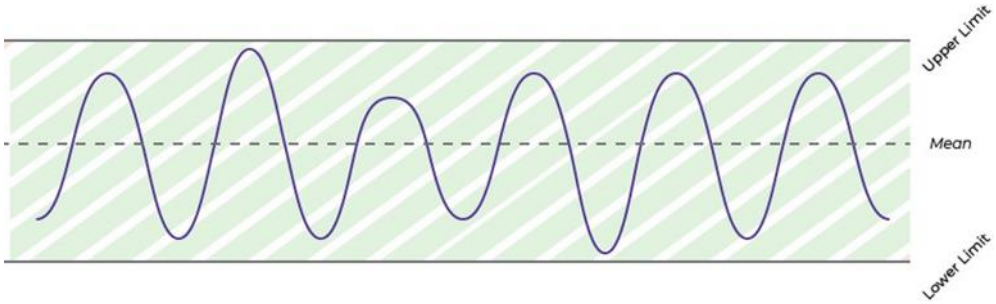


Рисунок 1.5 – Ілюстрація технічного обслуговування на основі умов

З іншого боку, прогнозне технічне обслуговування, орієнтоване на умови, йде далі і намагається передбачити через стан обладнання, коли завдання з технічного обслуговування потрібно буде виконати в майбутньому. Зображення цього типу технічного обслуговування показано на рис. 1.6.

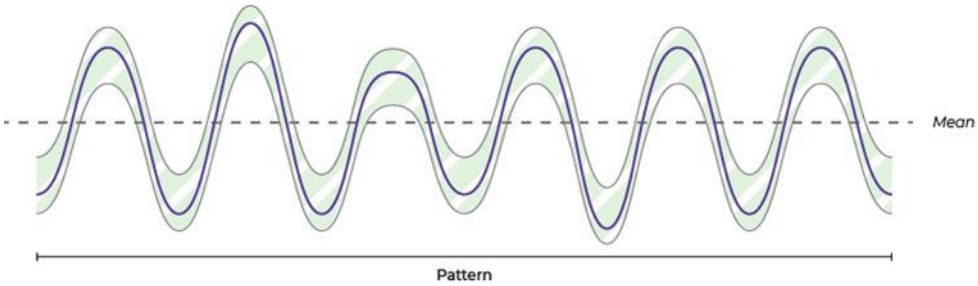


Рисунок 1.6 – Ілюстрація прогнозованого технічного обслуговування залежно від умов

Слід зазначити, що прогнозне технічне обслуговування також може здійснюватися виключно на основі даних без інформації про фактичний стан обладнання, покладаючись на вдосконалені моделі прогнозування.

Показники технічного обслуговування

Щоб визначити адекватну політику технічного обслуговування для кожної ситуації, необхідно кількісно визначити те, що спостерігається на практиці. Для цього в цьому аналізі допомагають індикатори, які також дуже важливі для моніторингу продуктивності технічного обслуговування.

Час роботи (рівняння 2.1) і час простою (рівняння 2.2) відносяться до часу, коли виробнича лінія працює і не працює. Компанії, які відстежують ці показники, можуть заздалегідь виявити проблеми з обслуговуванням або збої.

$$Uptime = Total\ Working\ Time - Total\ Breakdown\ Time \tag{1.1}$$

$$Downtime = Total\ Breakdown\ Time \tag{1.2}$$

Частота відмов (λ) (рівняння 2.3) вимірює кількість відмов на одиницю часу, протягом якого обладнання має працювати.

$$\lambda = \frac{Number\ of\ Breakdowns}{Uptime + Downtime} \tag{1.3}$$

Середній час напрацювання на відмову (MTBF) (рівняння 2.4) обчислює середній час між відмовами для даного обладнання. Якщо частота відмов постійна, вона є зворотною до її значення.

$$MTBF = \frac{Uptime + Downtime}{Number\ of\ Breakdowns} = MTTF + MTTR \tag{1.4}$$

Середній час напрацювання на відмову (MTTF) (рівняння 2.5) кількісно визначає середній час роботи обладнання. Він також відомий як «медіальний час безвідмовної роботи».

$$MTTF = \frac{Uptime}{Number\ of\ Breakdowns} \tag{1.5}$$

Середній час до ремонту (MTTR) (рівняння 1.6) виражає середній загальний час, необхідний для ремонту несправного компонента або обладнання. Таким чином, це хороший показник ефективності роботи групи технічного обслуговування. Це також відоме як «медіальний простой».

$$MTTR = \frac{Downtime}{Number\ of\ Breakdowns} \tag{1.6}$$

Доступністьможе бути розрахований за допомогою різних оцінок (рівняння 1.7) (рівняння 1.8) і є ступенем, до якого система, підсистема чи обладнання перебувають у робочому стані, або ймовірністю, для постійної частоти відмов, що вони будуть працювати задовільно при заданому час. Обидва можна використовувати для оцінки наявності. Однак для цілей моніторингу вартості та аналітики важливо завжди використовувати один і той самий оцінювач.

$$Avaiability = \frac{Uptime}{Uptime + Downtime} \tag{1.7}$$

$$Avaiability = \frac{MTTF}{MTTF + MTTR} = \frac{MTTF}{MTBF} = 1 - \frac{MTTR}{MTBF} \tag{1.8}$$

Виробництво

Як зазначалося раніше, цифровізація процесів дозволяє краще бачити параметри роботи обладнання та дистанційну взаємодію з ним. Окрім

надання інформації в реальному часі про те, що відбувається на виробничій лінії, він також дозволяє зберігати дані виробничого процесу для подальшого аналізу.

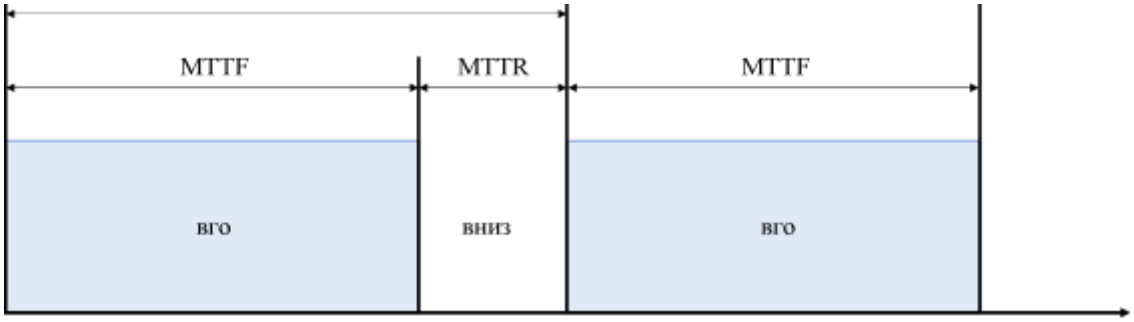


Рисунок 1.6 – Індикатори MTBF, MTTF і MTTR на шкалі часу

Цей систематичний збір даних забезпечує постійне збільшення знань з часом, що може бути надзвичайно цінним для підтримки прийняття рішень. Для цього використовуються індикатори, які перетворюють зібрані дані на щось значуще та корисне. Вони можуть бути більш або менш впливовими залежно від галузі. Таким чином, інженер-технолог відповідає за присвоєння відповідного значення кожному з них для конкретного випадку.

Виробничі показники

Продуктивність(рівняння 1.8) визначається як обсяг продукції, вироблений на одиницю ресурсів, спожитих для виробництва.

$$Productivity = \frac{Output}{Input} \tag{1.8}$$

Пропускна здатність (рівняння 1.9) є швидкістю виробництва, тобто випуском за одиницю часу.

$$\text{Throughput} = \frac{Output}{Duration} \tag{1.9}$$

Час циклу (рівняння 1.10) — це проміжок часу між початком і завершенням випуску продукції, який виражається періодом часу, необхідним для кожного елемента.

$$Cycle\ Time = \frac{Output\ per\ cycle}{\text{Throughput}} \tag{1.10}$$

Загальна ефективність обладнання (OEE) (рівняння 1.11) – це показник, який є еталонним для вимірювання загальної ефективності машини чи системи, що визначає відсоток робочого часу, який є дійсно продуктивним. Він поєднує в одному показнику три критичні виміри ефективності системи: доступність, продуктивність і якість виробництва.

$$OEE = Availability \times Performance \times Quality$$

$$= \frac{Actual\ Operation\ Time}{Planned\ Operation\ Time} \times \frac{Actual\ Output}{Theoretical\ Output} \times \frac{Quality\ Products}{Total\ Production\ Output} \tag{1.11}$$

Розрив можливостей (рівняння 1.12) є показником, пов’язаним із використанням активів; це різниця між максимальною виробничою потужністю та фактичним обсягом виробництва.

$$Opportunity\ Gap = Maximum\ Capacity - Actual\ Output \tag{1.12}$$

Управління ризиками

Концепція ризику є наскрізною для будь-якої сфери техніки, охорони здоров’я, транспорту, безпеки та фінансів, щоб назвати декілька. У кожному секторі кілька зовнішніх і внутрішніх факторів роблять досягнення цілей невизначеним. Ефект, пов’язаний з цією невизначеністю, називається

ризиком (IPQ 2012). Існує пропорційна залежність між ризиком, наслідком і ймовірністю даної події, відображеною в рівнянні (1.13). Цей аналіз може бути якісним, кількісним або їх поєднанням залежно від обставин. Кількісні дані базуються на числах, піддаються підрахунку або вимірюванню. У той же час якісні дані є описовими та базуються на інтерпретації.

$$Risk = Consequence \times Likelihood \tag{1.13}$$

2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

2.1. Процес виробництва гранульованих матеріалів

Розглянемо ділянку виробництва, яка відповідає за подрібнення сировини для отримання гранульованої пробки. Ці гранули можуть бути використані для постачання інших підрозділів групи або призначені для зовнішніх продажів. Підрозділ має складний виробничий процес, тому забезпечення видимості цього процесу надзвичайно важливо для компанії.

Презентація Industrial Unit – GMT

Функція цієї промислової установки полягає в тому, щоб приймати корок, подрібнювати його, класифікувати його за певними діапазонами щільності та гранулометрії та регулювати його вологість. За щільністю гранулят поділяють на три основні категорії: гранулят низької щільності (DB), гранулят середньої щільності (MD) і високої щільності (AD). Що стосується гранулометрії, класифікація здійснюється за діапазонами розмірів, а рівень вологості визначається відповідно до різних порядків. Хоча обидва параметри (гранулометрія та вологість) безпосередньо впливають на ціну грануляту, саме щільність є найбільш визначальним елементом кінцевої вартості. BD є найціннішим гранулятом, кілограм коштує понад 4 євро. За ними йдуть MD, який коштує приблизно 2 євро/кг, і AD, який коштує від 1 до 1,5 євро/кг. Хоча одиниця має понад сотню посилань, основні продукти показані в таблиці 1.

Ця промислова установка складається з трьох ліній подрібнення, двох ліній повторної обробки та лінії повторного подрібнення.

Усі лінії подрібнення та переробки отримують сировину, і головною відмінністю між ними є наявність чи відсутність машини, яка називається дробаркою, яка дозволяє грубіше подрібнювати відходи та пробки. Лінії переробки починаються з уже подрібненої сировини або з матеріалу, що

надходить із розмелювальних ліній. Лінія повторного подрібнення є меншою лінією, яка працює як доповнення до деяких інших ліній і є єдиною, яка не може приймати сировину.

Таблиця 1.1 – Основні продукти дільниці

Код	Клас щільності	Гранулометрія [мм]	Питома вага [кг/м3]
BD 0,5/1	Низький	0,5 - 1,0	55 - 75
BD 1/2	Низький	1,0 - 2,0	56 - 75
BD 2/3	Низький	2,0 - 3,0	57 - 75
BD 3/4	Низький	3,0 - 4,0	58 - 75
BD 4/5	Низький	4,0 - 5,0	59 - 75
MD 0,5/1	Середній	0,5 - 1,0	75 - 90
MD 1/2	Середній	1,0 - 2,0	76 - 90
AD 0,5/1	Високий	0,5 - 1,0	100 - 120
AD 1/2	Високий	1,0 - 2,0	100 - 120
AD 2/3	Високий	2,0 - 3,0	101 - 120

Лінія Grinding #1 отримує сировину, і в кінці перетворення отримані гранули можуть бути використані для постачання інших промислових установок або для продажу та можуть або не можуть бути додатково висушені, залежно від специфікації продукту.

Матеріал, який не відповідає необхідним вимогам гранулометрії, може продовжити свій шлях подрібнення на лініях повторної обробки №1 або повторного подрібнення. Лінії Grinding #2 і Grinding #3 є меншими лініями, які безпосередньо обслуговують лише інші промислові установки. Однак лінію шліфування №3 можна підключити до ліній повторної обробки №1 і

повторної обробки №2, а лінію шліфування №2 можна надсилати до лінії повторної обробки №2. Ці лінії переробки можуть переходити до пакування та зовнішніх продажів. Таким чином, лінії подрібнення № 2 і № 3 не можуть переходити безпосередньо до упаковки, але частина потоку, яка йде на лінії повторної обробки, може.

Нарешті, залишається лише згадати, що лінія повторного подрібнення виконує додаткове подрібнення до ліній Шліфування №1, Повторної обробки №1 і Повторної обробки №2.

Операції промислового підрозділу GMT є складними, оскільки можлива велика різноманітність маршрутів, що призводить до кількох конфігурацій на лініях. Блок-схему на рис. 2.1 було розроблено для легшого розуміння роботи пристрою.

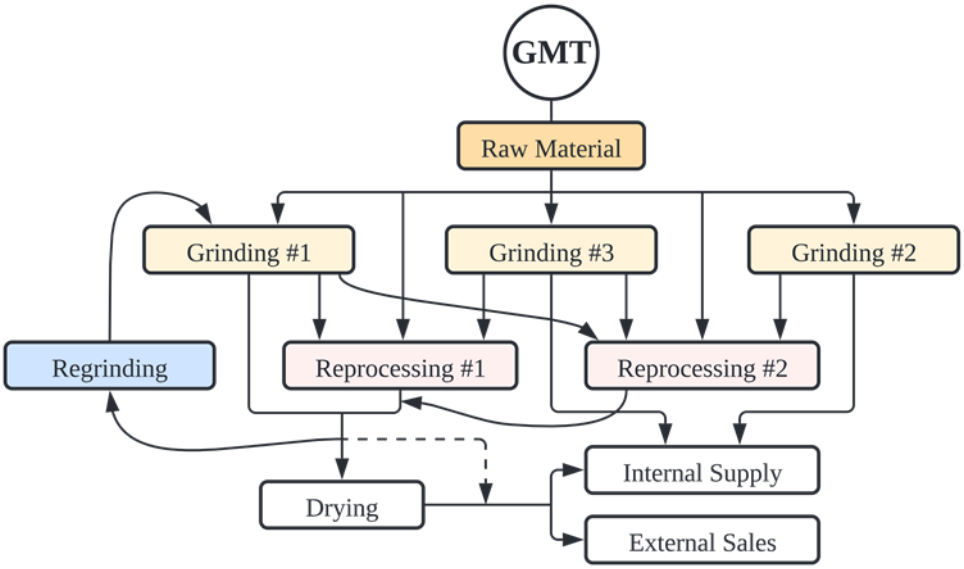


Рисунок 2.1 – Взаємозв’язки виробничих ліній

Шліфувальні лінії відрізняються кількістю верстатів і потужністю обробки. Однак, з точки зору процесу, вони дуже схожі, оскільки подрібнення №1 є найскладнішим, а подрібнення №3 найпростішим. В операціях подрібнення задіяно різне обладнання:

- Дробарка: відповідає за перше грубе подрібнення сировини.

- Просіювач: відокремлює пробковий потік відповідно до його гранулометрії, видаляючи небажаний матеріал.
- Розширювальний бак: це обладнання спеціально розроблене для цього застосування та має функцію розширення пробки з метою підвищення прибутковості процесу шляхом додавання високої температура пари до пробки.
- Ротаційна сушарка: використовується для видалення вологи з пробкового потоку в кінці РОР до прийнятних значень вологості.
- Ножовий млин: відповідає за подрібнення пробки до меншого розміру.
- Гіраторне сито: має ту саму функцію, що й сито, розділяти потік пробки відповідно до розміру зерна. Однак це забезпечує більш точне розділення з більшим гранулометричним діапазоном. Пробка, гранулометрія якої перевищує максимальний стандарт, буде повторно оброблена, а пробка, яка нижче мінімального стандарту, буде відбракована для печі для виробництва енергії як біомаса.
- Гравітаційний сепаратор: розділяє пробку відповідно до її щільності. Якщо на цій стадії процесу пробку відбраковують, її відправляють на повторну переробку, за винятком випадків, коли вона має таку щільність, що застосування неможливе, і в цьому випадку вона буде відбракована для біомаси.

На рис. 2.2 показана блок-схема процесу подрібнення від моменту завантаження сировини у вібраційний конвеєр до її кінцевого стану, де гранули пробки розділені за розміром і щільністю.

Процес повторної обробки показано на рис. 2.3. Він включає загальне обладнання для процесу подрібнення з додатковим обладнанням, перерахованим нижче:

- Противідбірний млин: високопродуктивний ножовий млин, здатний виробляти ультрадрібні порошки.

• Ударний млин: має ту саму функцію, що й два попередні млини, гранулометричне дроблення. Однак він забезпечує більш тонкий помел, отримуючи ще менший розмір зерна.

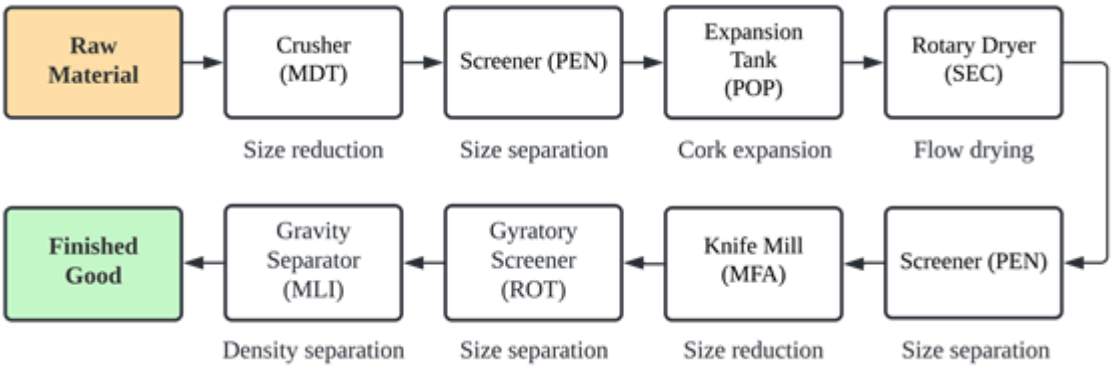


Рисунок 2.2 – Блок-схема процесу

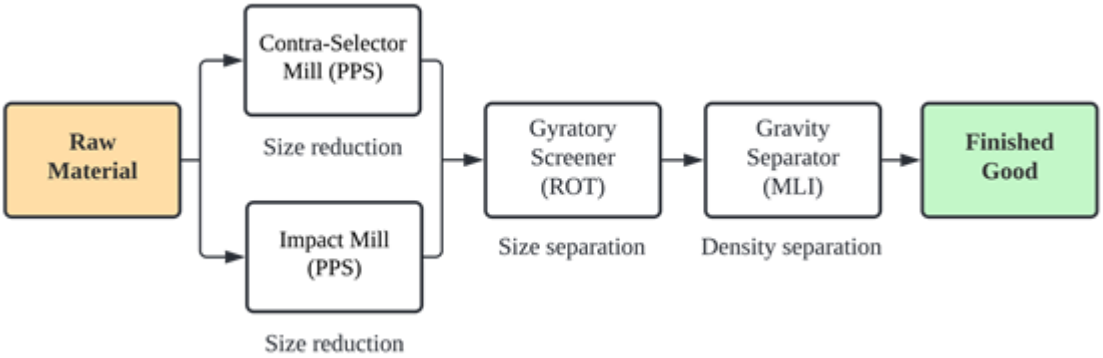


Рисунок 2.3 – Блок-схема процесу повторної обробки

Лінія повторного подрібнення, показана на рис. 2.4, має лише два різні комплекти обладнання: ударні млини (MLI) та гіраційні просіювачі (ROT).

Що стосується транспортування між обладнанням або між промисловими одиницями, існує три можливості:

• Вакуумний конвеєр: передає потік через низку труб, які транспортують гранулят шляхом аспірації. Цей тип конвеєра потребує, окрім трубопроводу, бункера, поворотного клапана, який регулює кількість матеріалу, який потрібно транспортувати, вакуумного насоса,

відповідального за всмоктування, фільтра, який гарантує, що домішки не потрапляють у вакуумний насос, і циклонний сепаратор, відповідальний за розділення потоку і транспортуючого повітря.

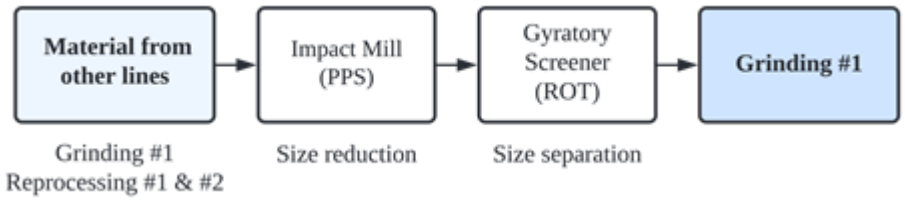


Рисунок 2.4 – Блок-схема процесу повторного подрібнення

• Гвинтовий конвеєр: транспортує потік через ряд трубопроводів, які транспортують гранулят через шнек, який, обертаючись навколо себе, змушує потік рухатися лінійно відносно гвинтового конвеєра. Цей тип рішення, по суті, є гвинтом Архімеда і може бути розроблений для транспортування горизонтально, вертикально, а також по похилих трубах.

• Гравітаційний конвеєр: цей вид транспорту відбувається під дією сили тяжіння, не потребує енергії і, отже, є найбільш економічним видом транспортування.

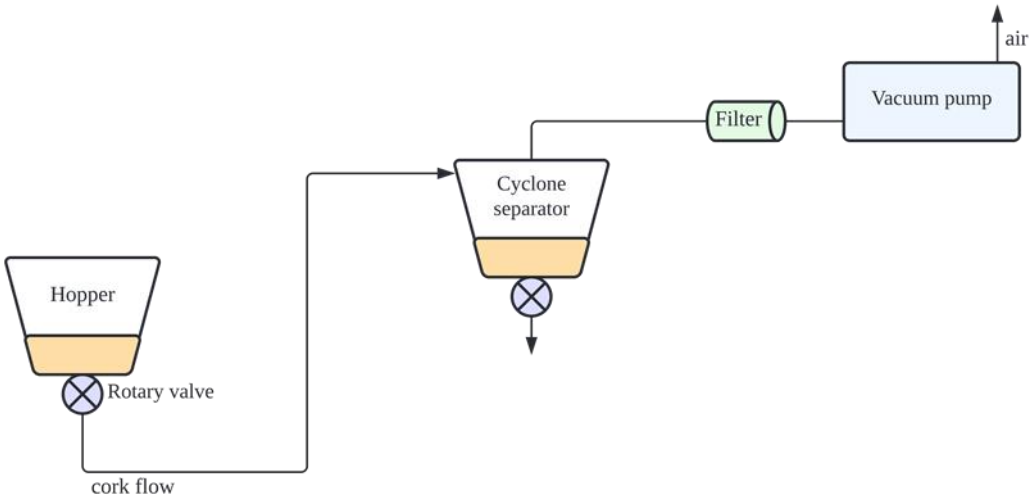


Рисунок 2.5 – Ілюстрація вакуумного конвеєра

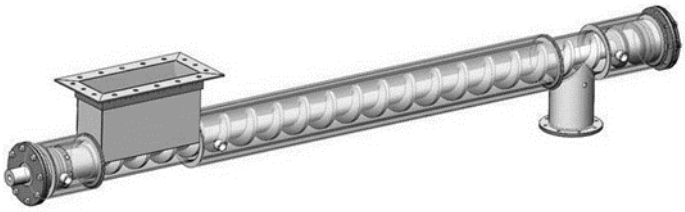


Рисунок 2.6 – Ілюстрація шнекового конвеєра

Дані стають все більш цінним активом, і, якщо правильно їх використовувати, вони дозволяють досягти рівня ефективності та організаційної зрілості. Тому дуже важливо серйозно ставитися до даних. Нинішня компанія свого часу зрозуміла цю реальність і за останні роки досягла значного прогресу в цьому відношенні. Цифровізація компанії стала стратегічною метою, починаючи з впровадження системи MES і ERP-системи, тобто двох верхніх рівнів піраміди автоматизації, згаданої в попередньому розділі. ERP-система забезпечує об’єднання всіх процесів в єдину систему, а управління виробничими операціями централізоване в MES. Сьогодні ці системи незамінні, серед іншого, для керування замовленнями, постачальниками, запасами та замовленнями на виробництво. Що стосується нижчих рівнів цифрової ієрархії, зрілість промислових одиниць не завжди однакова, причому деякі більш автоматизовані та оцифровані, ніж інші. Цей аспект залежить головним чином від різноманіття віку існуючого обладнання, а також від різного ступеня складності.

Що стосується промислового підрозділу GMT, на якому зосереджений цей проект, рівень цифрової зрілості відносно низький і нижчий від бажаного. Генерація інформації сягає корінням на заводі, у шарі фізичних елементів на землі. На цьому рівні є деякі датчики та виконавчі механізми, необхідні для виробничого процесу. Однак між ними немає зв’язку, існує лише видимість на кожному HMI і виключно щодо частини виробничої лінії, якою керує такий HMI.

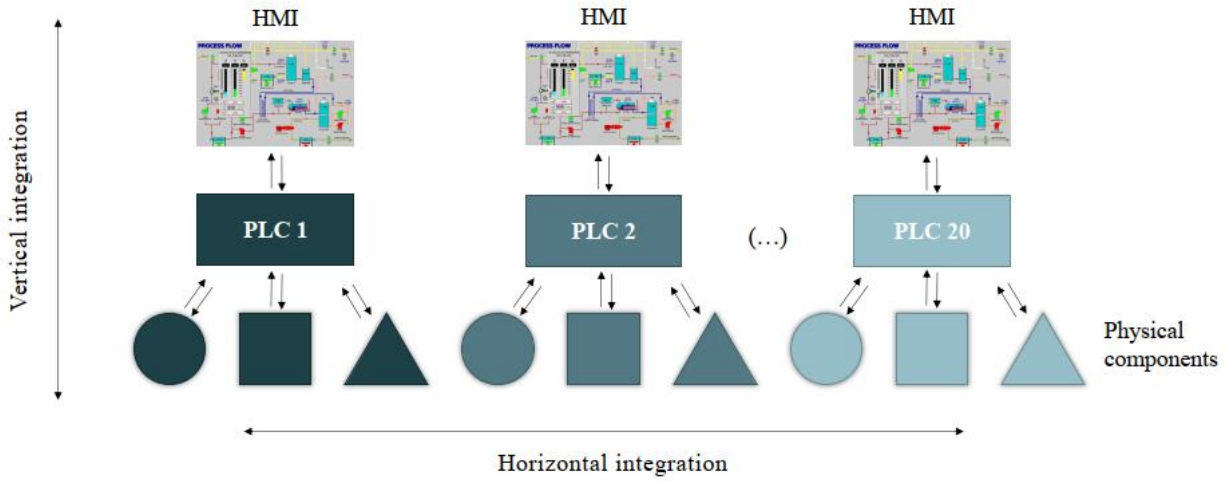


Рисунок 2.6 – Діаграма автоматизації

Не всі HMI однакові або мають однакові функції. Деякі дуже застарілі та не відображають робочий процес, що може призвести до низької продуктивності та заплутаного процесу для операторів, які ними керують. Оператори та технічне обслуговування часто скаржаться на помилки в їх роботі. Важливо також відзначити, що більшість операцій на заводі виконують машини, які повинні працювати в автоматичному режимі. Однак є багато операторів, які вважають за краще працювати з лінією в «ручному» режимі, і коли це відбувається, керівники не повідомляються.

Наразі, окрім того факту, що немає зв’язку між машинами та системи нагляду за всім процесом, немає збору даних або запису про несправності. Іншими словами, невідомо, або, принаймні, немає реєстрації, які машини працювали та о котрій годині, або робочі параметри, встановлені під час їх роботи. Також немає історичних даних щодо тривог, що є критичним аспектом, коли мова заходить про оцінку політики обслуговування. Слід зазначити, що за перші два з половиною місяці стажування (53 робочі дні) було зафіксовано 117 незапланованих поломок, тобто в середньому 2,2 несподівані зупинки на день.

Оскільки операції промислового блоку практично всі виконуються машинами, SCADA, що завершує піраміду автоматизації, дозволить промисловому блоку функціонувати набагато більш автономно. Рисунок 2.7 представляє поточний і бажаний стани піраміди автоматизації. На схемі ліворуч представлені існуючі системи ERP (рівень 4) і MES (рівень 3), а також ПЛК (рівень 1) і фізичні елементи цеху (рівень 0). У той же час, на малюнку праворуч показано бажану структуру з відсутньою системою SCADA (рівень 2).

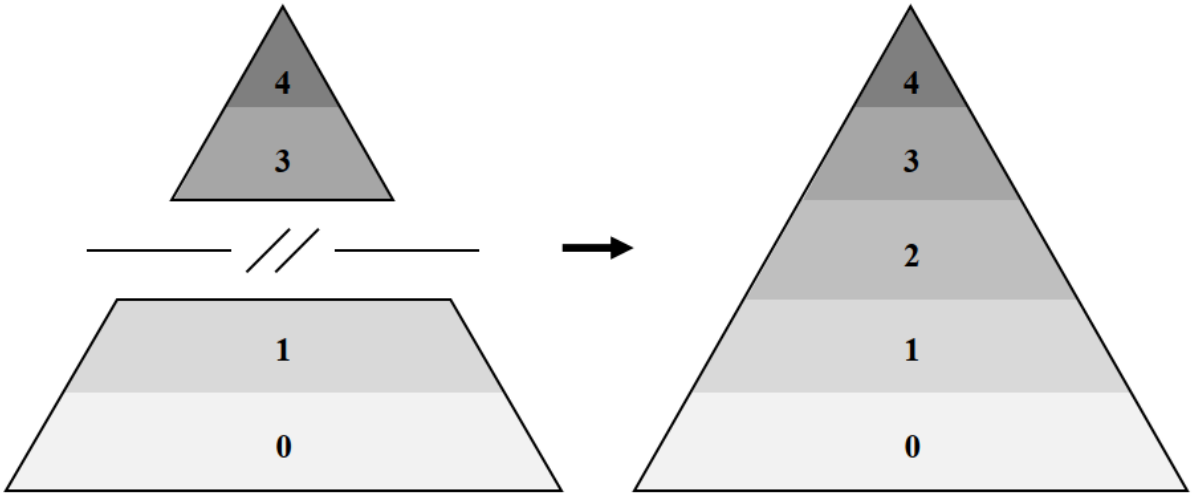


Рисунок 2.7 – поточна (ліворуч) і бажана (праворуч) піраміда CIM

Крім підвищення продуктивності, огляд заводу в поєднанні з розширеною аналітикою технічного обслуговування на основі зібраних даних, безумовно, сприятиме більшій доступності обладнання, значно полегшуючи роботу групи технічного обслуговування, яка зараз працює в основному коригуюче або відповідно до відносно нескладної політики профілактичного обслуговування.

Робота заводу переважно автоматизована. За винятком завантаження сировини (через екскаватори-навантажувачі), пакування та інших логістичних операцій, експедиції готового продукту, очищення вертикальних

сушарок (щоразу, коли потрібно змінити продукт, який потрібно висушити), і зміни положення вкладки MLI , всі інші операції виконуються автоматично.

Коли піраміда автоматизації буде повністю досягнута, після перевірки замовлення в ERP можна буде запустити виробниче замовлення, а SCADA автоматично забезпечить виробництво. SCADA ініціює правильні шляхи, правильно регулюючи машини, запускаючи їх у належний час і інструктуючи операторів щодо їхніх відповідних завдань. Таким чином, вузькі місця зведені до мінімуму, оскільки всі рішення приймаються централізовано системою, яка має цілісне уявлення про процес, і оператори можуть зосередитися на функціях технічного обслуговування обладнання та гарантії того, що машини знаходяться в хорошому стані, визнаючи, що автоматизований виробничий процес можна досягти значно вищого рівня продуктивності.

В даний час на промислових установках, оскільки існує багато можливих альтернативних шляхів між різними лініями, іноді важко пояснити втрати в результаті зупинки обладнання, оскільки потік пробки швидко перенаправляється в інший бік, або навіть кінцевий продукт змінено через неочікувану ситуацію. Наприкінці тижня, якщо запланований графік виконано, виникає відчуття, що жодних проблем не виникло або, принаймні, немає очевидної потреби змінювати поточний стан речей.

Планування виробництва здійснюється на основі отриманих замовлень і припущень, у цьому випадку, що промислові показники будуть такими ж, як і в минулому, що робить план дуже досяжним у більшості ситуацій. Однак завод повинен прагнути виробляти більш ефективно, щоб створити необхідні умови, щоб реагувати на можливе збільшення попиту та швидше реагувати на замовлення. Одне здається напевним; бізнес розвиватиметься лише тоді, коли буде можливість виробляти більше. Тому важливо створити такий виробничий потенціал, щоб уникнути стагнації бізнесу, спричиненої промисловими обмеженнями.

Проект SCADA являє собою значну трансформацію промислового блоку і не буде завершено на цьому етапі. Процес впровадження буде динамічним із послідовними ітераціями, доки не буде отримано остаточну або достатньо повну версію. Тому це буде процес, який за часом не збігається з тривалістю стажування. Тому не буде кінцевого продукту, а набір внесків, необхідних на даний момент для його реалізації.

Перший крок, коли йдеться про оцифровування та централізацію інформації, — перевірити, чи зібрані дані правдиві. Для цього необхідно виконати практичну роботу на заводі, досліджуючи та перевіряючи один за одним сигнали, що передаються. Ця перевірка проходить через перевірку адреси кожного сигналу, перевірку стану кожного сигналу, перевірку на рівні поля та перевірку входу HMI. Результатом цієї роботи стане документ з усіма сигналами та необхідною інформацією для програмістів SCADA для живлення системи.

Окрім цього простого, але необхідного завдання для впровадження SCADA, цей проект стажування включатиме розуміння потреб промислового підрозділу та визначення функціональних вимог системи. Ця робота передбачає в першу чергу зрозуміти процеси та інформацію, яку зараз можна зібрати з заводу, як з точки зору виробництва, так і з точки зору обслуговування. На додаток до цієї незібраної інформації також буде проведено дослідження додаткових датчиків для додавання до існуючих, щоб отримати видимість стану обладнання, технічного обслуговування на основі стану та виробничих параметрів.

3 КОСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

3.1 Методологія оптимізації виробництва

Першим кроком було визначення глобальної архітектури та вибір програмного забезпечення системи. Після цього необхідно було почати з огляду існуючої інфраструктури автоматизації на промисловому підприємстві, щоб визначити можливі потреби в нових пристроях. Велику, детальну роботу було проведено в цеху, щоб визначити наявні сигнали на одній із виробничих ліній і згодом перевірити їх. Паралельно було розроблено дослідження найбільш відповідальних елементів промислового блоку. Іншими словами, було визначено обладнання, до якого було б доцільніше додати датчики для отримання видимості їх стану. Коли це критичне обладнання було знайдено, наступним кроком був вибір типу датчиків, які найкраще підходять для конкретного сценарію. На цьому етапі були проведені зустрічі з потенційними постачальниками обладнання.

Крім того, було також визначено необхідність розгляду інших типів датчиків для встановлення в менш критичних елементах, але з наслідками на рівні навколишнього середовища. Також було визначено компоновку та стандартні функціональні можливості для майбутніх HMI промислового блоку. Ця проблема, про яку повідомила команда технічного обслуговування та оператори, уже згадувалась у попередньому розділі. Нарешті, щоб не втратити всі знання та ідеї, які виникли під час стажування, був підготовлений документ з інформаційною характеристикою та функціональними вимогами першої версії системи SCADA, а також пропозиції щодо майбутніх фізичних елементів та ітерацій система.

Таким чином це був внесок у більш тривалий процес, який представляє величезний трансформаційний потенціал для промислової одиниці.

Вибір майбутньої архітектури та програмного забезпечення

Як було показано в попередньому розділі, піраміда автоматизації, яка зараз представлена в GMT, є неповною, оскільки немає системи, здатної контролювати стан виробничого процесу та керувати різними промисловими засобами керування в режимі реального часу, можливий лише HMI за HMI. видимість. Щоб досягти так бажаної видимості в реальному часі, на початковому етапі по всій виробничій лінії, а в майбутньому, по всій промисловій установці, необхідно впровадити SCADA. Ця система забезпечить візуалізацію виробничих процесів у режимі реального часу та запис технологічних даних і сигналів тривоги в бази даних. За допомогою цих даних у майбутньому можна буде розраховувати показники, такі як ті, що представлені в розділі 2, і виконувати розширену аналітику змінних процесу не лише з точки зору виробництва, але й технічного обслуговування.

Відповідно до запропонованої архітектури, фізичні елементи спілкуватимуться з ПЛК, який, у свою чергу, спілкується з сервером OPC (OPC-UA) – широко поширеним промисловим протоколом зв'язку клієнт/сервер, який дозволяє обмінюватися даними між пристроями різних виробників і програмами керування без будь-яких обмежень власності. SCADA, у свою чергу, буде інтегрована у верхні рівні піраміди автоматизації (ERP і MES). Запропонована архітектура схематично представлена на рис. 3.1, і можна переконатися, що вона забезпечить вертикальну та горизонтальну інтеграцію інформації в промисловому підрозділі, гарантуючи видимість і знання про процеси.

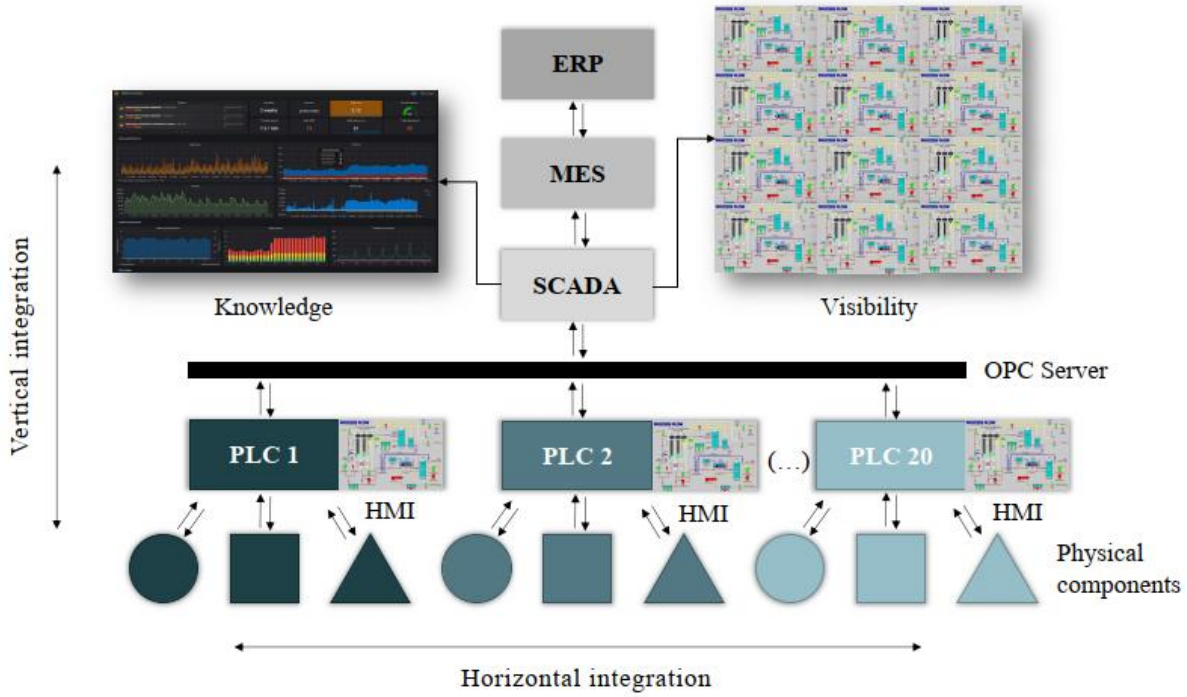


Рисунок 3.1 – Пропонована цифрова архітектура для GMT

Що стосується вибору програмного забезпечення, то на ринку було визначено 3 різні рішення, а саме: Siemens - WinCC, AVEVA - InTouch і JCE - MultiDos. Проаналізувавши умови кожного з них, вибір зупинився на AVEVA - InTouch. Аспекти, які спонукали до цього рішення, були в основному наступні: Пропозиція, представлена JCE з її програмним забезпеченням MultiDos, хоча й була досить цікавою, була відхилена, оскільки компанія не є глобальною, і програмне забезпечення не могло гарантувати безперервність, враховуючи період у 10 років. Рішення між Siemens - WinCC і AVEVA - In Touch було зумовлене іншими причинами. Обидва пропонують повні продукти та дуже схожі за своїми функціями та універсальністю. Вирішальною була, з одного боку, ціна, а з іншого – наявність португальського постачальника, сертифікованого AVEVA, який гарантує обслуговування та швидке обслуговування. Крім того, керівник проекту вже працював з цим провайдером і підтримує хороші професійні відносини з компанією.

Аналіз зрілості існуючих комунікацій

Після визначення архітектури та вибору програмного забезпечення для системи проект перейшов до більш експериментальної стадії в цеху, аналізуючи з'єднання електричних панелей керування, щоб зрозуміти, чи існують умови для гарантованого зв'язку з системою. реалізовано.

Першою лінією, обраною для початку проекту, була лінія Grinding #1, оскільки це найбільша та найважливіша лінія GMT. Після опитування було підтверджено, що він не має необхідної зрілості для зв'язку зі SCADA, тому потрібно було замовити новіші компоненти з підтримкою зв'язку Ethernet. Відновлення, ідентифіковані для 4 існуючих дощок, показано в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Ревіталізація лінії шліфування №1

Panel 345	96 digital inputs 80 PNP outputs 4 universal analog inputs 1 Ethernet I/P port 1 RS232 port 240VAC CPU power supply	**Panel 327_1**	96 digital inputs 80 PNP outputs 1 Ethernet I/P port 1 RS232 port 240VAC CPU power supply
Panel 327_2	96 digital inputs 80 PNP outputs 1 Ethernet I/P port 1 RS232 port 240VAC CPU power supply	**Panel 327_3**	96 digital inputs 80 PNP outputs 1 Ethernet I/P port 1 RS232 port 240VAC CPU power supply

Замовлення було розміщено, орієнтовний термін доставки становив 27 тижнів. Тому, оскільки наміром було оцифрувати весь завод, було вирішено

продовжити проект, проаналізувавши іншу лінію, щоб забезпечити безперервність роботи.

Таку саму процедуру було виконано на лінії Reprocessing #1, і виявлена ситуація була набагато перспективнішою. Ця лінія складається з новіших ПЛК із зв'язком Ethernet, тож можна було перейти до наступного кроку. Цей етап складався з ідентифікації всіх сигналів і проведення їх вичерпної перевірки, щоб гарантувати, що вся інформація, передана на верхній рівень, є правдивою.

Опитування та перевірка сигналу в лінії повторної обробки №1

Враховуючи обмеження, виявлені в рядку Grinding #1, процес почався з перерахування всіх сигналів, згенерованих у рядку Reprocessing #1. Після того, як цей список було укладено, почалася перевірка сигналів, тобто перевірка їхньої адреси, перевірка того, чи отримана інформація перевірена на практиці в цеху, і чи змінює статус сигналу, коли він змінюється. Було також перевірено, чи інформація, отримана в HMI, була узгоджена з інформацією ПЛК. Було зроблено перегляд кожного опису сигналу, оскільки вони не дотримувалися єдиної термінології, і багато разів було неможливо зрозуміти їх значення.

Важливо зазначити, що, незважаючи на те, що це відносно просте завдання, це абсолютно необхідно на цьому ранньому етапі проекту, оскільки немає сенсу мати систему контролю та збору даних, якщо немає повної впевненості в зібраних даних.

Процес опитування та верифікації сигналів був великим (близько 460 сигналів на лінії переробки №1), і перевірку можна було виконувати лише під час зупинок лінії. Оскільки це промислова установка, яка працює в безперервному режимі, в 3 добові зміни по 7,5 годин кожна, перевірка сигналів була можлива лише під час зміни змін або поломок.

На наведеній нижче блок-схемі показаний процес опитування та перевірки сигналу в наступному хронологічному порядку, кульмінацією

якого стане розробка документа Microsoft Excel (рис. 3.2), який буде наданий організації, яка впроваджуватиме SCADA.

100% View only

A1:A2 'REV.

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q
1		H LEVELS															
2	REV.	H1	H2	H3	H4	PAV.	CABINET	IP ADDRESS	NETWORK SWITCH BOX	DEVICE BRAND	DEVICE MODEL	DEVICE CPU/REF	IO CARD REF	IO CARD (DI/DO/AO)	PLC SLOT	IO NUMBER	TAG
3	1	GMT	REP1	ENTRADA	TSF	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	8	in_M1_Avaria
4	1	GMT	REP1	ENTRADA	TSF	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	9	in_M2_Avaria
5	1	GMT	REP1	ENTRADA	VIB	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	10	in_M3_Avaria
6	1	GMT	REP1	ENTRADA	VIB	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	11	in_M4_Avaria
7	1	GMT	REP1	MFA	ECL	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	12	in_M5_Avaria
8	1	GMT	REP1	MFA	SEP. MAG.	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	13	in_M6_Avaria
9	1	GMT	REP1	MFA	VIB	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	14	in_M7_Avaria
10	1	GMT	REP1	MFA	VIB	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	15	in_M8_Avaria
11	1	GMT	REP1	MFA	CRIVO	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	16	in_M9_Avaria
12	1	GMT	REP1	MFA	ROTOR	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	17	in_M10_Avaria
13	1	GMT	REP1	SILOS	ECL	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	18	in_M11_Avaria
14	1	GMT	REP1	SILOS	ECL	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	19	in_M12_Avaria
15	1	GMT	REP1	ROTEXs	ECL	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	20	in_M13_Avaria
16	1	GMT	REP1	ROTEXs	ECL	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	21	in_M14_Avaria
17	1	GMT	REP1	ROTEXs	ECL	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	22	in_M15_Avaria
18	1	GMT	REP1	SILOS	TSF	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	23	in_M16_Avaria
19	1	GMT	REP1	SILOS	AGI	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	24	in_M17_Avaria
20	1	GMT	REP1	SILOS	TSF	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	25	in_M18_Avaria
21	1	GMT	REP1	SILOS	AGI	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	26	in_M19_Avaria
22	1	GMT	REP1	SILOS	VIB	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	27	in_M20_Avaria
23	1	GMT	REP1	MIMs	ECL	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	28	in_M21_Avaria
24	1	GMT	REP1	ROTEXs	TSF	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	29	in_M22_Avaria
25	1	GMT	REP1	ROTEXs	TSF	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	30	in_M23_Avaria
26	1	GMT	REP1	ROTEXs	ROT	1	253 (Module 1)	172.29.65.151	E	OMRON	CJ2M	CPU34	ID262	DI	3	31	in_M24_Avaria

Рисунок 3.2 – Параметри системи для інтерграції в СКАДА

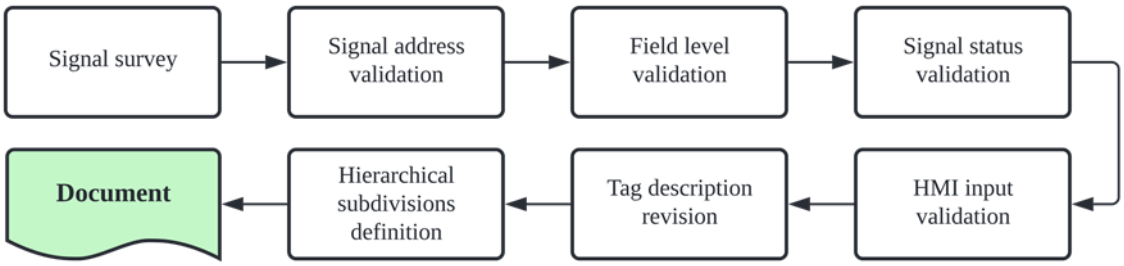


Рисунок 3.3 – Опитування сигналу та процес верифікації

- Огляд сигналів: ідентифікація всіх існуючих сигналів на лінії переробки №1, приблизно 460;
- Перевірка адреси сигналу: перевірка того, чи кожен сигнал уздовж лінії справді надходить із зазначеної адреси;
- Перевірка на польовому рівні: перевірка на цеху того, що інформація, яка передається, ефективно перевірена;
- Перевірка статусу сигналу: специфікація різних станів кожного сигналу відповідно до того, що перевірено на практиці;

- Перевірка вхідних даних HMI: перевірка правдивості інформації, яка надходить на HMI.
- Перегляд опису тегу: перегляд опису кожного сигналу відповідно до однієї метрики. Передбачається, що описи є зв’язними та легкими для розуміння;
- Ієрархічні підрозділи: характеризують кожен сигнал відповідно до 4 ієрархічних рівнів (H рівнів). Мета полягає в тому, щоб у майбутньому зробити можливим аналіз процесів у цих вимірах: за промисловою одиницею, за виробничою лінією, за секцією та за обладнанням. Для цього було зроблено поділ лінії Reprocessing #1 відповідно до розробленого масштабованого критерію, щоб його можна було відтворити на інших виробничих лініях. Встановлений критерій для цього поділу полягає в тому, що кожна секція повинна бути пов’язана з чітко визначеною операцією, як це частково видно на рис. 3.4.

Генерація нових сигналів на основі існуючих

Під час опитування та перевірки сигналів було виявлено, що для одного компонента в кількох випадках було 2 сигнали. Це стосувалося елементів з 2 можливими положеннями, таких як гільйотини та перекидні клапани. Однак інформація з 2 сигналів ніколи не була пов’язана, тому можливість збільшення знань про обладнання було втрачено. Таким чином, новий сигнал був доданий для кожного компонента з використанням 2 початкових сигналів.

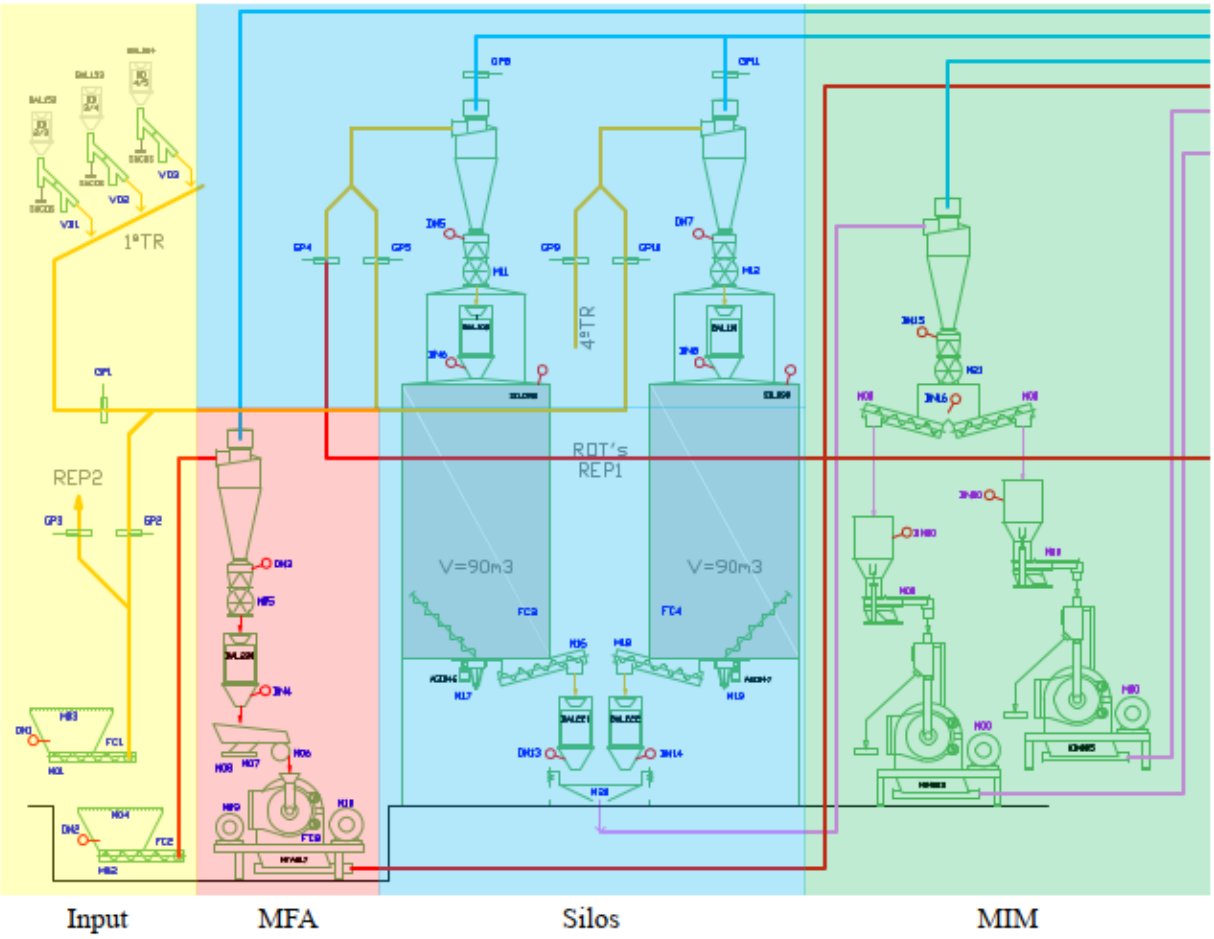
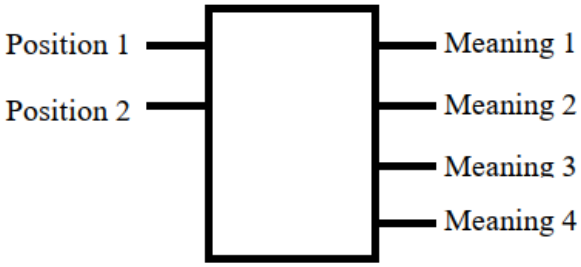


Рисунок 3.4 – Приклад визначених підрозділів лінії



Position 1	Position 2	Meaning
True (1)	False (0)	Position 1
False (0)	True (1)	Position 2
False (0)	False (0)	In movement
True (1)	True (1)	Impossible

Рисунок 3.5 – Ілюстрація нових сигналів

Якщо Позиція 1 істинна, а Позиція 2 — хибна, немає сумнівів, що пристрій знаходиться в Позиції 1. Якщо Позиція 1 — хибна, а Позиція 2 — істинна, немає сумнівів, що пристрій знаходиться в Позиції 2. Якщо обидва — хибні , компонент змінює положення або застряг між двома положеннями.

Вимірювання часу комутації між двома положеннями може бути дуже корисним. Якщо цей час збільшується, це може свідчити про початок потенційного збою, і мати його видимість перед можливим блокуванням буде дуже цінним. Якщо обидва положення вірні, є помилка, оскільки це фізично неможливо, і один із датчиків може бути несправним.

Документ - перевірений список сигналів

Огляд сигналу та робота з перевірки задокументовані в таблиці Microsoft Excel, у якій різні сигнали (близько 460) розглядаються по осі абсцис і ординат, 53 поля, які повинні бути заповнені. Розглянуті поля стосуються різноманітної інформації, деякі стосуються характеристики сигналу та інші щодо передбачуваних технічних специфікацій.

Перші 20 полів стосуються розташування, обладнання та опису кожного сигналу. Наступні 20 стосуються опису стану кожного сигналу та того, чи слід їх зберігати в списку подій і тривог. Слід зазначити, що більшість сигналів є простими і, отже, двійковими, їм потрібно призначати лише статуси 0 і 1. Навпаки, «нові» сигнали, продукт перехресної інформації, описаної раніше, є подвійними та мають 4 різні статуси. Є також поля для запису відповідних систем, до яких ця інформація стосується (HMI на цеху та SCADA), і, нарешті, поля, які потрібно заповнити під час перевірки. 53 поля, які потрібно заповнити для кожного сигналу, можна побачити на рис. 3.6.

4.4 Вивчення фізичних елементів, які будуть додані до лінії

Іншою метою цього проекту було вивчення можливості додавання датчиків до існуючих фізичних елементів для покращення видимості виробничої лінії. Це дослідження було зосереджено на 2 вимірах, виробництві та технічному обслуговуванні, і було записано у згаданому раніше документі як пропозиції щодо майбутнього процесу цифровізації GMT. Слід зазначити, що реалізація цих пропозицій є наміром промислового підрозділу. Але вони передбачають придбання нового обладнання та подальшу ревізію системи.

H LEVELS				PAVILLON	CABINET	IP ADDRESS	NETWORK SWITCH BOX	DEVICE BRAND	DEVICE MODEL	DEVICE CPU / REF
H1 INDUSTRIAL AREA	H2 LINE	H3 SECTOR	H4 EQUIPMENT							
IO CARD REF	IO CARD (DI/DO/AO)	PLC SLOT	IO NUMBER	TAG	TAG ADDRESS	OLD DESCRIPTION	DESCRIPTION	DESCRIPTION LENGTH	TYPE SIMPLE / DOUBLE	DATA SOURCE (SENSOR/PLC)

STATUS 0					STATUS 1				
DESCRIPTION	EVENT (Yes - 1 / No - 0)	ALARM (Yes - 1 / No - 0)	ALARM PRIORITY (1...255)	ALARM DELAY (Seconds)	DESCRIPTION	EVENT (Yes - 1 / No - 0)	ALARM (Yes - 1 / No - 0)	ALARM PRIORITY (Not Critic - 60 / Critic - 120)	ALARM DELAY (Seconds)

STATUS 2					STATUS 3				
DESCRIPTION	EVENT (Yes - 1 / No - 0)	ALARM (Yes - 1 / No - 0)	ALARM PRIORITY (Not Critic - 60 / Critic - 120)	ALARM DELAY (Seconds)	DESCRIPTION	EVENT (Yes - 1 / No - 0)	ALARM (Yes - 1 / No - 0)	ALARM PRIORITY (Not Critic - 60 / Critic - 120)	ALARM DELAY (Seconds)

LOCAL			SCADA				LOCAL TEST		SCADA TEST	
ALARM LIST (Yes - 1 / No - 0)	EVENT LIST (Yes - 1 / No - 0)	HMI (Yes - 1 / No - 0)	ALARM LIST (Yes - 1 / No - 0)	EVENT LIST (Yes - 1 / No - 0)	HMI (Yes - 1 / No - 0)	HISTORY (Yes - 1 / No - 0)	RESULT (OK - 1 / NOK - 0)	NOTES	RESULT (OK - 1 / NOK - 0)	NOTES

рисунок 3.6 – Символи, що використовуютья для зображення

Технічне обслуговування

Як згадувалося раніше, технічне обслуговування було одним із головних напрямків цього проекту не лише тому, що є резерв для мінімізації витрат, але й тому, що можна покращити доступність обладнання та, як наслідок, використання лінії. Практичний випадок представлений для наочності:

У квітні була зареєстрована поломка ХВБ через знос і, як наслідок, поломку гвинтових підшипників. Початкова несправність посилилася, оскільки обладнання продовжувало працювати з контактом гвинта з трубопроводом ХВЯП, що призвело до розриву цього трубопроводу. Підрозділ зрозумів, що відбувається, лише коли матеріал перестав надходити туди, куди мав. Ця поломка призвела до витрат на ремонт у розмірі 7000 євро, тоді як заміна втулок підшипників, які спричинили проблему, коштувала б лише приблизно 500 євро. Поломка призвела до зупинки РОР у подрібненні №1 на один тиждень під час ремонту TSF, що призвело до

збитків, оцінених приблизно в 30 000 євро. Якби був датчик, який би заздалегідь ідентифікував аномальну роботу, не було б перерви у виробництві, і ремонт вартістю 7000 євро не був би потрібним; все, що було б потрібно, це заміна підшипників вартістю 500 євро. Підсумовуючи, це дозволило б уникнути витрат у розмірі близько 36 500 євро на технічне обслуговування та альтернативних витрат.

Цей практичний приклад, як можна побачити в таблиці 4, ілюструє реальну ситуацію, якої можна було б уникнути шляхом впровадження датчиків для підвищення видимості процесу. Звичайно, не всі сценарії мають однакові наслідки, тому було зрозуміло, що ми повинні вивчити найважливіші елементи, на які ми повинні орієнтувати дослідження сенсорики.

Зважаючи на брак даних, дослідження критичних елементів проводилось за якісним підходом. Хоча це не найсуворіший спосіб продовження, оскільки він залежить від критичного судження особи, яка проводить аналіз, це була єдина можлива оцінка через відсутність минулих даних. Очікується, що з реєстрацією даних, отриманих у результаті оцифровки блоку, у майбутньому можна буде зробити набагато точнішу оцінку щодо доступності обладнання та часу простою збоїв.

У таблиці 5 наведено критерії, які використовуються для визначення рівнів серйозності відмов у різному обладнанні, варіюючи від A (найсерйозніший) до D (найменш серйозний). Аналіз наслідків у разі відмови проводився з урахуванням шести параметрів: безпеки, якості, доступності, впливу на навколишнє середовище, відмови, простою та вартості.

Щоб призначити класифікацію щодо наслідків відмови, можна було приписати вагу кожному фактору. Кінцева оцінка результату залежатиме від ваги кожного виміру.

Таблиця 3.2 – Критерії рівнів серйозності для кожного розглянутого виміру

Наслідок	А	Б	С	Д
Безпека	Високий ризик	Середній ризик	Низький ризик	Незначний ризик
Якість	Серйозно впливає на кінцевий продукт або продуктивність заводу	Впливає на кінцевий продукт або продуктивність заводу	Незначно впливає на продуктивність продукту або рослини	Незначний вплив на продуктивність продукту або рослини
Доступність	Працює 24 години на добу	Працює від 16 до 24 годин на добу	Працює від 8 до 16 годин на добу	Працює менше 8 годин на день
Час простою через збій	Час простою через відмову понад 5 день	Час простою через відмову понад 1 день	Час простою через відмову понад 2 години	Час простою через відмову менше ніж 2 години
Вплив на навколишнє середовище	Сильний вплив	Середній вплив	Низький вплив	Незначний вплив
Вартість	Більше 2500 євро	Від 500 до 2500 євро	Від 150 до 500 євро	Менше 150 євро

Однак в іншому промисловому підрозділі компанії під час переходу на MES була розроблена модель для розрахунку критичності кожної частини обладнання, як показано на рис. 3.7. Оскільки цей тип оцінки тісно пов’язаний з пріоритетами компанії та значення, яке він приписує кожному з розглянутих параметрів, і оскільки ця модель була перевірена внутрішньо в недалекому минулому, вона була прийнята.

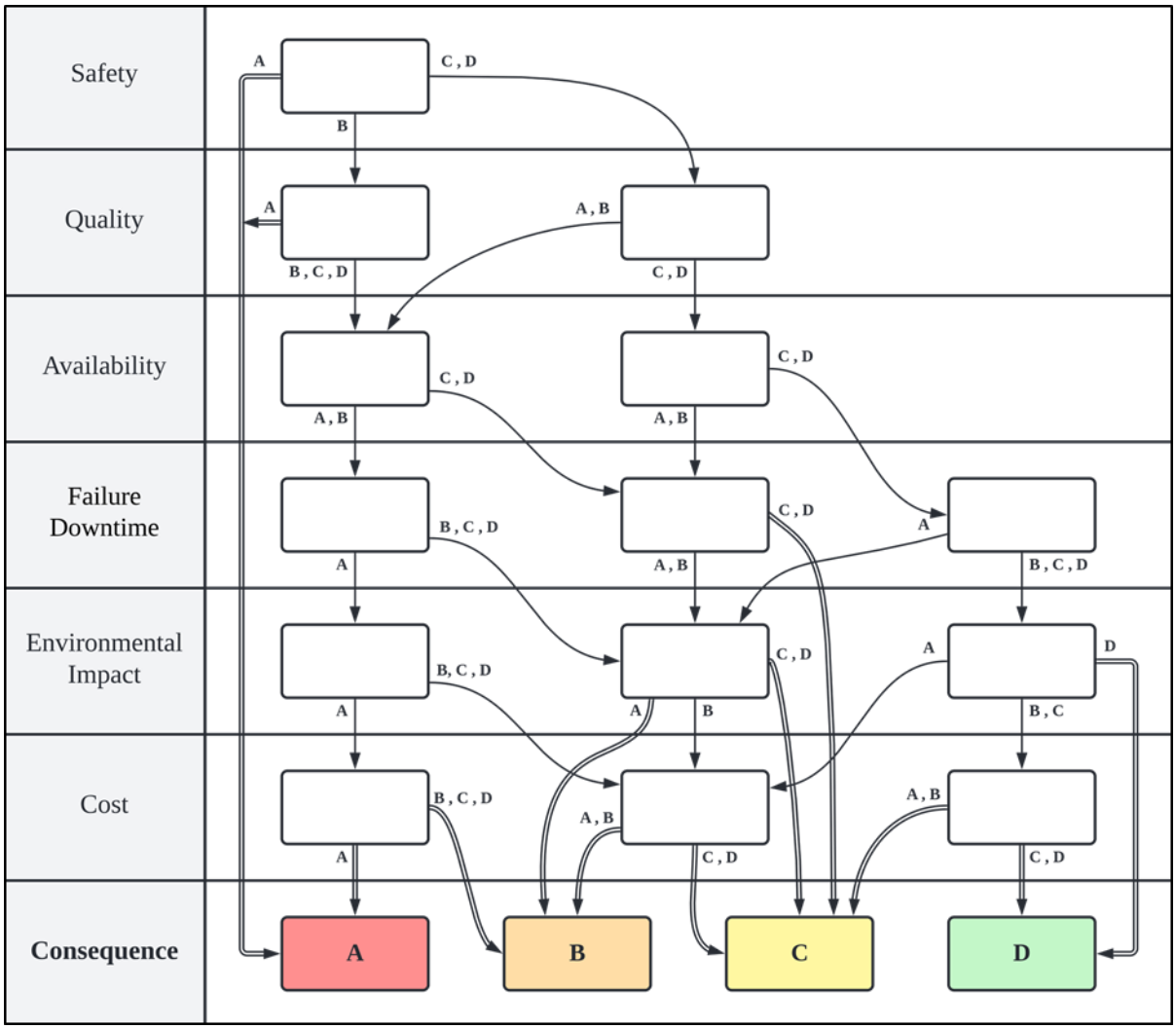


Рисунок 3.7 – Модель, що використовується для оцінки наслідків відмови кожного обладнання

Отже, визначивши Ймовірність і Наслідки відмови кожного обладнання, можна розрахувати, виходячи з формули (1.13), ризик або критичність кожного з них, і таким чином визначити ті, в яких впровадження додаткових датчиків буде бути більш вигідним.

Consequence

		0,25	0,50	0,75	1,00
Likelihood	1,00	0,25	0,50	0,75	1,00
	0,75	0,19	0,38	0,56	0,75
	0,50	0,13	0,25	0,38	0,50
	0,25	0,06	0,13	0,19	0,25

Рисунок 3.7 – Матриця ризику як функція наслідків та ймовірності

Оцінивши наслідки незапланованих зупинок різних машин, ще потрібно оцінити ймовірність відмови для кожної з них. Знову ж таки, немає змістовного та репрезентативного запису про поломки кожної частини обладнання, щоб мати можливість розрахувати MTBF та частоту відмов. Таким чином, єдиним доступним джерелом знань, що залишився, є досвід групи технічного обслуговування, яка призначила ступені частоти відмов для кожної частини обладнання.

Ця оцінка була проведена для всього блоку GMT, і було встановлено, що обладнання, яке представляє найбільший ризик і, отже, найбільш критичне, складається з обладнання для гранулометричного зменшення (MDT, MFA, MIM, PPS), вакуумних насосів і електрощити, як показано в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Результати дослідження критичності

Equipment	Consequence	Likelihood	Risk
Crusher	1	0,75	0,75
Knife Mill	1	0,75	0,75
Impact Mill	1	0,75	0,75
Air Classifier Mill	1	0,75	0,75
Switchboard	1	0,75	0,75
Vacuum Pump	1	0,75	0,75
Screw Conveyor	0,75	0,75	0,56
Gyratory Screen	0,75	0,75	0,56
Gravity Separator	0,75	0,75	0,56
Magnetic Separator	0,75	0,50	0,38
Rotary Dryer	0,75	0,50	0,38
Rotary Valves	0,75	0,50	0,38
Hydraulic Central	0,75	0,50	0,38
Industrial Balance	0,75	0,50	0,38
Expansion Tank	0,75	0,50	0,38
Filter	0,50	0,50	0,25
Screener	0,50	0,50	0,25
Cyclone Separator	0,75	0,25	0,19
Separator Belt	0,25	0,75	0,19
Superheater	0,25	0,50	0,13
Silo Unloader	0,25	0,50	0,13
Vibratory Conveyor	0,50	0,25	0,13

4 НАУКОВО-ДОСЛІДНА ЧАСТИНА

4.1 Дослідження давачів на критичні елементи.

Після визначення найбільш критичного обладнання було проведено дослідження різних типів датчиків, придатних для моніторингу їх стану. Переглядаючи концепції, розглянуті в розділі 2, передбачається продовжити профілактичне або прогнозне обслуговування на основі стану. Таким чином ми можемо звести до мінімуму незаплановані зупинки, зменшивши витрати на обслуговування та втрати виробництва через поломку.

Розглядалися три види датчиків:

- Вібрація
- температура
- Шум

Порівняльний аналіз між ними дозволив зробити висновок, що датчики вібрації були найцікавішими для встановлення, оскільки вони, у разі аномальної поведінки, видають тривогу раніше. Іншими словами, коли частина обладнання починає відчувати початок несправності, можна виявити варіації поведінки з точки зору вібрації, і лише після цього можна виявити ненормальні шуми. Нарешті, дуже близько до збою (за кілька днів до цього), можна спостерігати підвищення температури. Це можна зрозуміти з аналізу рис. 4.1 та 4.2.

Вирішивши контролювати вібрації, було проведено дослідження рішень, доступних на ринку, і визначено кілька різних типів продукції від різних компаній. Основна технічна відмінність, яку варто згадати, окрім підключення, універсальності, живлення чи автономності, це тип інформації, яку вони надають. Більшість рішень повертають частоту, виміряну в кожну мить, без обробки інформації, а аналіз даних є відповідальністю клієнта.

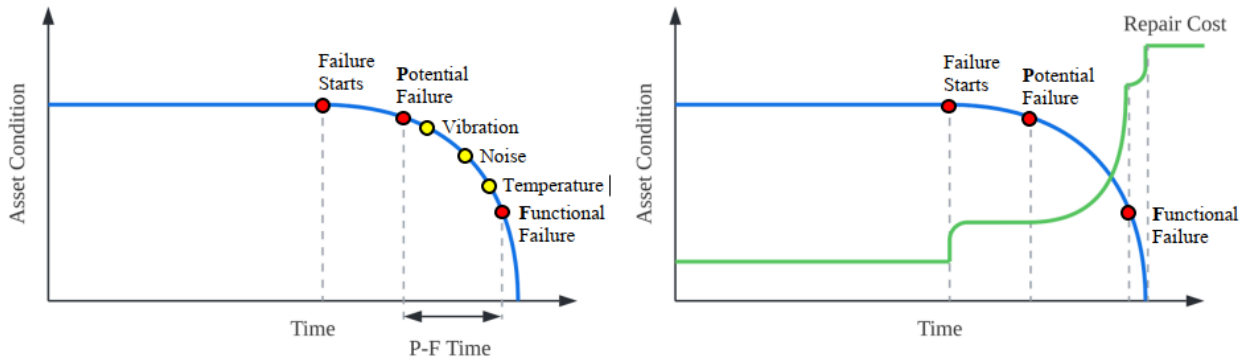


Рисунок 4.1 – Підходи до технічного обслуговування на основі умов у кривій PF

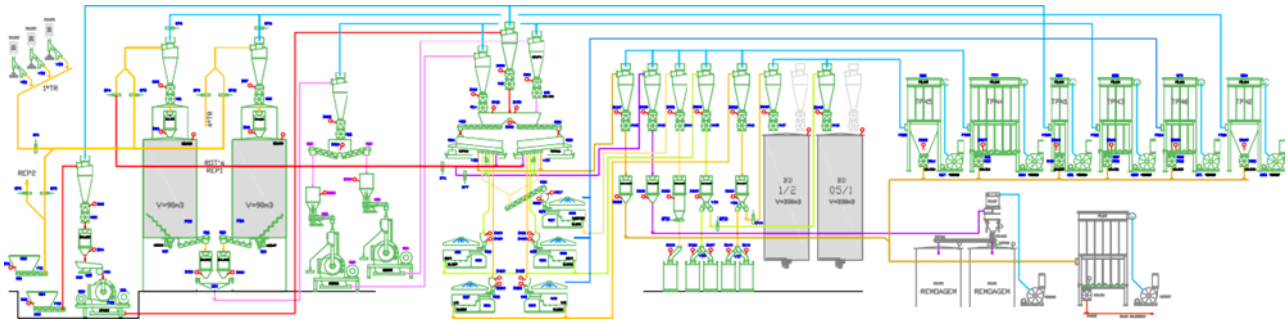


Рисунок 4.2 – Схема лінії Reprocessing #1

Однак на ринку є деякі рішення з розширеною аналітикою, які використовують штучний інтелект, які спочатку «дізнаються», як працює машина, і згодом здатні виявляти будь-які зміни цього робочого «шаблону». Це обладнання дозволяє контролювати стан обладнання протягом усього терміну служби, а не просто видавати сигнал тривоги, коли вібрація є значною. Цей тип датчика здатний на основі алгоритмів, спеціально розроблених для цієї мети, відрізняти миттєву поведінку від поведінки погіршення. Визначивши тип обладнання, у якому воно встановлено, вони також можуть визначити проблему, яка може спричиняти такі вібрації. Слід зазначити, що вивчення коливань є дуже складним. Рішення, розроблене компанією всередині компанії, безумовно, мало б базуватися на

профілактичному технічному обслуговуванні на основі стану, а не на прогнозуванні на основі стану, що не допускає такого складного підходу.

Після аналізу подібних продуктів було обрано одне з рішень із вбудованою аналітикою та таке, яке пропонує більше гарантій щодо досвіду аналізу вібрації. Це надзвичайно повний продукт із надзвичайною універсальністю та можливістю масштабування, за ціною, подібною до датчиків, які не пропонують цей розширений аналіз. Було проведено 2 зустрічі з виробником, і впровадження цього продукту в обладнання, визначене як найбільш критичне, є частиною планів промислового підрозділу.

Під час стажування було виявлено ще одну проблему, пов’язану з цифровізацією. Гільзи, один із компонентів фільтра, який є частиною процесу пневмотранспорту ТПН, іноді зламані, і видимості з цього приводу немає. Таким чином втрачається здатність очищати фільтри, що погіршує їхню роботу, окрім екологічних наслідків. Рішенням цієї проблеми було б впровадження датчиків перепаду тиску. Сигналізація подається щоразу, коли різниця тиску між рукавами та зовнішньою поверхнею відрізняється від належної. Після тестування рішення пройшло внутрішню перевірку та зараз очікує доставки для встановлення.

Як уже зазначалося, установка GMT має складний виробничий процес, в якому дотримуються заздалегідь визначених шляхів і послідовне виконання дій до отримання кінцевого продукту.

Що стосується виробництва, важливо вивчити відповідну інформацію, яка повинна бути доступна в SCADA, залежно від наявної інформації, і проаналізувати нові датчики, які можуть бути цікавими для розгляду. У документі Excel, згаданому раніше, визначено сигнали, які повинні бути включені та відображені як в HMI, так і в SCADA. Також визначено сигнали, які слід зберігати в базі даних для майбутнього аналізу, а також ті, які корисні лише в момент звернення до інформації.

Характеристика інформації SCADA

Проаналізувавши лінію Reprocessing #1 і зібравши цінну інформацію від виробничої групи, накопичену інформацію було впорядковано, що дозволяє отримати детальний огляд усього робочого процесу. Оскільки впровадження системи буде виконано після стажування, був розроблений документ «Caracterização da informação – SCADA» з набором інформації, яку система повинна забезпечити, а також пропозиціями, які будуть включені до майбутньої версії. Ці пропозиції, оскільки вони потребують інвестицій у нове обладнання, не будуть частиною першої версії системи.

Одна проблема, яка була виявлена в обладнанні, яке живиться, тобто в усьому, крім перемикаючих клапанів, гільйотин і ваг, полягає в тому, що, оскільки в полі немає інших фізичних елементів, система повинна вважати, що конкретна машина працює просто тому, що було надано вказівку, щоб машина розпочала роботу, не маючи жодного способу перевірити це на практиці. Оскільки оператори знаходяться в цеху, вони зрештою контролюють, чи працюють машини за командою, але це впливає на надійність системи. Практично неможливо гарантувати, що оператори своєчасно контролюють все обладнання.

Тому необхідно вивчити механізм зворотного зв'язку. Наприклад, якщо хтось хоче дистанційно увімкнути лампочку в будинку, надсилається сигнал із таким наказом. Однак неможливо дізнатися, чи була лампа включена. Для цього необхідно мати фотоелемент або контролювати його споживання електроенергії, щоб гарантувати такий зворотний зв’язок. Таким чином, необхідно додати елемент, який забезпечує виконання наказів, виданих системою. Кілька датчиків можуть створювати цей зворотний зв’язок, наприклад датчик вібрації або контроль споживання електроенергії. Датчик вібрації, який раніше вивчався в контексті технічного обслуговування, не можна використовувати в цій програмі, оскільки він активний лише 6 разів на день кожні 4 години роботи. Це пояснюється тим, що, щоб бути більш

універсальним і легшим у встановленні, він бездротовий, тому він працює таким чином, тому його автономність триває 4 роки. Цього достатньо для моніторингу вібрації, але це не підходить рішення для цього застосування, оскільки воно повинно працювати 24 години на добу. В якості альтернативи можна встановити інші датчики вібрації, які постійно працюють, щоб аналізувати вібрації. Але простіше і корисніше буде аналізувати споживання електроенергії. Ця форма моніторингу, окрім дотримання функції зворотного зв'язку, також забезпечить можливість мати видимість споживання електроенергії кожним обладнанням окремо, що сьогодні неможливо. Таким чином, у разі аномального споживання, можна знати про це та дослідити, що спричиняє таке споживання.

Аналіз проводився обладнання за обладнанням. Враховуючи, що існує понад 80 машин, як показано на рис. 4.2, описується тип інформації, що міститься в документі характеристики інформації SCADA. Було вибрано 3 різні пристрої, щоб отримати повне уявлення про тип доступної інформації, а також діаграму, яка дозволить під час впровадження SCADA знати, де знайти кожну інформацію, необхідну для визначення кожної швидкості потоку.

4.2 Діаграма масового потоку

Блок-схему, рис. 4.3, було розроблено для підтримки визначення масових витрат у кожній точці лінії. Деякі потоки відомі, тому що вони мають відповідний масштаб; в інших випадках можна дізнатися швидкість потоку через співвідношення між існуючими масштабами. На діаграмі червоні лінії позначають точки, де неможливо дізнатися швидкість потоку через відсутність шкал.

Таким чином, можна підтвердити, що можна знати швидкість потоку в усіх з'єднаннях лінії повторної обробки №1, за винятком витрат наприкінці ROT, а також швидкості потоку, що надходить до кожного MIM, де

впровадження масштабу означатиме значне структурне втручання в блок через недостатню висоту стелі.

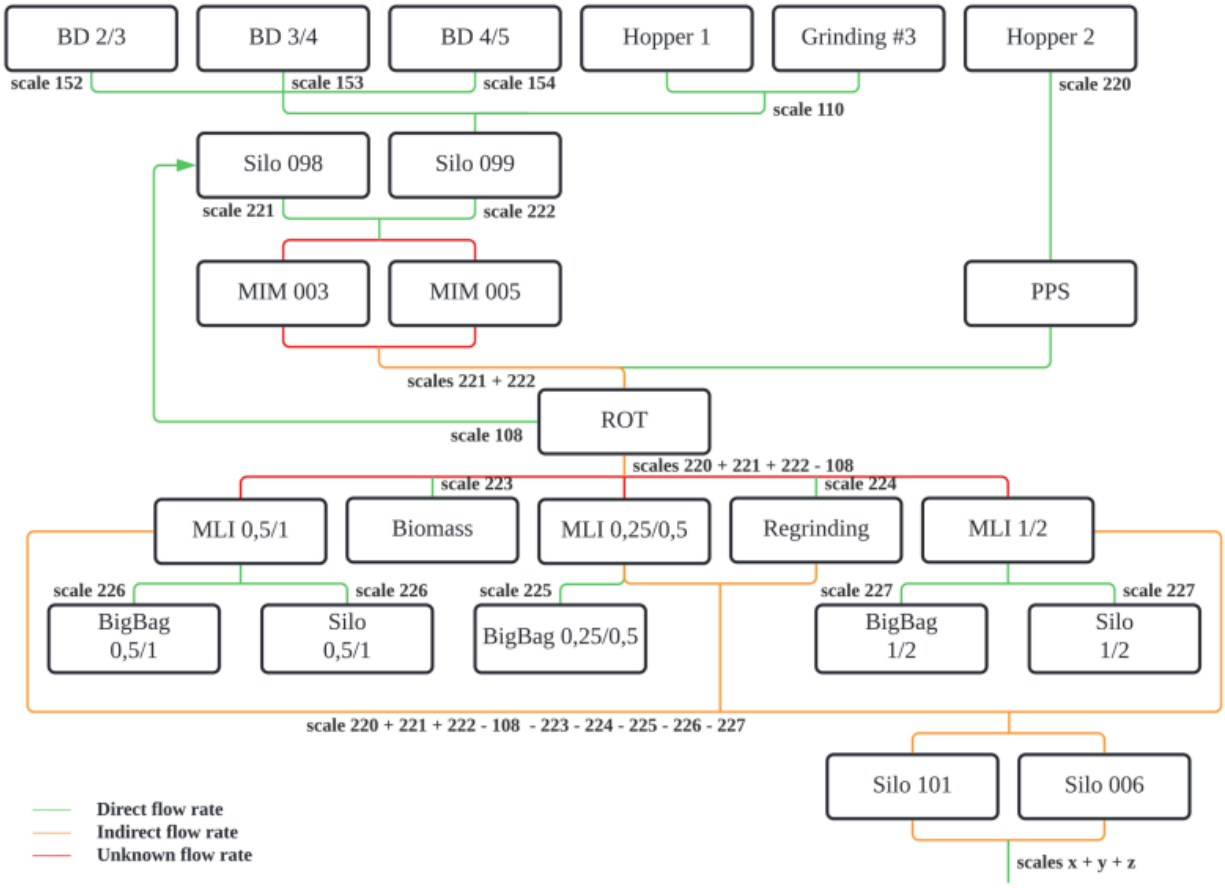


Рисунок 4.3 – Опорна діаграма масових витрат

Як згадувалося, було представлено 3 одиниці обладнання (GP1, BAL152, MFA017), а також тип інформації, знайдений у розробленому документі. Така інформація є індивідуальною для кожної лінії обладнання. Визначено інформацію, яку вже можна отримати, і запропоновано вдосконалення, щоб зробити систему більш надійною та повною. Проаналізувавши представлену діаграму, ми бачимо, що вона надає необхідну інформацію для розрахунку різних витрат лінії.

Незважаючи на те, що ця лінія не була основою дослідження, на лініях подрібнення було виявлено необхідність моніторингу температури, тиску та

вологості в камерах розширення POP. Для цих ліній також було виявлено інтерес до контролю значень температури в сушарках, а також споживання газу та теплоносія. Ці нові елементи потрібно буде придбати, і промисловий підрозділ має намір інвестувати в це.

Стандартизація HMI

Як згадувалося в розділі 2.2, було виявлено потребу у вдосконаленні та стандартизації HMI, оскільки рівень деталізації доступної інформації був різним, а деякі HMI були дуже застарілими. Той факт, що не було стандартного шаблону HMI, викликав деяку ентропію серед операторів, коли їм потрібно було керувати різними HMI.

Тому виникла необхідність стандартизації HMI, і з цією метою була визначена інформація, яку вони повинні відображати. Був розроблений функціональний макет, тобто набір інформації, яка повинна бути в HMI і як вони повинні бути представлені для подальшого впровадження. HMI має містити таку інформацію:

- Робота та стан машини: Дисплей показує, які машини працюють, і режим роботи кожної секції (ручний або автоматичний). Якщо оператор вибирає ручний режим, він може взаємодіяти з HMI, запускаючи або зупиняючи машини. Керівник буде в курсі, якщо це станеться, чого раніше не було.
- Блок-схема операції: блок-схема виробничої лінії показана з анімацією, яка дозволяє зрозуміти активні шляхи та машини, що працюють. Вибравши пристрій, можна буде отримати додаткову інформацію, характерну для цієї машини, і графіки трендів цих значень.
- Графіки тенденцій: на цій сторінці відображатимуться тенденції з важливими ключовими показниками ефективності, такими як OEE, продуктивність, пропускна здатність та розбіжність у можливостях, серед іншого, щодо всієї секції/лінії, якою керує HMI.

- Сигнали введення/виведення (I/O): Ця сторінка містить сигнали, активні чи неактивні, які живлять HMI і за допомогою яких можна відобразити всю інформацію, яку представляє HMI.
- Події: на цій сторінці відображатимуться поточні та минулі події (сигнали, які вважаються подіями, визначено у списку сигналів).
- Сигнали тривоги: на цій сторінці відображатимуться поточні та минулі тривоги, які виникли (сигнали, які вважаються тривогами, визначені у списку сигналів).

Деякі сторінки функціональної схеми HMI показано на рис. 4.4.

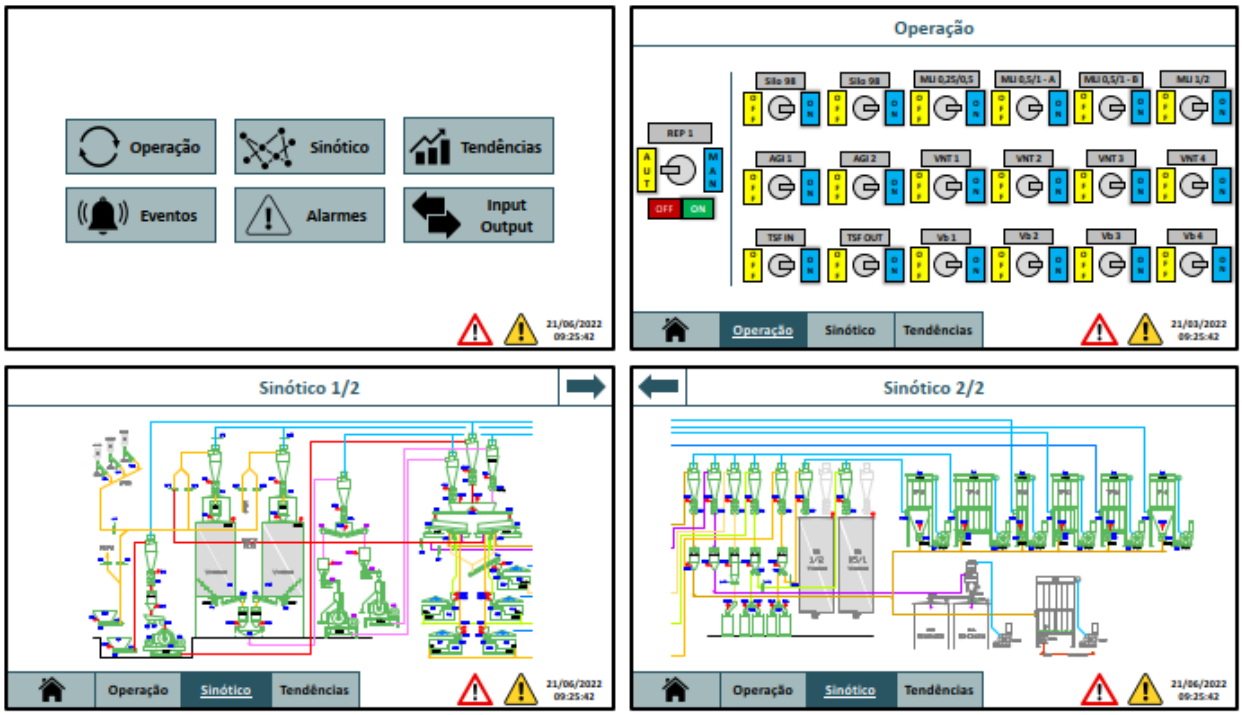


Рисунок 4.4 – Сторінки функціонального макета HMI

5 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

5.1 Будова машини для випробовування коркової продукції

Очевидно, що проблема забезпечення відповідного крутного моменту знімання не обмежується промисловістю напоїв; всі закриті контейнери можуть підлягати цій вимозі. Тому вкрай важливо співвіднести змінні, задіяні в процесі закупорки, з кінцевим крутним моментом видалення, щоб мати можливість запропонувати продукт із бажаними характеристиками.

Наразі не існує стандартної процедури для характеристики поведінки кришки-пляшки зчеплення. Більшість компаній покладаються на приймальний відбір проб (також званий вибірковою інспекцією), що означає, що зразки продукту перевіряються після процесу закупорювання. Якщо результати цього статистичного аналізу не відповідають специфікаціям, закупорочну машину необхідно відкалібрувати повторно, а в гіршому випадку вся партія може бути відбракована.

Метою цього дослідження є демонстрація процедури пошуку найкращих умов обмеження, щоб у найближчому майбутньому можна було прогнозовано скоригувати процес для отримання оптимальних результатів. Наприклад, якщо виявлено зміну температури ковпачків, відповідну корекцію можна внести в режимі онлайн без втручання оператора.

На рис. 5.1 представлено корок та заготовку для виготоалення ПЕТ пляшки. На рис. 5.2 показано закупорювальний апарат, який використовується на підприємстві.

Рисунок 5.1 - Преформа та її капсула.

Рисунок 5.2 – Апарат закупорювання CLOSYS з однією головкою.

Завод використовує обладнання CLOSYS, яке спеціалізується на невеликих одноголових закупорках, як показано на рис. 1.2 з продуктивністю 2500 ÷ 3000 пляшок на годину. Незважаючи на те, що ці машини відносно невеликі, вони все одно займають значну частку ринку.

Принципи закупорки

Перш за все, важливо зрозуміти принцип роботи закупорювальної машини, оскільки вимірювальна система має якомога точніше відтворювати реальний процес запечатування. Хоча комерційно доступні різні моделі закупорювачів, принцип роботи, описаний нижче, пов’язаний із машиною для закупорки, подібною до каруселі (рис. 1.3), оскільки він використовується як еталон для поточної системи вимірювання.

Рисунок 5.3 - Ротаційна закупорювальна машина.

Машина для закупорювання – це складна збірка багатьох частин, але, щоб зрозуміти її принцип роботи, достатньо розглянути підсистеми, зазначені на рис. 1.4:

- Карусель
- Накупорна вісь
- Система доставки кришки
- Конвеєрна система для пляшок

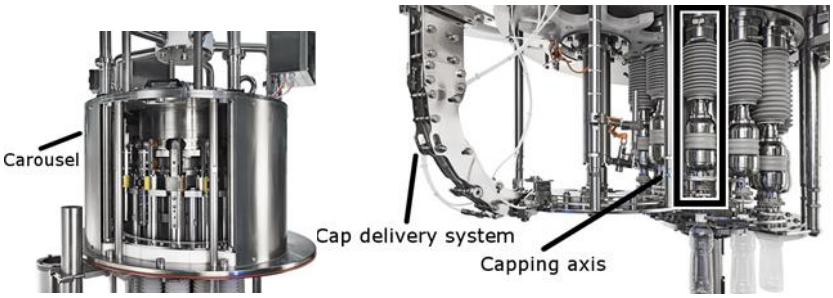


Рисунок 5.4 - Збільшене зображення ротаційної закупорювальної машини.

Карусель є найбільш громіздкою частиною машини. Вона обертається навколо вертикальної осі з кутовою швидкістю, яка залежить від швидкості виробництва рослини. Насадкові осі, також звані накидними турелями, встановлені на периферії каруселі. Вони розташовані на однаковій кутовій відстані один від одного і можуть як переміщатися вертикально, так і обертатися навколо своєї осі симетрії. Тому рух закупорювальної головки виходить із композиції двох обертів навколо вертикальних осей і вертикального переміщення.

Переміщення закупорювальної головки регулюється профілем кулачка, який може відрізнятися для кожної моделі машини. Карусель з n башточками може закривати n пляшок за один оберт, таким чином продуктивність машини можна отримати, помноживши n на швидкість обертання каруселі; Сучасні закупорювальні машини (наприклад, AROL Euro PK) можуть виробляти до 1500 пляшок за хвилину (90 000 BPH).

Кожна закриваюча головка рухається по одній траєкторії, тому для цілей цього розділу достатньо описати дію однієї.

Пляшки проходять по заводу на конвеєрі. Машина оснащена системою, яка приймає пляшки з конвеєра та розміщує їх на обертовому носії, який зберігає вирівнювання між вузькими шийками та вежами.

В іншій секції машини ковпачки подаються на обертовому диску, який служить для розподілу капсул із пляшками та турелями; голова, що

наближається, починає опускатися вниз, хапається за шапку і знову піднімається. Кожна вежа має конус на кінці, який призначений для захоплення та транспортування ковпачків, не впускаючи їх. Після чітко визначеного кута закупорювальна головка знову опуститься вниз, цього разу для встановлення кришки на пляшку. Протягом усього процесу турель обертається навколо своєї осі. Оскільки карусель і закупорювальні головки зачеплені разом через епіциклічну зубчасту передачу, швидкість обертання обох пов’язана між машинним передавальним числом.

Під час вертикального опускання на пляшку закупорювальна головка повинна докладати певної сили. Почнемо з ущільнення капсули (рис. 1.5.) потрібно проштовхнути на різьбу пляшки тоді, коли стеля кришки торкнеться ущільнювальної поверхні на пляшці (рис. 1.6) необхідно мати силу замикання.

Рисунок 5.5 - Пломба ПЕТ кришки.

Крутний момент закривання підтримується постійним протягом попередньо встановленого періоду часу, який називається часом обертання, після чого закриваюча головка піднімається, а закрита пляшка повертається на конвеєрну стрічку заводу. Час затягування є одним із багатьох параметрів,

які впливають на результуючий момент відкриття пляшки. Зрозуміло, що вибір цього значення обмежений; фактично воно має максимальне значення, оскільки закриття повинно бути завершено в межах чітко визначеної арки укупорочної машини.

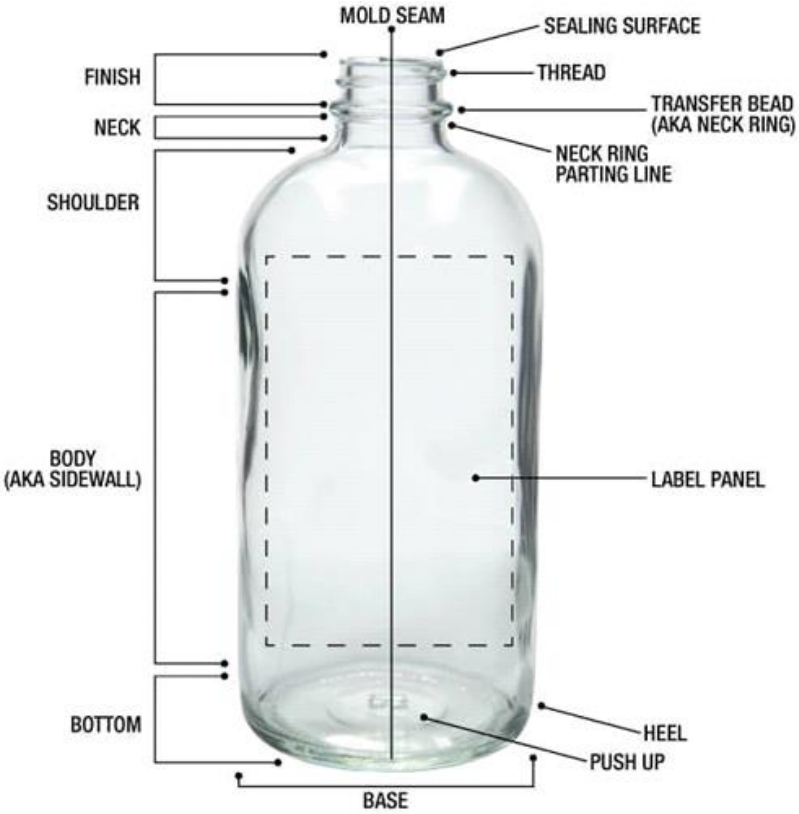


Рисунок 5.6 - Анатомія пляшки.

У багатьох випадках різьба, яка використовується на ПЕТ-кришках і пляшках, має лише один початок, отже, у найгіршому випадку початок різьби на кришці торкається різьби на обробці пляшки відразу після свого початку. У цьому випадку операція закупорювання триває на один оберт револьверної головки більше, ніж мінімальні оберти, необхідні для загвинчування кришки. Максимальне значення моменту витримки обчислюється на основі цієї ситуації.

Випробування проводяться на заготовках, подібних до зображеної на рис. 5.1 і необхідні для характеристики впливу, який різні параметри мають на процес закупорювання. Отже, для отримання значущих результатів

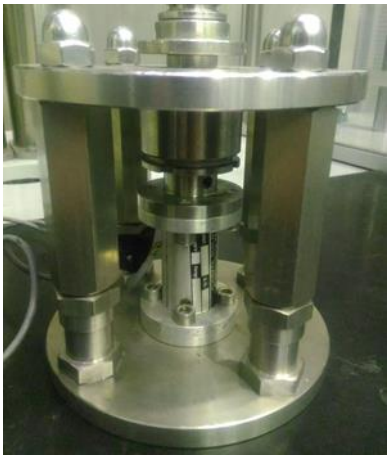
необхідно відтворити найважливіші етапи, які зазвичай виконує машина для закупорювання.

Конструкція установки нагадує машину для закупорювання карусельного типу. Оскільки цей апарат розроблено для одноразового закриття, він має лише турель, яка не обертається навколо осі каруселі. Крім того, немає потреби в системі дозування кришки, оскільки капсула вручну завантажується в конус башточки перед кожним тестом. Очевидно, що пляшка також нерухома і закріплена під кришкою. Нарешті, немає механічного профілю кулачка; параметри кулачка містяться у файлі, який завантажується в пам'ять машини через HMI, а вертикальне переміщення револьверної головки контролюється електронним способом. Таке рішення дозволяє тестувати різні умови обмеження, просто редагуючи файл *.cam без необхідності його фізичного монтування.

Хоча перелічені відмінності можуть здаватися суттєвими, вони не повинні впливати на результати, на які в основному впливає взаємодія кришки та пляшки. По суті, відносний рух між пляшкою та капсулою залишається незмінним, отже, отримані результати мають добре відображати реальний процес закупорювання.

Машина оснащена системою позиціонування прес-форми та утримання її нерухомою під час накладання кришки. Ця система підключена до підвалу через вимірювач крутного моменту, який можна використовувати для вимірювання крутного моменту, прикладеного до пляшки під час фази закупорювання (рис. 5.7).

а)



б)

Рисунок 5.7 - Система фіксації прес-форми (а) і вимірювач моменту (б).

На додаток до цього для вимірювання крутного моменту знімання використовується інша машина. Він також оснащений системою фіксації закритої прес-форми на місці та вимірювачем крутного моменту, який записує сигнал крутного моменту відкриття з можливістю збереження у файлі CSV.

Характеристика моменту зняття має тенденцію до зростання до максимуму, після чого падає до нуля. Відсоткове значення, взяте з цього

вимірювання, є піком, оскільки це те, що кінцевий користувач сприймає, відкриваючи пляшку. Використовуваний прилад також показує це значення на своєму дисплеї.

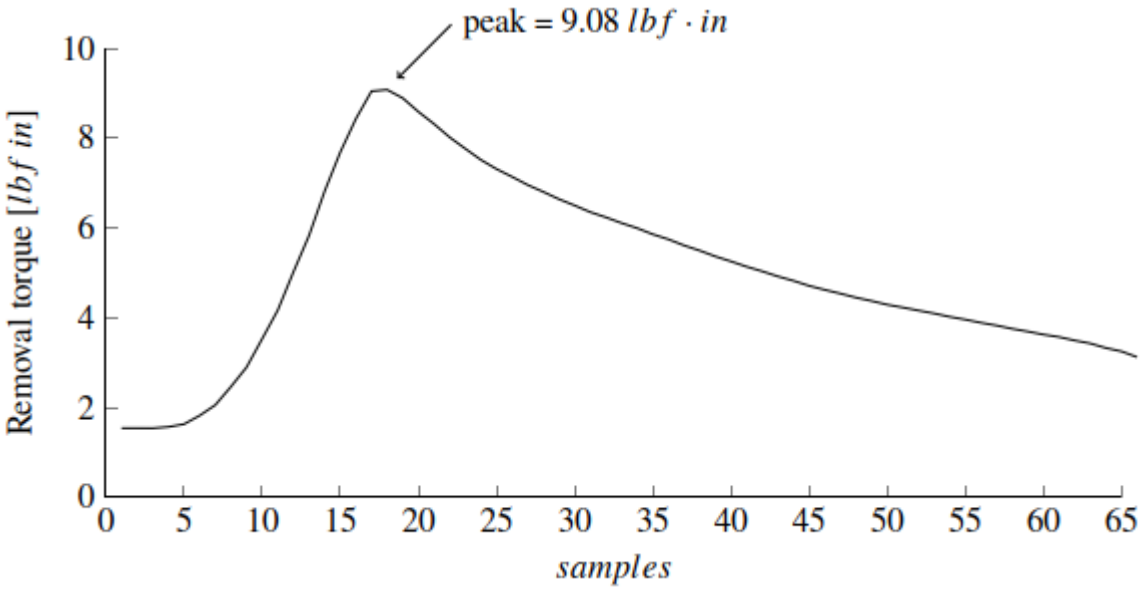


Рисунок 5.8- Приклад характеристики крутного моменту знімання.

6 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

6.1 Вимоги охорони праці під час роботи з електроустаткуванням

Загальні положення

Інструкція з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування розроблена відповідно до Закону України «Про охорону праці» (Постанова ВР України від 14.10.1992 № 2694-XII) в редакції від 20.01.2018 р, на основі «Положення про розробку інструкцій з охорони праці», затвердженого Наказом Комітету по нагляду за охороною праці Міністерства праці та соціальної політики України від 29 січня 1998 року № 9 в редакції від 01 вересня 2017 року, з урахуванням «Правил технічної експлуатації електроустановок споживачів», затвердженими наказом Міністерства палива та енергетики 25.07.2006 р. № 258 (у редакції наказу Міністерства енергетики та вугільної промисловості України 13.02.2012 р. №91, «Правил безпечної експлуатації електроустановок споживачів», затверджених наказом Держнаглядохоронпраці України 09.01.1998 р. № 4.

Всі положення даної інструкції з охорони праці поширюються на електриків освітньої установи, які виконують роботи з ремонту та обслуговування електроустаткування.

До самостійного виконання робіт з ремонту та обслуговування електричного обладнання допускаються особи не молодше 18 років, які пройшли навчання за фахом, а також:

медичний огляд і не мають протипоказань за станом здоров'я до виконання даної роботи;

вступний і первинний на робочому місці інструктажі з охорони праці;

навчання безпечним методам і прийомам праці;

перевірку знань правил улаштування електроустановок, правил безпеки при експлуатації електроустановок, вимог охорони праці;

при ремонті і обслуговуванні електрообладнання напругою до 1000В мають групу з електробезпеки не нижче III, а понад 1000В - не нижче IV.

Електрику необхідно знати і виконувати вимоги інструкції з охорони праці при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, інструкцій по роботі з ручним інструментом, електричним інструментом і драбинами.

Електрику при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування слід дотримуватися вимог Правил безпечної експлуатації електричних установок споживачів і Правил технічної експлуатації електричних установок споживачів, і мати відповідну групу з електробезпеки згідно з вимогами цих Правил.

Виконуючи роботи з ремонту та обслуговування електричного обладнання, може спостерігатися вплив нижчеперелічених шкідливих і небезпечних виробничих факторів:

падіння з висоти;

ураження електричним струмом;

підвищена напруженість електричного поля;

підвищена запиленість повітря робочої зони;

підвищений рівень вібрації;

недостатня освітленість робочої зони;

фізичні перевантаження;

нервово-психічні перевантаження.

Електрику при виконанні ремонту і обслуговування електроустаткування необхідно використовувати наведені нижче ЗІЗ:

напівкомбінезон бавовняний - на 12 місяців;

рукавички на - 3 місяці;

черевики шкіряні на - 24 місяці;

калоші діелектричні - чергові;

рукавиці діелектричні - чергові;

килимки діелектричні - чергові.

Електрик при ремонті і обслуговуванні електрообладнання зобов'язаний:

тримати у чистоті і порядку своє робоче місце;

дотримуватися Правил внутрішнього трудового розпорядку;

вміти застосовувати засоби індивідуального, колективного захисту, засоби пожежогасіння;

вміти надавати першу допомогу потерпілим від нещасних випадків;

знати і виконувати всі вимоги нормативних актів з охорони праці, правил протипожежного захисту та виробничої санітарії.

негайно повідомляти своєму безпосередньому керівнику про будь-який нещасний випадок, що трапився на виробництві, про ознаки професійного захворювання, а також про ситуацію, яка створює загрозу життю і здоров'ю людей;

знати терміни випробування захисних засобів і пристосувань, правила експлуатації, догляду та користування ними. Не дозволяється використовувати захисні засоби і пристосування з простроченим терміном перевірки;

виконувати тільки доручену роботу;

дотримуватися вимог інструкцій з експлуатації обладнання;

знати, де знаходяться засоби надання допомоги, первинні засоби пожежогасіння, головний і запасні виходи, шляхи евакуації в разі аварії або пожежі;

знати номери телефонів медичної установи (103) і пожежної охорони (101).

Електрик може відмовитися від виконання дорученої йому роботи, якщо виникла виробнича ситуація, яка становить загрозу для його життя і здоров'я оточуючих, або для навколишнього середовища, і доповісти про це своєму прямому керівнику.

На робочому місці заборонено курити, вживати алкогольні напої та інші речовини, які надають наркотичну дію на організм людини.

З метою запобігання отримання травм і виникнення травмонебезпечних ситуацій слід дотримуватися нижчеперелічених вимог:не можна залучати до роботи сторонніх осіб;

не починати роботу в разі відсутності умов для її безпечного виконання;

виконувати роботу тільки на справному обладнанні, зі справними пристроями та інструментом;

виявивши несправність терміново доповісти безпосередньому керівнику або усунути їх власними силами, якщо це відноситься до посадових обов'язків;

не торкатися неізольованих або пошкоджених проводів;

не виконувати роботу, яка не входить до професійних обов'язків.

Вміти надавати першу допомогу при кровотечах, переломах, опіках, ураженнях електричним струмом, раптовому захворюванні або отруєнні.

Дотримуватися правил особистої гігієни:

верхній одяг, головний убір і інші особисті речі слід залишати в гардеробі;

працювати в чистому спецодязі;

приймати їжу в призначеному для цього місці.

Вміти правильно користуватися ЗІЗ та засобами колективного захисту, первинними засобами пожежогасіння, протипожежним інвентарем, знати, де вони знаходяться.

Особи, які порушили цю інструкцію з охорони праці для електрика при виконанні робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування, несуть дисциплінарну, адміністративну, матеріальну і кримінальну відповідальність відповідно до чинного законодавства України.

Вимоги безпеки перед початком роботи

Одягти спецодяг, провести огляд і підготовку робочого місця, прибрати зайві предмети.

Видалити із зони проведення робіт сторонніх осіб і звільнити робоче місце від сторонніх матеріалів та інших предметів, обгородити робочу зону і встановити знаки безпеки.

Переконатися в достатньому освітленні робочого місця, відсутність електричної напруги на відремонтованому обладнанні.

Оглянути на справність вимикачі, розетки електричної мережі, електровілок, електричних проводів, з'єднувальних кабелів, переконатися в наявності і справності ЗІЗ (засобів індивідуального захисту) і попереджувальних пристроїв (рукавичок діелектричних, окулярів захисних, калош, килимків і т. п.).

Виконуючи роботи з інструментом необхідно упевнитися в його справності, в відсутності механічних пошкоджень ізоляційного покриття і в своєчасності проходження випробувань інструменту.

Провести перевірку робочого місця на відповідність вимогам пожежної безпеки, на достатність освітлення робочого місця.

Виявивши недоліки і порушення з питань електричної і пожежної безпеки, негайно доповісти своєму безпосередньому керівнику.

6.2 Вимоги безпеки під час виконання робіт

Виконуючи посадові обов'язки, електрик зобов'язаний мати при собі посвідчення перевірки знань з питань охорони праці. За відсутності посвідчення або наявності посвідчення з терміном перевірки, працівник не отримує допуск до роботи.

Роботи в електричних установках щодо заходів безпеки поділяються на 3 категорії:

зі зняттям напруги;

без зняття напруги на струмопровідних частинах або біля них;

без зняття напруги віддалік від струмопровідних частин, що перебувають під напругою.

Працівники, які виконують спеціальні види робіт, до яких висуваються додаткові вимоги безпеки, повинні бути навчені безпечному проведенню таких робіт і мати про це відповідний запис в посвідченні про перевірку знань.

Працівникові, який обслуговує закріплені за ним електричні установки напругою до 1000 В одноосібно, необхідно мати III групу з електробезпеки.

Виконуючи роботи в електричних установках потрібно проводити організаційні заходи, що забезпечують безпеку робіт:

оформляти роботи нарядом-допуском, розпорядженням відповідно до переліку робіт, що виконуються в порядку поточної експлуатації;

проводити підготовку робочих місць;

допуск до роботи;

здійснювати контроль над виконанням робіт;

переводити на інше робоче місце;

установлювати перерви в роботі та її закінчення.

Для підготовки робочого місця до роботи, яка вимагає зняття напруги, необхідно застосувати, в певному порядку, наведені нижче технічні заходи:

виконати необхідні відключення і вжити всіх заходів, що виключають помилкове або самовільне включення комутаційної апаратури;

розвісити заборонні плакати на приводах ручного і на ключах дистанційного керування комутаційною апаратурою;

провести перевірку на відсутність напруги на струмопровідних частинах, які повинні бути заземлені для захисту людей від ураження електричним струмом;

встановити заземлення (включити заземлюючі ножі, застосувати переносні заземлення);

встановити огорожі, якщо необхідно, близько робочих місць або струмоведучих частин, що залишилися під напругою, а також вивісити на даних огорожах плакати безпеки.

в залежності від місцевих умов, струмовідні частини обгородити до чи після їх заземлення.

Працювати без зняття напруги на струмопровідних частинах або поблизу них слід як мінімум двом працівникам, одному з них, керівнику робіт, необхідно мати групу IV; іншим групу III з обов'язковим оформленням роботи нарядом-допуском або розпорядженням.

При знятті і встановлення запобіжників під напругою в електроустановках напругою до 1000 В слід заздалегідь відключити всі навантаження, які підключені до зазначених запобіжників; використовувати при цьому ізолюючі кліщі або діелектричні рукавички, а якщо є відкриті плавкі вставки, то і захисні окуляри.

Роботу з використанням драбин потрібно проводити вдвох, один з працівників повинен перебувати знизу. Стояти на ящиках або інших предметах забороняється. При установці приставних драбин на балках,

елементах металевих конструкцій і т. п. слід надійно закріпити верхню і нижню частину драбини на конструкціях.

Під час обслуговування та ремонту електричних установок користуватися металевими драбинами забороняється.

6.3 Вимоги безпеки після закінчення робіт з ремонту та обслуговування електроустаткування

Відключити (від'єднати) необхідне електрообладнання, електроінструмент від мережі.

Навести порядок на робочому місці, прибрати в спеціальні місця деталі, матеріал, сміття і відходи.

Прибрати у відведене місце весь інструмент і пристосування.

Зняти і прибрати спецодяг, ЗІЗ, ретельно помити руки.

Провести огляд робочого місця на відповідність його всім вимогам протипожежного захисту.

Повідомити своєму безпосередньому керівнику про недоліки і несправності, які були під час виконання роботи. Зафіксувати це в оперативному журналі.

Вимоги безпеки в аварійних ситуаціях

У випадку пожежі:

вимкнути електричне обладнання, припливно-витяжну вентиляцію, якщо вона є;

повідомити в пожежну частину за телефоном 101 і доповісти про це своєму керівнику, а при його відсутності іншій посадовій особі;

приступити до ліквідації осередка загоряння, застосовуючи передбачені для цього засоби пожежогасіння. Виконувати гасіння електричного обладнання, що знаходиться під напругою, можна тільки

вуглекислотними вогнегасниками типу ОУ або піском. Гасити їх водою або пінним вогнегасником забороняється.

Електрик повинен пам'ятати, що при раптовому відключенні напруги, вона може бути подана знову без попередження.

Слід швидко відключити механізми і пристрої:

в разі раптового відключення електроенергії,;

якщо подальша їх робота загрожує безпеці працівників;

в разі відчуття дії електричного струму при торканні металевих частин пускової апаратури;

в разі іскріння;

при найменших ознаках загоряння, появі диму, запаху гару;

якщо з'явився незнайомий шум.

У разі короткого замикання в мережі електроживлення необхідно знеструмити обладнання і повідомити своєму прямому керівнику.

Якщо сталося ураження електричним струмом, слід звільнити потерпілого від дії електричного струму, для чого відключити електричну мережу або від'єднати потерпілого від струмопровідних частин за допомогою діелектричних захисних засобів та інших ізолюючих речей і предметів (сухий одяг, суха жердина, прогумований матеріал і т. п.), або перерізати (перерубати) провід будь-яким інструментом з ізолюючою рукояткою, обережно, без додаткового нанесення травм потерпілому. До прибуття медпрацівника необхідно надати потерпілому першу допомогу.

При нещасних випадках (травмуванні людини) негайно повідомити про це безпосереднього керівника.

6.4 Розрахунок захисного заземлення

Захисне заземлення забезпечує зниження напруги дотику при замиканні на корпус до відносно безпечних значень шляхом зменшення потенціалу заземленого обладнання, вирівнювання потенціалів підвищенням потенціалів місця, на якому стоїть людина, до значень, що близькі до потенціалу заземлених конструктивних частин обладнання.

Розрахунок захисного заземлення має на меті визначення основних параметрів заземлення – кількість, розміри та порядок розміщення одиночних заземлювачів та заземлюючих провідників, при яких напруга дотику та кроку в період замикання фази на заземлений корпус не перевищує допустимих значень.

Розрахунок захисного заземлення здійснюється для випадку розташування заземлювача в однорідній землі. При цьому враховується опір верхнього шару землі (шар сезонних змін), який обумовленний замерзанням або засухою грунту. Розрахунок, який заснований на коефіцієнтах використання провідності заземлювача називається способом коефіцієнтів використання. Його виконують, як при простих, так і при складних конструкціях групових заземлювачів.

Загальні вимоги електробезпеки повинні відповідати ДСТУ 7237:2011. Для захисту від уражень електричним струмом використовують захисне заземлення. Воно повинно захищати людей від уражень електричним струмом у випадку дотику до металевих неструмопровідних частин, які можуть опинитись під напругою внаслідок пошкодження ізоляції, це досягається з’єднанням металевих частин електроустановок з землею, або її еквівалентом.

Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом (ПУЕ 1.1.6.), приміщення в якому проводяться всі роботи відноситься до першого класу (без підвищеної небезпеки). Під час

роботи використовуються електроустановки з напругою живлення 36 В, 220 В, та 360 В. Опір контура заземлення повинен мати не більше 4 Ом.

Розрахунок проводять за допомогою методу коефіцієнта використання (екранування) електродів. Коефіцієнт використання групового заземлювача η – це відношення діючої провідності цього заземлювача до найбільш можливої його провідності за нескінченно великих відстаней між його електродами.

При розрахунку заземлювачів в однорідній землі способом коефіцієнтів використання значення опору R захисного заземлення визначаємо в наступному порядку:

обчислюємо опір пристрою заземлення $R_з$. Згідно правил улаштування електроустановк (ПУЕ) найбільш припустимі значення $R_з$, складають для установок до 1000 В:

10 Ом при сумарній потужності генераторів або трансформаторів, що живлять дану мережу, не більше 100 кВА;

4 Ом у всіх інших випадках.

- визначаємо необхідний опір штучного заземлювача Rш:

$$R_ш = \frac{R_e \cdot R_з}{R_e - R_з}, \quad (4.1)$$

де R_e – опір розтікання природного заземлювача, Ом; $R_з$ – необхідний опір заземлюючого пристрою, Ом.

- обчислюємо кількість вертикальних і довжину горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{S}}{a'}, \quad (4.2)$$

де n – кількість вертикальних електродів, штук; S – площа цеху, м^2; a' – задана відстань між електродами, м.

$$l_г = 2a + 2b, \quad (4.3)$$

де $l_г$ – сумарна довжина горизонтальних електродів, м; а – ширина сторони цеху, м; b – довжина сторони цеху, м.

- розраховуємо опори розтікання вертикального Rв та горизонтального Rг електродів:

$$R_в = \frac{\rho_{роз.в}}{2 \cdot \pi \cdot l_в}\left(\ln\frac{2l_в}{d} + \frac{1}{2}\ln\frac{4t + l_в}{4t - l_в}\right), \quad (4.4)$$

де $\rho_{розв}$ – розрахунковий питомий опір землі для вертикального електрода, Ом·м;

$l_в$ – довжина вертикальних стрижневих електродів, м; d – діаметр електрода, мм;

t – глибина занурення в землю верхнього кінця електрода, м;

$$R_г = \frac{\rho_{роз.г}}{2 \cdot \pi \cdot l_г} \cdot \ln\frac{2l_г}{0{,}5 \cdot b' \cdot t}, \quad (4.5)$$

де $\rho_{роз.г}$ – розрахунковий питомий опір для горизонтального електрода, Ом·м;

$l_г$ – довжина горизонтальних електродів, м; b' – товщина горизонтального електрода, м.

- за даними таблиці 4.1 та таблиці 4.2 визначаємо коєфіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів $\eta_в$ та $\eta_г$ та з їх врахуванням обчислюємо розрахунковий опір заземлювача за виразом:

$$R_г = \frac{R_в \cdot R_г}{R_в \cdot \eta_г + R_г \cdot \eta_в \cdot n}, \quad (4.6)$$

Для розрахунку заземлювача задаємось такими вихідними даними: виробничий цех площею S=5000 м і з понижуючою підстанцією 10/0,4 кВ. Заземлювач передбачається виконати з вертикальних стрижневих електродів довжиною $l_в$=5 м, діаметром d=12 мм і відстанню між ними a'=5 м та горизонтальних електродів (сталева смуга перетином 440 мм) на глибині t=0,8 м. Розрахункова величина питомого опору ґрунту у місці спорудження захисного заземлення береться з таблиці 6.3 (для чорнозема с=20 Ом/м). Коєфіцієнти вертикальної прокладки $К_в$ і горизонтальної прокладки $К_г$ приймаються з таблиці 6.4 (для третього кліматичного району $К_в$=1,3, $К_г$=2,5).

Талиця 4.1 – Коефіцієнт використання горизонтального стрічкового електрода, що з’єднує вертикальні електроди (труби, кутики і ін.) групового заземлювача

Відношення відстані між вертикальним і електродами до їх довжин	Число вертикальних електродів							
	2	4	6	10	20	40	60	100
Вертикальні електроди розміщені в ряд								
1.	0,85	0,77	0,72	0,62	0,42	-	-	-
2.	0,94	0,80	0,84	0,75	0,5	-	-	-
3.	0,96	0,92	0,88	0,82	0,68	-	-	-
Вертикальні електроди розміщені по контуру								
1.	-	0,45	0,40	0,34	0,27	0,22	0,20	0,19
2.	-	0,55	0,48	0,40	0,32	0,29	0,27	0,23
3.	-	0,70	0,64	0,56	0,45	0,39	0,36	0,33

Талиця 4.2 – Коефіцієнт використання вертикальних електродів групового заземлювача (труб, кутиків, і т. ін.) без урахування впливу стрічки зв’язку

Число заземлювачів	Число вертикальних електродів					
	1.	2.	3.	1.	2.	3.
	Електроди, розміщені в ряд			Електроди, розміщені по контуру		
2	0,85	0,91	0,94	-	-	-
4	0,73	0,83	0,89	0,69	0,78	0,85
6	0,65	0,77	0,85	0,61	0,73	0,80
10	0,59	0,74	0,81	0,56	0,68	0,76
20	0,48	0,67	0,76	0,47	0,63	0,71
40	-	-	-	0,41	0,58	0,66
60	-	-	-	0,39	0,55	0,64
100	-	-	-	0,36	0,52	0,62

Таблиця 4.3 – Розрахункові значення питомих електричних опорів ґрунтів

Ґрунт	Значення, які рекомендуються для розрахунків, Ом/м
Пісок	700
Супісок	300
Суглинок	100
Глина	40
Чорнозем	20
Торф	20

Таблиця 4.4 – Значення підвищувальних коефіцієнтів $К_г$, $К_в$ за кліматичними зонами

Клімати чна зона	Тип заземлювачів	
	Горизонтально прокладені заземлювачі (смугові та ін.) при глибині від поверхні ґрунту t=0,8 м, $К_г$	Стрижневі вертикально встановлені заземлювачі при глибині від поверхні землі t=0,5–0,8 м, К
I	4,5–7	1,8–2
II	3,5–4,5	1,6–1,8
III	2,5–4	1,4–1,6
IV	1,5–2	1,2–1,4

Розрахункові питомі опори ґрунту для вертикальних і горизонтальних заземлювачів визначаються відповідно так:

$$\rho_{роз.в} = K_в \cdot \rho, \text{ Ом/м}, \quad (6.7)$$

$$\rho_{роз.г} = K_г \cdot \rho, \text{ Ом/м} \quad (6.8)$$

Таким чином за формулами (6.7), (6.8), для чорнозему:

$$\rho_{роз.в} = 1{,}3 \cdot 20 = 26, \text{ Ом/м};$$

$$\rho_{роз.в} = 2{,}5 \cdot 20 = 50, \text{ Ом/м}.$$

У якості природного заземлювача використовуємо металеву технологічну конструкцію з опором розтікання природного заземлювача

$R_е$=15 Ом.

Здійснюємо розрахунок у відповідності з зазначеною послідовністю:

- згідно ПУЕ необхідний опір заземлюючого пристрою складає:

$$R_З=4 \text{ Ом};$$

за формулою (6.1) визначеємо необхідний опір штучного заземлювача $R_ш$:

$$R_ш = \frac{15 \cdot 4}{15-4} = 5{,}5 \text{ Ом};$$

за формулами (4.2), (4.3) обчислюємо кількість вертикальних та довжин горизонтальних електродів:

$$n = \frac{4 \cdot \sqrt{5000}}{5} = 5 \text{ штук},$$

$$l_г = 2 \cdot 50 + 2 \cdot 100 = 300 \text{ м};$$

за формулами (4.4), (4.5) розраховуємо опори розтікання вертикального $R_в$ та горизонтального $R_г$ електродів:

$$R_в = \frac{26}{2 \cdot \pi \cdot 5}\left(\ln\frac{2 \cdot 5}{0{,}012} + \frac{1}{2}\ln\frac{4 \cdot 3{,}3 + 5}{4 \cdot 3{,}3 - 5}\right) = 5{,}7 \text{ Ом},$$

$$R_г = \frac{50}{2 \cdot \pi \cdot 300} \cdot \ln\frac{2 \cdot 300}{0{,}5 \cdot 0{,}04 \cdot 0{,}8} = 0{,}3 \text{ Ом};$$

за даними таблиць (4.10, (4.11) обираємо коєфіцієнти використання для вертикальних та горизонтальних електродів $К_в$=0,4 та $К_г$=0,21;

обчислюємо розрахунковий опір заземлювача R за формулою (4.6):

$$R_г = \frac{5{,}7 \cdot 0{,}3}{5{,}7 \cdot 0{,}21 + 0{,}3 \cdot 0{,}4 \cdot 56} = 0{,}22 \text{ Ом}.$$

Таким чином, проєктований заземлювач є контурним, складається з 56 вертикальних стрижневих електродів довжиною 5 м і діаметром 12 мм та горизонтального електрода у вигляді сталевої смуги довжиною 300 м, перетином 440 мм^2, занурених у землю на 0,8.

ВИСНОВКИ

Основною метою роботи була підтримка та вдосконалення системи керування виробництвом із застосуванняс SCADA у підрозділі грануляції.

Було проведено ідеалізацію системи з точки зору клієнта, яким у даному випадку є промисловий підрозділ. Було визначено сигнали, які можна перетворити на дані (наразі втрачених), а також для ідеалізації функціональних можливостей системи та вивчення можливих нових елементів для додавання до існуючих. Ці цілі були досягнуті, а деякі інші ідеї, які виникли під час стажування, були підтверджені компанією та втілені в реальні дії. Щоб не забути, їх зафіксували в документі, аби в подальшому реалізувати. Робота ще триває і продовжуватиметься після закінчення цього стажування, як уже було відомо на його початку.

Можна було помітити, що на сьогоднішній день на лінії Переробки #1 у компанії є умови для початку процесу цифровізації, тоді як на лінії Grinding #1 це стане можливим лише після поставки визначеного обладнання. З роботи, виконаної на лінії переробки №1, можна зробити висновок, що застосована методологія, якщо її розповсюдити на весь підрозділ, дозволить розробити мережу пунктів збору інформації, яка гарантуватиме бажану видимість виробничого процесу, і в цьому таким чином, надасть дані, звернення до яких дозволить покращити поточні процеси як на рівні виробництва, так і на рівні обслуговування.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Almada-Lobo F. The Industry 4.0 revolution and the future of Manufacturing Execution Systems (MES). Journal of Innovation Management. 2016, 3(4), 16-21. doi: https://doi.org/10.24840/2183-0606_003.004_0003.

2. Alsyouf I. Measuring maintenance performance using a balanced scorecard approach. Journal of Quality in Maintenance Engineering. 2006, 12, 133-149. doi: https://doi.org/10.1108/13552510610667165.

3. Althaus C. A Disciplinary Perspective on the Epistemological Status of Risk. Risk analysis: an official publication of the Society for Risk Analysis. 2005, 25, 567-88. doi: https://doi.org/10.1111/j.1539-6924.2005.00625.x.

4. Angel M. Manufacturing KPIs. URL: https://tulip.co/blog/manufacturing-kpis-34-key-production-metrics-you-should-know(дата звернення: 05.2022).

5. Bither B. Manufacturing KPIs: Top Metrics, Definitions, Formulas, and Dashboards. URL: https://www.machinemetrics.com/blog/manufacturing-kpis(дата звернення: 05.2022).

6. Bryan L.A., Bryan E.A. Programmable Controllers: Theory and Implementation. Industrial Text Co. 1997.

7. Castelo-Branco I., Oliveira T., Simões-Coelho P., Portugal J., Filipe I. Measuring the fourth industrial revolution through the Industry 4.0 lens: The relevance of resources, capabilities and the value chain. Computers in Industry. 2022, 138, 103639. doi: https://doi.org/10.1016/j.compind.2022.103639.URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0166361522000343.

8. CEN. EN 13306. European Committee for Standardization (CEN). 2010.

9. Chopra R., Sawant L., Kodi D., Terkar R. Utilization of ERP systems in manufacturing industry for productivity improvement. Materials Today: Proceedings. 2022. doi: https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.04.529.URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2214785322026955.

10. Foehr M., Vollmar J., Calà A., Leitão P., Karnouskos S., Colombo A. Engineering of Next Generation Cyber-Physical Automation System Architectures. 2017, 185-206.

11. Gao R.X., Wang L., Helu M., Teti R. Big data analytics for smart factories of the future. CIRP Annals. 2020, 69(2), 668-692. doi: https://doi.org/10.1016/j.cirp.2020.05.002.URL: https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0007850620301359.

12. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп’ютерні мережі. Книга 1. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-8052 від 28.05.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2013. – 256 с.

13. А.Г. Микитишин, М.М. Митник, П.Д. Стухляк, В.В. Пасічник Комп’ютерні мережі. Книга 2. [навчальний посібник] (Лист МОНУ №1/11-11650 від 16.07.12р.) - Львів, "Магнолія 2006", 2014. – 312 с.

14. Микитишин А.Г., Митник, П.Д. Стухляк. Комплексна безпека інформаційних мережевих систем: навчальний посібник – Тернопіль: Вид-во ТНТУ імені Івана Пулюя, 2016. – 256 с.

15. Микитишин А.Г., Митник М.М., Стухляк П.Д. Телекомунікаційні системи та мережі : навчальний посібник для студентів спеціальності 151 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» – Тернопіль: Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, 2017 – 384 с.

16. Введення в компютерну графіку та дизайн: Навчальний посібник для студентів спеціальності 174 "Автоматизація, компютерно-інтегровані технології та робототехніка"/Укладачі: О.В. Тотосько, П.Д. Стухляк, А.Г. Микитишин, В.В. Левицький, Р.З. Золотий - Тернопіль: ФОП Паляниця В.А., 2023 - 304с. http://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/41166.

17. Пилипець М. І. Правила заповнення основних форм технологічних документів : навч.-метод. посіб. / Уклад. Пилипець М. І., Ткаченко І. Г.,

Левкович М. Г., Васильків В. В., Радик Д. Л. Тернопіль : ТДТУ, 2009. 108 с. https://elartu.tntu.edu.ua/handle/lib/42995.