

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Автоматизації і комп'ютерних систем ім. проф. І.В. Ельперіна
Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління ім. проф. А.П. Ладанюка

«До захисту »

«До захисту допущено»

Директор інституту (декан факультету)

Завідувач кафедри

Андрій ФОРСЮК

Ярослав СМІТЮХ

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

«__» грудня 2025 р.

«__» грудня 2025 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

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

(код та назва спеціальності)

освітньо-професійної програми «Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих системах управління»

на тему: Розробка інтегрованої автоматизованої системи виробництва напівфабрикатів із м'яса птиці з підсистемою формування нагетсів

Виконав: здобувач 2 курсу, групи АК-2-1М

Федюшкін Вадим Володимирович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Керівник Романов Микола Сергійович

(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

(підпис)

Консультанти

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

(ім'я та прізвище)

(підпис)

Рецензент

(ім'я та прізвище)

(підпис)

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

Здобувач

(підпис)

Київ – 2025 р

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Факультет Автоматизації і комп'ютерних систем ім. проф. І.В. Ельперіна

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління ім. проф. А.П. Ладанюка

Освітній ступінь магістр

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

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих системах управління»

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Завідувач кафедри

Ярослав СМІТЮХ

« » 2025р.

ЗАВДАННЯ

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Федюшкіна Вадима Володимировича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розробка інтегрованої автоматизованої системи виробництва напівфабрикатів із м'яса птиці з підсистемою формування нагетсів

Керівник роботи кандидат технічних наук, доцент Романов Микола Сергійович

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

Затверджені наказом закладу вищої освіти від "05" листопада 2025 року № 906-кс

2. Строк подання здобувачем роботи 16 грудня 2025 р.

3. Вихідні дані до роботи

MultiFormer, OptiFlour, Schneider Electric. Матеріали переддипломної практики.

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

Вступ. 1. Аналітичний огляд літератури та використовувані методи при побудові систем управління. 1.1. Аналіз сучасного стану автоматизації процесів формування нагетсів GEA. 1.2. Аналіз існуючих технічних і програмних рішень.

1.3. Принципи побудови інтегрованих систем згідно зі стандартами

ISA-88/95/106. 1.4. Методи оцінювання ефективності роботи систем формування нагетсів. 1.5. Аналіз напрямів удосконалення існуючих систем. 1.6 Мета та завдання магістерської роботи. 2. Загальносистемні рішення. 2.1. Загальний опис

об'єкту та системи. 2.2 Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання. 2.3. Функціональна структура системи. 2.4 Опис функцій, що автоматизуються. 2.5.

Структурна схема комплексу технічних засобів. 2.6. Опис інформаційного забезпечення АСУТП виробництва та основного відділення. 3. Розробка

підсистеми управління технологічним процесом

(обладнанням). 3.1. Схема автоматизації та специфікація приладів та засобів

автоматизації польового рівня. 3.2. Схема компонування та специфікація модулів плк та засобів RIO і PDS. 3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання,

управління та сигналізації. 3.4. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж. 4. Розробка алгоритма та програми для ПЛК для підсистеми формування нагетсів. 4.1. Розроблення алгоритмічної структури алгоритму керування. 4.2. Опис програмного забезпечення. 4.3 Розробка програмного забезпечення на мові LD та ST. 4.4. Розробка людинно-машинного інтерфейсу оператора технолога 5. Спеціальне завдання. Висновки. Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

1.Схема автоматизації. 2. Структурна схема КТС АСУТП виробництва. 3. Схема з'єднань проводок промислових мереж. 4. Схема електрична принципова контурів вимірювання, управління та сигналізації. 5. Функціональна структура схеми. 6. Схема інформаційної структури мережі

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

7. Дата видачі завдання 06.10.2025 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Видача та затвердження завдання	Перед переддипломною практикою	
2	Розділ 1. Аналітичний огляд літератури та використовувані методи при побудові систем управління	Захист переддипломної практики	
3	Розділ 2. Загальносистемні рішення.	3 тиждень	
4	Розділ 3. Розробка підсистеми управління технологічним процесом (обладнанням)	5 тиждень	
5	Розділ 3.Розробка схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж	7 тиждень	
6	Розділ4. Розробка алгоритму та програми для ПЛК для підсистеми формування нагетсів	11 тиждень	

Здобувач _____
(підпис)

Вадим ФЕДЮШКІН

Керівник роботи _____
(підпис)

Микола РОМАНОВ

Анотація

У даній кваліфікаційній роботі розроблено проєкт інтегрованої автоматизованої системи виробництва напівфабрикатів із м'яса птиці з підсистемою формування нагетсів. Основна увага приділяється побудові сучасної технологічної лінії з використанням обладнання GEA MultiFormer 400 та OptiFlour, яке забезпечує точне формування та рівномірне панірування виробів. Для реалізації системи автоматизованого керування застосовано програмований логічний контролер Modicon M340 виробництва Schneider Electric, що забезпечує гнучкість, надійність та простоту інтеграції із периферійними пристроями.

Запропонована система охоплює всі рівні ієрархії управління згідно зі стандартом ISA-95, включаючи контроль на рівні виконавчих механізмів, датчиків, приводів, а також централізоване керування та моніторинг на рівні оператора. У роботі виконано функціонально-структурний аналіз, обґрунтовано вибір обладнання, описано алгоритми управління та розроблено архітектуру програмного забезпечення системи.

Впровадження автоматизованої системи дозволяє підвищити продуктивність виробництва, забезпечити стабільну якість продукції, оптимізувати витрати сировини та зменшити людський фактор у керуванні процесами формування та обробки харчових напівфабрикатів.

Ключові слова: MultiFormer, OptiFlour, Schneider Electric, нагетси

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						4
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Annotation

This qualification work presents the development of an integrated automated system for the production of poultry meat semi-finished products with a subsystem for nugget formation. The focus is on designing a modern technological line using GEA MultiFormer 400 and OptiFlour equipment, which ensures precise shaping and uniform coating of the products. The automated control system is implemented using a Modicon M340 programmable logic controller from Schneider Electric, offering flexibility, reliability, and seamless integration with peripheral devices.

The proposed system encompasses all levels of the control hierarchy in accordance with the ISA-95 standard, including control at the level of actuators, sensors, and drives, as well as centralized monitoring and control at the operator level. The work includes a functional and structural analysis, justification for the selection of equipment, a description of control algorithms, and the development of the system's software architecture.

The implementation of the automated system increases production efficiency, ensures consistent product quality, optimizes raw material usage, and reduces the impact of the human factor in the management of nugget formation and processing operations

Keywords: MultiFormer, OptiFlour, Schneider Electric, nuggets

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
						5
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Зміст

ВСТУП	7
РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ВИКОРИСТОВУВАНІ МЕТОДИ ПРИ ПОБУДОВІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ.....	8
1.1. Аналіз сучасного стану автоматизації процесів формування нагетсів GEA MultiFormer 400.....	8
1.2. Аналіз існуючих технічних і програмних рішень	9
1.3. Принципи побудови інтегрованих систем згідно зі стандартами ISA-88/95/106 ...	11
1.4. Методи оцінювання ефективності роботи систем формування нагетсів	12
1.5. Аналіз напрямів удосконалення існуючих систем.....	13
1.6. Мета та завдання магістерської роботи.....	15
РОЗДІЛ 2 – ЗАГАЛЬНОСИСТЕМНІ РІШЕННЯ.....	18
2.1. Загальний опис об'єкту та системи	18
2.2 Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання	20
2.3. Функціональна структура системи	24
2.4 Опис функцій, що автоматизуються.....	28
2.5. Структурна схема комплексу технічних засобів.....	36
2.6. Опис інформаційного забезпечення АСУТП виробництва та основного відділення	40
РОЗДІЛ 3 – РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ.....	43
(ОБЛАДНАННЯМ)	43
3.1. Схема автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації польового рівня	43
3.2. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК та засобів RIO і PDS.....	49
3.3. Схеми електричні принципові контурів вимірювання,	52
управління та сигналізації	52
3.4. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж	53
РОЗДІЛ 4 - РОЗРОБКА АЛГОРИТМА ТА ПРОГРАМИ ДЛЯ ПЛК ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ НАГЕТСІВ.....	57
4.1. Розроблення алгоритмічної структури алгоритму керування	57
4.2. Опис програмного забезпечення.....	60
4.3. Розробка програмного забезпечення на мові LD та ST	62
4.4. Розробка людинно-машинного інтерфейсу оператора технолога.....	65
РОЗДІЛ 5. СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ	68
ВИСНОВКИ.....	76
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	77

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						6
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ВСТУП

У сучасних умовах глобалізації харчової промисловості особливої актуальності набуває автоматизація технологічних процесів виробництва харчових напівфабрикатів. Зростання вимог до якості продукції, ефективності використання ресурсів, санітарної безпеки та продуктивності виробництва потребує впровадження сучасних засобів автоматизації, здатних забезпечити стабільність, надійність та гнучкість технологічних процесів.

Окреме місце у структурі сучасного м'ясопереробного виробництва займають напівфабрикати із м'яса птиці, зокрема курячі нагетси, які користуються стабільно високим попитом серед споживачів. Автоматизація формування та обробки нагетсів дозволяє значно підвищити продуктивність лінії, забезпечити стабільні показники якості та зменшити вплив людського чинника.

Метою даної кваліфікаційної роботи є розробка інтегрованої автоматизованої системи виробництва напівфабрикатів із м'яса птиці, зокрема підсистеми формування нагетсів, із застосуванням сучасного обладнання та технологій. Основу формувального процесу становить машина GEA MultiFormer 400, яка забезпечує точність та повторюваність геометричних параметрів продукції, а для нанесення паніровки застосовується система GEA OptiFlour. Управління процесом реалізується за допомогою програмованого логічного контролера Modicon M340 фірми Schneider Electric, що дозволяє реалізувати гнучку архітектуру керування із використанням сучасних засобів моніторингу та зв'язку.

Робота включає аналіз вимог до технологічного процесу, обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації, розробку ієрархічної моделі системи згідно зі стандартом ISA-95, створення функціональної структури керування та опис алгоритмів роботи системи. Результати дослідження можуть бути використані для впровадження аналогічних систем у промислових умовах.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						7
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

РОЗДІЛ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА ВИКОРИСТОВУВАНІ МЕТОДИ ПРИ ПОБУДОВІ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ

1.1. Аналіз сучасного стану автоматизації процесів формування нагетсів GEA MultiFormer 400

GEA MultiFormer 400 — типовий приклад сучасного платного формера для виробництва нагетсів, котлет, формованих овочевих, м'ясних і веганських продуктів. Машина поєднує механіку дозування, крокового наповнення, модульні формувальні плити та програмовану логіку, що дозволяє отримувати точні порції з мінімальними відходами та швидкою переналадкою на інший продукт, форму.

Сучасні реалізації MultiFormer (включно з моделлю 400) мають такі ключові елементи автоматики:

1) Програмований контролер (PLC) + HMI (touch-panel) — керує послідовністю операцій: наповнення камер, крокова подача, вивід продукту, синхронізація приводів і блоків безпеки; пам'ять «рецептів» зберігає параметри формування для швидкої переналадки. Це вказано в офіційних описах моделі.

2) Модульні формувальні плити (dies) — швидкознімні змінні плити дозволяють отримувати різні форми (квадрат, круг, 3D-форми) і мінімізувати час переходу між продуктами.

3) Система заповнення «step-filling» / Hopper + дозатор — запобігає переоб'ємам, забезпечує стабільну порцію/удар; у технічних пасажах відзначають конструктивні рішення для рівномірного наповнення й мінімізації «giveaway».

4) Система «knock-out» (виведення продукту) — застосовує стиснене повітря/воду для акуратного виведення сформованих виробів зі матриці на конвеєр, зберігаючи структуру продукту.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						8
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

5) Приводи з регулюванням швидкості — для синхронізації подачі та конвеєрів, уникнення накопичень і забезпечення потрібної частоти ударів (strokes/min). Технічні дані моделі 400 показують змінні швидкості та максимальні частоти.

GEA MultiFormer 400 відображає сучасний підхід до автоматизації формування нагетсів: поєднання механічної точної конструкції (step-filling, knock-out, змінні плити) з програмованою логікою PLC/HMI, рецептурним контролем та можливістю інтеграції в лінію й заводські інформаційні системи. Для досягнення максимального рівня якості й продуктивності необхідна доповнювальна автоматизація — inline-контроль маси, візуальна інспекція, синхронізація з подачею сумішей та реалізація превентивної діагностики.

1.2. Аналіз існуючих технічних і програмних рішень

Технічні рішення (апаратна частина)

1) PLC/SoftPLC та модульні контролери — промислові контролери від провідних виробників (Siemens, Allen-Bradley, B&R, Schneider тощо) як локальні ядра логіки управління. Вони забезпечують високу надійність, детермінованість циклів і багатоканальну обробку входів/виходів. Для складних високошвидкісних формувальних машин (наприклад, GEA MultiFormer 400) застосовують контролери з підтримкою motion-контролю і синхронізації кількох приводів.

2) HMI / панелі оператора — сенсорні панелі з рецептурним менеджером, журналом подій і простим інтерфейсом переналаштування продукту; часто мають багаторівневу систему доступу для операторів/інженерів.

3) Приводи з ВЧ-перетворювачами (VFD), серводриви — забезпечують плавне керування швидкістю конвеєрів і синхронізацію тактів формувальної головки; вбудована діагностика струму/вібрації.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						9
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

4) Сенсорні підсистеми: inline-ваги, датчики тиску/наповнення, температури, вологості, оптичні/відеоінспекції (machine vision), датчики рівня та прискорення (вібромоніторинг приводів).

5) Комунікаційні шлюзи та мережі — Ethernet/IP, Profinet, Modbus TCP, OPC UA для зв'язку PLC ↔ SCADA ↔ MES/ERP; CANopen або ProfiNet для приводних модулів.

Програмні рішення (ПЗ керування та аналітики)

1) SCADA / HMI пакети — централізована візуалізація, архівація технологічних параметрів, подієвий лог; дають оператору картину процесу і базові інструменти діагностики.

2) MES (Manufacturing Execution Systems) — відстеження рецептів, облік випуску, traceability (штрих/код партії), збір фактичних даних виробництва та взаємодія з ERP. Для харчових ліній критично корисні для відповідності нормативам і контролю якості.

3) Рецептурні менеджери та бібліотеки — збереження налаштувань (форма, об'єм, тиск, швидкість) для швидкої переналагоджуваності лінії.

4) ПЗ для machine vision — модулі для контролю форми, браку та розмірів продукту; інтегруються з відбракуванням у реальному часі.

5) Аналітичні платформи / IoT-платформи — збір телеметрії, дашборди KPI, алгоритми прогнозування відмов і кореляційний аналіз. Часто використовують edge-компоненти для попередньої обробки даних.

Пакети для predictive maintenance — аналіз спектру вібрацій, електричного струму двигунів, температури підшипників з метою прогнозування відмов.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						10
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

1.3. Принципи побудови інтегрованих систем згідно зі стандартами ISA-88/95/106

Згідно з міжнародними стандартами ISA-88 (Batch Control) — застосування до формувальних процесів

Ієрархія і моделі: ISA-88 розбиває процес на явища/операції/степі/фази — це дає можливість формувати стандартизовані рецепти для батч-процесів. Хоча формування нагетсів — це часто безперервний або пакетно-потоківий процес, підхід ISA-88 корисний для структурування рецептів: наприклад, «Рецепт нагетсу А» → фази: підготовка суміші, дозування, формування, вивід.

Рецептурне управління: чітке розділення між рецептурою (що робити) і керуючою логікою (як виконувати) — це підвищує повторюваність та безпеку переналагоджень.

ISA-95 (Enterprise/Control Integration) — інтеграція між цехом і підприємством

Ієрархія функцій: визначає рівні від польових приладів до бізнес-систем (рівень 0–4). Рекомендації ISA-95 допомагають стандартизувати обмін даними між PLC/SCADA (рівні 1–2) та MES/ERP (рівні 3–4).

Модель обміну даними: опис сутностей (Asset, Equipment, Process Segment) та їх атрибутів — важливо при впровадженні traceability і зв'язуванні виробничих партій з рецептурами та складовими.

Стандартизовані інтерфейси: використання OPC UA або промислових API для передачі замовлень на виробництво, звітів про випуск та показників ефективності.

ISA-106 (Procedural Automation for Continuous Processes)

Стандартизація процедурних елементів: ISA-106 концентрується на стандартизації процедур у безперервних і напівбезперервних процесах — застосовно для поточкових ліній формування.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		11

Управління переходами і станами: чітке визначення процедур для запуску/зупинки/переналаштування/аварійних ситуацій, що знижує ризик помилок операторів і простоїв.

Практичні наслідки для інтегрованої системи MultiFormer 400

Рецептурний шар (ISA-88): централізоване зберігання рецептів для швидкої переналадки, параметризація фаз формування.

Інтеграція з MES/ERP (ISA-95): передача інформації про партію, управління завданнями на виробництво, збір трейс-даних для відповідності харчовим стандартам.

Процедурна автоматизація (ISA-106): визначення процедур для changeover, CIP (clean-in-place), аварійних зупинок, що забезпечує відтворюваність дій та безпеку.

1.4. Методи оцінювання ефективності роботи систем формування нагетсів

Ефективність роботи автоматизованих систем формування нагетсів, таких як GEA MultiFormer 400, оцінюється за сукупністю технічних, технологічних, енергетичних та якісних показників. Метою оцінювання є визначення рівня продуктивності, стабільності, якості готового продукту та економічної доцільності експлуатації обладнання.

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
						12
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

№	Критерій	Опис	Одиниця виміру	Оптимальне значення
1	Продуктивність	Кількість нагетсів за хвилину	шт./хв	Максимальна
2	Коефіцієнт якості	Частка придатних виробів	%	> 98 %
3	OEE	Загальна ефективність обладнання	%	> 85 %
4	Втрати сировини	Відсоток обрізків, відходів	%	< 2 %
5	Енергоємність	Електроенергія на 1 кг продукту	кВт·год/кг	Мінімальна
6	Середній час простою	Час між відмовами або налатками	хв	Мінімальний

Таблиця 1.1 - Ефективність роботи автоматизованих систем формування нагетсів

Оцінювання ефективності системи формування нагетсів має бути комплексним і включати технічні, якісні та економічні аспекти. Використання показників OEE, SPC-аналізу, систем машинного зору та автоматизованих звітів дозволяє отримати повну картину стану лінії GEA MultiFormer 400. Регулярний аналіз цих даних допомагає: виявляти вузькі місця у процесі, зменшувати втрати сировини, підвищувати стабільність форми й маси продукту, покращувати загальну продуктивність лінії.

1.5. Аналіз напрямів удосконалення існуючих систем

Аналіз сучасних автоматизованих систем керування обладнанням харчової промисловості показує, що основними напрямами їх розвитку є підвищення точності технологічних операцій, розширення функцій моніторингу стану

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
						13
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

обладнання, впровадження ключових показників ефективності (KPI), а також інтеграція з системами верхнього рівня управління виробництвом. Разом з тим, рівень реалізації зазначених напрямів значною мірою залежить від складності технологічного процесу, вимог до кінцевого продукту та обсягу інформації, доступної для аналізу.

Для формувальної установки MultiFormer 400 основним критичним параметром технологічного процесу є стабільність та точність формування виробів, що безпосередньо впливає на якість готової продукції та повторюваність її геометричних характеристик. Саме тому у межах даної магістерської роботи основна увага приділена розробці алгоритмів керування, які забезпечують узгоджену роботу формувального вузла, виштовхувальної пластини, пресування продукту та транспортування готових виробів.

У рамках аналізу можливих удосконалень було розглянуто застосування автоматів станів обладнання робочих центрів, що широко використовуються в сучасних MES- та SCADA-рішеннях для складних виробничих ліній. Однак для установки MultiFormer 400, яка працює у чітко визначеній циклічній послідовності та не має розгалуженої маршрутизації матеріальних потоків, впровадження повноцінного автомату станів не є обов'язковим на базовому рівні автоматизації. Натомість логіка роботи реалізована у вигляді послідовного алгоритму з контролем аварійних та дозволяючих умов, що є достатнім для забезпечення безпечної та стабільної роботи обладнання.

Також було проаналізовано можливість впровадження ключових показників ефективності (KPI). У межах даної роботи KPI розглядаються не як повноцінна система виробничої аналітики, а як локальні технологічні показники. Основним KPI для формувальної установки визначено точність формування виробів, яка опосередковано забезпечується стабільністю температури фаршу, узгодженістю швидкостей транспортерів та повторюваністю циклів формування. Розрахунок комплексних KPI, таких як OEE або продуктивність зміни, потребує накопичення

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		14

статистичних даних та інтеграції з системами верхнього рівня, що виходить за межі завдань даної магістерської роботи.

Ще одним можливим напрямом удосконалення є визначення розташування сировини або готової продукції в межах виробничої дільниці. Для установки MultiFormer 400 даний напрям не є актуальним, оскільки технологічний процес формування є локальним, а переміщення продукції відбувається по фіксованому маршруту без альтернативних шляхів. Контроль наявності продукту реалізується за допомогою датчиків та логічних умов у програмі ПЛК без необхідності просторового позиціонування.

Таким чином, у межах даної магістерської роботи реалізовано оптимальний базовий рівень автоматизації, який відповідає функціональному призначенню установки MultiFormer 400. Запропоновані алгоритмічні рішення забезпечують стабільність технологічного процесу, безпечну роботу обладнання та можливість подальшого розширення системи. Розглянуті напрями удосконалення підтверджують перспективність модернізації системи у майбутньому, однак їх повна реалізація доцільна на етапі інтеграції з MES/ERP або при масштабуванні виробничої лінії.

1.6 Мета та завдання магістерської роботи

Мета магістерської роботи полягає у розробці інтегрованої автоматизованої системи виробництва напівфабрикатів із м'яса птиці з підсистемою формування нагетсів. Така система повинна охоплювати всі основні етапи технологічного процесу – від підготовки сировини до фасування готової продукції – і базуватися на сучасних технічних та програмних рішеннях автоматизації (зокрема, використанні формувального обладнання типу GEA MultiFormer 400) та принципах побудови систем відповідно до міжнародних стандартів ISA-88, ISA-95, ISA-106.

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
						15
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Передбачається впровадження сучасних технологій керування та контролю (SCADA, PLC/HMI, рецептурне управління, машинний зір, Industrial IoT, СІР та цифровий двійник) з метою забезпечення високої якості продукції, енергоефективності, безпеки та простежуваності виробництва.

Для досягнення поставленої мети необхідно виконати такі завдання:

Проаналізувати сучасні автоматизовані технологічні лінії виробництва напівфабрикатів із м'яса птиці та існуючі технічні й програмні рішення для їх автоматизації (в тому числі обладнання для формування продуктів типу GEA MultiFormer 400, системи SCADA, PLC/HMI тощо) з метою визначення оптимальних підходів до реалізації підсистеми формування нагетсів.

Дослідити та обґрунтувати застосування принципів міжнародних стандартів ISA-88, ISA-95 та ISA-106 при проектуванні інтегрованої системи керування виробничою лінією напівфабрикатів. Застосування цих стандартів дозволить формалізувати структуру системи та забезпечити її інтеграцію на всіх рівнях управління.

Розробити структурно-функціональну схему інтегрованої автоматизованої лінії виробництва курячих нагетсів, що охоплює всі стадії технологічного процесу (від підготовки сировини, формування, панірування та обсмаження до охолодження, заморожування та фасування) із виділенням основних підсистем та визначенням їх взаємодії.

Розробити проєкт підсистеми формування нагетсів у складі виробничої лінії, включаючи вибір та інтеграцію відповідного обладнання (формуальної машини) і алгоритмів керування. Підсистема має реалізувати рецептурне управління процесом формування та забезпечувати стабільну якість продукції (за потреби із використанням технології машинного зору для контролю форми та розмірів виробів).

Спроекувати систему керування інтегрованою виробничою лінією на базі програмованих логічних контролерів (PLC) та людино-машинного інтерфейсу/SCADA. Система керування повинна реалізувати рецептурне (Batch) управління відповідно до стандарту ISA-88, автоматизовані процедури контролю

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
						16
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

технологічних операцій відповідно до ISA-106, а також включати засоби Industrial IoT для моніторингу технологічних параметрів, енерговитрат і стану обладнання. Особливу увагу слід приділити забезпеченню простежуваності продукції та впровадженню автоматизованих процесів СІР (санітарного очищення обладнання) в межах системи.

Розробити імітаційну комп'ютерну модель (Digital Twin) ключових процесів виробничої лінії, зокрема підсистеми формування нагетсів, для перевірки працездатності та ефективності запропонованих технічних рішень. Модель повинна дозволити оптимізувати параметри роботи системи та підтвердити відповідність отриманих результатів актуальним вимогам щодо якості продукції, енергоефективності, безпеки й простежуваності виробництва.

Таким чином, результатом виконання магістерської роботи стане розроблена підсистема формування нагетсів, інтегрована до складу єдиної автоматизованої виробничої лінії напівфабрикатів із м'яса птиці, яка відповідає сучасним вимогам до якості, енергоефективності, безпеки та простежуваності продукту.

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		17

Modbus, CANopen), що дозволяє легко інтегрувати всі складові виробничої лінії в єдину систему.

Основні характеристики об'єкта:

Продуктивність лінії: висока – до кількох тонн продукції за зміну. Завдяки автоматичним формувальним машинам типу GEA MultiFormer 400 лінія може виробляти тисячі нагетсів на годину з високою точністю форми та ваги.

Номенклатура виробів: курячі нагетси різної геометрії (овальні, прямокутні, фігурні), а також інші формовані напівфабрикати (міні-шніцелі, крокети), які виготовляються за допомогою змінних матриць.

Технологічна інфраструктура: лінія включає ділянки підготовки сировини (подрібнення, змішування), формування, нанесення покриття (OptiFlour), теплової обробки (попереднє обсмаження), охолодження, заморожування й пакування. Кожен етап автоматизується та інтегрується в систему управління.

Необхідність автоматизації:

Для забезпечення стабільної роботи лінії та дотримання жорстких санітарно-гігієнічних норм необхідна інтегрована автоматизована система керування технологічним процесом (АСУ ТП). Система на базі Modicon M340 виконує:

синхронізацію роботи формувачів, панірувальних машин, транспортерів, теплових апаратів;

контроль і регулювання технологічних параметрів (температура, швидкість, час);

обробку сигналів від датчиків (SICK, Pt100, SME-8-K-LED);

керування виконавчими механізмами (електродвигуни, пускачі, розподільники Festo);

виявлення та локалізацію аварійних ситуацій;

інтеграцію з SCADA-системою для візуалізації та архівації процесів.

Система побудована з урахуванням стандартів ISA-88 та ISA-95, що дозволяє чітко структурувати керування рецептурними процесами, забезпечити прозорість і простежуваність виробництва, а також інтеграцію з рівнем керування виробничими

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						19
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ресурсами (MES-рівень). Завдяки використанню Modicon M340 забезпечується модульність, діагностичність і відкритість архітектури системи.

Таким чином, об'єктом дослідження є сучасна автоматизована лінія з виробництва м'ясних напівфабрикатів, побудована на базі контролера Schneider Electric Modicon M340, яка повністю відповідає вимогам до продуктивності, якості та безпеки харчового виробництва.

2.2 Розробка загальної ієрархічної моделі обладнання

Аналіз структури сучасного харчового виробництва, а також прикладів з технічної документації, дозволяє сформувати ієрархічну модель обладнання згідно з вимогами стандартів **ISA-95**, **ISA-88** та **ISA-106**. Застосування цих стандартів дає змогу цілісно представити підприємство, технологічні ділянки, робочі центри, устаткування та функціональні модулі в єдиній уніфікованій системі автоматизованого управління. Це забезпечує прозору інтеграцію між усіма рівнями — від виконавчих пристроїв до рівня MES та ERP-систем.

Верхні рівні ієрархічної моделі (ISA-95):

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						20
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

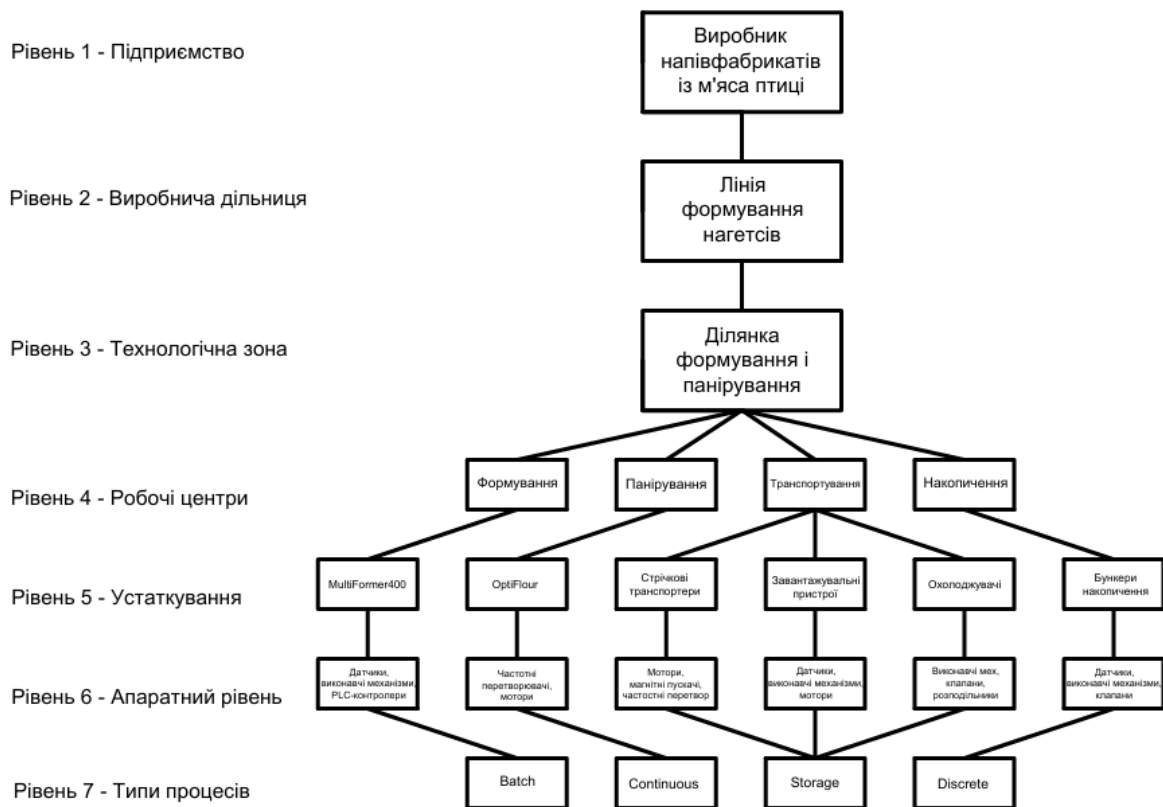


Рисунок 2.2 Загальна ієрархічна модель обладнання

На рис. 2.3 зображено верхні рівні (1–3) ієрархічної моделі виробничої лінії з виготовлення напівфабрикатів із м'яса птиці, де представлено підприємство, виробничу дільницю та технологічну зону. Вони слугують логічною основою для подальшого поділу на ділянки формування, панірування, транспортування та накопичення.

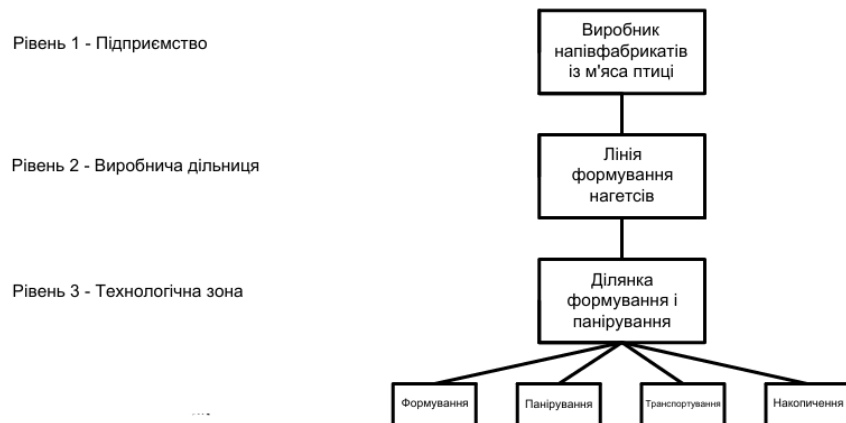


Рисунок 2.3 Верхні рівні (1-3) ієрархічної моделі лінії з виробництва напівфабрикатів (відповідно до ISA-95)

На рис. 2.4 наведено ієрархічну структуру рівнів 4–6, яка деталізує основні робочі центри, агрегати та апарати, що входять до складу виробничої лінії.

Рівень 4 — Робочі центри (технологічні підсистеми):

1. Формування — забезпечення формування виробів з м'ясного фаршу (MultiFormer 400).
2. Панірування — нанесення борошняного та клярного покриття (OptiFlour).
3. Транспортування — переміщення продукту між модулями (стрічкові транспортери).
4. Накопичення — охолодження та тимчасове зберігання (бункери, охолоджувачі).

Рівень 5 — Устаткування:

- MultiFormer 400 — формувальна машина, яка виконує точне дозування та пресування.
- OptiFlour — панірувальна машина з циклічним нанесенням сухих та рідких компонентів.

- Транспортери, завантажувальні пристрої, охолоджувачі, бункери.

Рівень 6 — Апарати (сигнали, сенсори, актуатори):

- Датчики положення, рівня, температури, тиску, швидкості.
- Частотні перетворювачі для регулювання приводів транспортерів.
- Виконавчі механізми (електроприводи, клапани, пневмоциліндри).
- Всі апарати керуються програмованим логічним контролером Modicon M340 (Schneider Electric), що забезпечує обробку сигналів, логіку керування, аварійний захист і передачу даних до SCADA-рівня.



Рисунок 2.4 Нижні рівні (4-6) ієрархічної моделі обладнання лінії нагетсів відповідно до ISA-106/95

Ця модель повністю відповідає вимогам сучасної автоматизації в харчовій промисловості. Завдяки застосуванню Modicon M340 досягається висока швидкодія, гнучкість конфігурації та простота інтеграції з периферійним обладнанням (через Ethernet/IP, Modbus TCP, CANopen тощо).

У подальших розділах на основі цієї структури буде описано алгоритми автоматичного керування, логіку ПЛК, взаємодію з SCADA та засоби забезпечення простежуваності виробництва

2.3. Функціональна структура системи

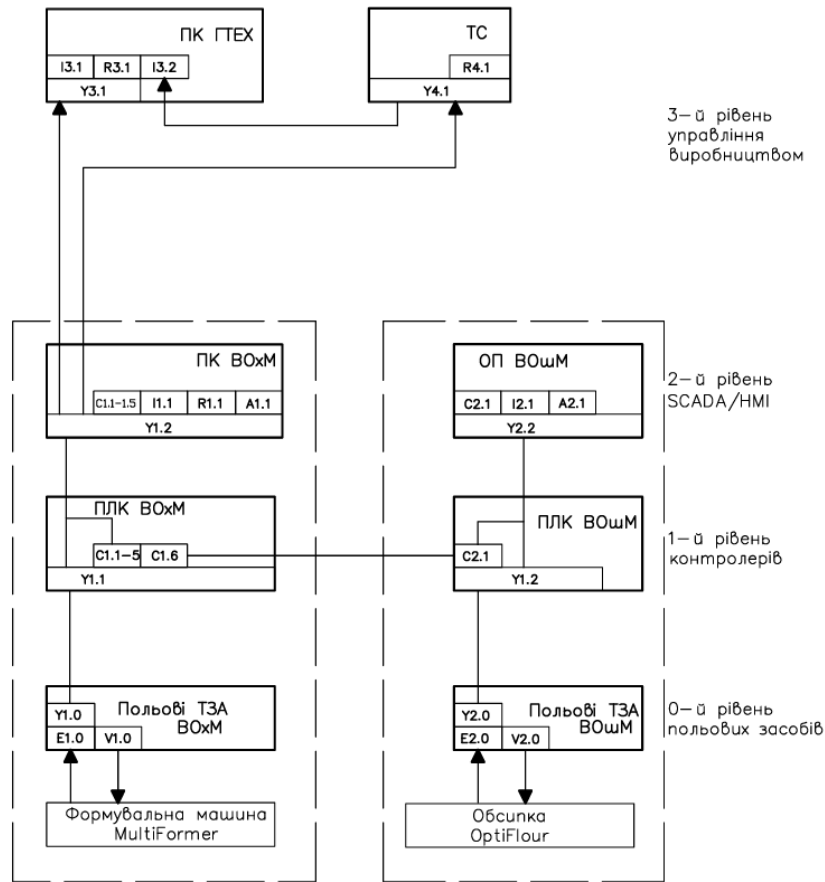


Рисунок 2.5 – Функціональна структура схеми

Схема демонструє функціональну та інформаційну архітектуру АСУТП лінії виробництва напівфабрикатів із м'яса птиці, що включає підсистеми формування та панірування нагетсів. Архітектура відповідає сучасним стандартам промислової автоматизації (ISA-95 / IEC-62264) і структурно поділена на чотири рівні управління.

0-й Рівень (Польові Засоби) (Field Level):

Це базовий рівень автоматизації, де розташовані всі пристрої, що безпосередньо взаємодіють з технологічним обладнанням: датчики, виконавчі механізми, приводи, пускачі, частотні перетворювачі тощо.

На даному рівні функціонують два основні технологічні агрегати:

1) ВОхМ (Формувальна машина MultiFormer400) формування виробів із фаршу. Сигнали Y1.0, E1.0, V1.0

2) ВОшМ (Машина панірування OptiFlour) нанесення сухого покриття. Сигнали Y2.0, E2.0, V2.0

Полюві засоби передають вимірювальну інформацію (E-сигнали), сигнали станів (Y-сигнали) та отримують команди керування (V-сигнали) від відповідних ПЛК.

1-й Рівень (Контролери) (Control Level):

Управління технологічними процесами здійснюється двома програмованими логічними контролерами:

1) ПЛК ВОхМ (Формування) Modicon M340, сигнали C1.1-5, Y1.1, I1.1, R1.1, A1.1

2) ПЛК ВОшМ (Панірування) Modicon M340, сигнали C2.1, Y1.2

Функціональні задачі цього рівня:

1. Пуск/зупинка обладнання
2. Контроль аварійних станів
3. Виконання алгоритмів інтерлоку та безпеки
4. Синхронізація технологічних швидкостей
5. Обмін технологічними даними між підсистемами

Зв'язок між контролерами реалізовано по Ethernet / Modbus TCP для забезпечення узгодженої роботи лінії.

2-й рівень (Контролюючий SCADA/HMI) (Supervisory Level):

Інтерфейс оператора реалізується через два автоматизовані робочі місця:

1) ПК ВОшМ (OP) – Відображення параметрів панірування, керування режимами.

2) ПК ВОхМ – Інтерфейс оператора формування

Основні функції:

1. Візуалізація технологічного процесу на мнемосхемах

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						25
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Задання параметрів рецептури (вага виробу, швидкість транспортування)
3. Реєстрація аварій, повідомлень і журналів подій
4. Передача параметрів на контролери в реальному часі
5. Архівування даних як трендів

Передача даних здійснюється через промислову мережу TCP/IP.

3-й рівень управління виробництвом (Management Enterprise Level):

Цей рівень забезпечує аналітику та адміністративний контроль технологічної лінії.

1) ПК ГТЕХ – Станція технологічного керування, контроль параметрів виробництва.

2) ТС – Технологічний сервер: SQL, історичні дані, формування звітів.

Тут реалізуються:

1. Довгострокове збереження даних
2. Формування статистики та звітів по партіях
3. Контроль ефективності лінії та планування виробництва
4. Передача налаштувань на нижні рівні

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		26

Таблиця 1 - Умовні позначення до схеми функціональної структури

Позначення	Найменування
Y1.0/Y2.0	Сигнали стану польових пристроїв (Підтвердження виконання команд) підсистем ВОхМ/ВОшМ
E1.0/E2.0	Вимірювальні сигнали від датчиків польового рівня ВОхМ/ВОшМ
V1.0/V2.0	Керуючі сигнали на виконавчі механізми ВОхМ/ВОшМ
MultiFormer	Формувальна машина
Польові ТЗА ВОхМ/ВОшМ	Датчики, приводи, частотні перетворювачі, пускачі.
ПЛК ВОхМ	Програмований логічний контролер формування Modicon M340
ПЛК ВОшМ	Програмований логічний контролер паніровки Modicon M340
C1.1-C1.6	Керування виконавчими механізмами та приводами у підсистемі формування
C2.1	Керування обладнанням панірування та транспортування
Y1.1/Y1.2	Стан технологічного обладнання на рівні контролерів
ПК ВОхМ	Автоматизоване робоче місце оператора формування виробів
ОР ВОшМ	Автоматизоване робоче місце оператора панірувальної підсистеми
C2.1	Надходження управляючих команд від НМІ до ПЛК панірування
I1.1/I2.1	Передача інформації від ПЛК до НМІ
A1.1/A2.1	Аварійні сигнали оператору
Y2.2	Збір та передача операційної інформації на рівень SCADA
ПК ГТЕХ	Координуюча станція технологічного керування
ТС	Технологічний сервер
I3.1/I3.2	Передача даних параметрів виробництва

Продовження таблиці 1. Умовні позначення до схеми функціональної структури

R3.1	Реєстрація подій, команд та операційних звітів на ПК ГТЕХ
Y3.1/ Y4.1	Зворотній зв'язок: підтвердження виконання команд верхнього рівня
R4.1	Архівація технологічних параметрів за надісланими командами
Ethernet/Modbus TCP	Канал обміну реального часу між ПЛК ВОхМ і ПЛК ВОшМ та SCADA/сервером

2.4 Опис функцій, що автоматизуються

У переліку наведені функції, що автоматизуються в межах двох взаємопов'язаних підсистем керування: ПЛК формування (MultiFormer 400) та ПЛК панірування (OptiFlour). Кожна функція реалізується через відповідні сигнали, що забезпечують читання технологічних параметрів та запис керуючих впливів на виконавчі механізми. Дані отримуються з польових датчиків (рівень, стан, аварії, швидкість приводу), обробляються на рівні контролерів та забезпечують безпечне та узгоджене керування формувальньо-панірувальним процесом. Періодичність опитування для всіх автоматизованих параметрів встановлена на рівні 1 секунди, що гарантує своєчасне реагування системи на зміну стану обладнання і стабільність виробничого циклу. Сигнали згруповано за функціональними ознаками: керування формувачем (позиції С1.х) та керування панірувальними стрічками (позиції С2.х), що забезпечує логічну структуру задач і спрощує подальшу інтеграцію в алгоритмічні діаграми та SCADA-відображення.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		28

Таблиця 2 – Перелік функцій, що автоматизуються.

Позиція	Найменування функції/сигналу	Джерело / приймач	Читання / запис	Діапазон	Періодичність	Примітка
C1.1	Пуск/зупинка формувача MultiFormer	ПЛК Формування	W	0/1	1 с	Керування
	Стан формувача	ПЛК Формування	R	0/1	1 с	Контроль
	Аварійна зупинка формувача	ПЛК Формування	R	0/1	1 с	Безпека
C1.2	Контроль рівня фаршу	ПЛК Формування	R	0–100 %	1 с	Датчик рівня
C1.3	Швидкість формування	ПЛК Формування	W	20–100 %	1 с	Частотний привід
C1.4	Контроль положення матриці	ПЛК Формування	R	0/1	1 с	Кінцевики
C1.5	Контроль тиску в формувальному вузлі	ПЛК Формування	R	0–10 bar	1 с	(опція)
C1.6	Контроль аварій формувача	ПЛК Формування	R	0/1	1 с	Аварійні алгоритми
C2.1	Швидкість стрічки 1	ПЛК Панірування	W	0–100 %	1 с	Частотник
	Контроль швидкості стрічки 1	ПЛК Панірування	R	0–100 %	1 с	Зворотний зв'язок
C2.2	Швидкість стрічки 2	ПЛК Панірування	W	0–100 %	1 с	Координація
	Контроль швидкості стрічки 2	ПЛК Панірування	R	0–100 %	1 с	Зворотний зв'язок
C2.3	Швидкість стрічки 3	ПЛК Панірування	W	0–100 %	1 с	Узгодження
	Контроль швидкості стрічки 3	ПЛК Панірування	R	0–100 %	1 с	Зворотний зв'язок
C2.4	Стан панірувальної системи OptiFlour	ПЛК Панірування	R	0/1	1 с	Працює/стоп
C2.5	Аварійна зупинка OptiFlour	ПЛК Панірування	R	0/1	1 с	Безпека

Таблиця 3 – Перелік функцій ПЛК формування та панірування

Позначення	Найменування функції / задачі	Закон / алгоритм	Період	Примітка
form.FC1	Керування формувачем MultiFormer (пуск/стоп, контроль стану)	on/off	1 с	Основний технологічний вузол
form.LC1	Контроль рівня фаршу в зоні подачі	R (зчитування)	1 с	Датчик рівня
form.SC1	Керування швидкістю формування	регулювання (manual %)	1 с	Узгодження з транспортером
form.AC1	Обробка аварійних сигналів формувача	аварійна логіка	1 с	Захист оператора
coat.FC1	Керування стрічкою 1 OptiFlour	on/off	1 с	Транспортування
coat.SC1	Регулювання швидкості стрічки 1	manual %	1 с	Синхронізація зі стрічкою 2
coat.SC2	Регулювання швидкості стрічки 2	manual %	1 с	Контроль товщини паніровки
coat.SC3	Регулювання швидкості стрічки 3	manual %	1 с	Вихідна швидкість
coat.AC1	Обробка аварій OptiFlour	аварійна логіка	1 с	Аварійна зупинка лінії

Таблиця 4 – Перелік змінних для ПЛК формування та панірування

Позначення	Найменування змінної	Джерело	VOxM.Y1 / VOшM.Y2	VOxM.I2 / VOшM.I2	VOxM.HC2 / VOшM.HC2	VOxM.A2 / VOшM.A2	VOxM.Rt.r2 / VOшM.Rt.r2	VOxM.RI.g2 / VOшM.RI.g2	Алгоритм / Діапазон	Примітка	Позначення	Найменування змінної
form.Y0	Стан формувача	Польові ТЗА	OUT	IN	HC	аварія	1 с	7 діб	on/off	Основний вузол	form.Y0	Стан формувача
form.E0	Рівень фаршу	Польові ТЗА	OUT	IN	HC	-	1 с	7 діб	0–100 %	Контроль подачі	form.E0	Рівень фаршу
form.V0	Команда приводу	PLC-VOxM	IN	OUT	HC	-	1 с	-	on/off	Пуск/стоп	form.V0	Команда приводу
form.SC1	Швидкість формування	PLC-VOxM	IN	OUT	HC	A2	1 с	7 діб	20–100 %	Синхронізація	form.SC1	Швидкість формування
form.C1	Положення матриці	PLC-VOxM	OUT	IN	HC	аварія	1 с	-	on/off	Кінцевик	form.C1	Положення матриці
form.AC1	Аварія формувача	PLC-VOxM	OUT	IN	HC	A2	1 с	7 діб	0/1	Захист	form.AC1	Аварія формувача

ПЛК FORM – контролер підсистеми формування та панірування

Контролер FORM обробляє сигнали з обладнання, що входить до підсистеми формування та первинної обробки напівфабрикатів. До складу цієї підсистеми належать:

1. формувальна машина MultiFormer 400 – сигнали form.E0, form.Y0, form.C1, form.AC1, form.SC1;
2. модуль панірування OptiFlour – сигнали coat.Y0, coat.AC1, coat.V0;
3. три транспортні стрічки лінії – belt1.SC1, belt2.SC1, belt3.SC1;
4. завантажувальні пристрої та бункери накопичення – load.C1, асс.Y0.

Контролер забезпечує повний цикл автоматизованого управління технологічним процесом, що включає:

1. підтримання стабільної подачі фаршу в MultiFormer;
2. керування швидкістю формування та синхронізацію з транспортерною системою;
3. керування OptiFlour, подачею панірувальної суміші та контроль аварій;
4. регулювання швидкостей трьох стрічкових транспортерів залежно від продуктивності формувальної машини;
5. керування завантажувальними пристроями та накопичувачами;
6. передачу всіх технологічних параметрів до системи SCADA для відображення, архівування і діагностики.

ПЛК FORM забезпечує узгоджену роботу всіх ділянок лінії — від моменту формування виробу до подачі його на етап охолодження або подальшої обробки.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						31
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 5 – Перелік функцій ПЛК FORM

Позначення	Найменування функції/задачі	Закон/алгоритм	Період	Примітка
form.LC1	Стабілізація рівня фаршу	PI	500 мс	MultiFormer 400
form.FC1	Пуск/стоп приводу формування	on/off	200 мс	Команда V0
form.SC1	Регулювання швидкості формування	лінійний алгоритм	200 мс	20–100%
form.C1	Контроль положення матриці	on/off	1 с	Кінцевики матриці
form.AC1	Аварійний стан формувача	on/off	1 с	Захист, блокування
coat.FC1	Пуск приводу OptiFlour	on/off	200 мс	Подача суміші
coat.SC1	Керування швидкістю панірувальної камери	лінійний алгоритм	500 мс	20–100%
belt1.SC1	Швидкість стрічки №1	пропорц. алгоритм	200 мс	Синхронізація з MultiFormer
belt2.SC1	Швидкість стрічки №2	пропорц. алгоритм	200 мс	Вирівнювання потоку
belt3.SC1	Швидкість стрічки №3	пропорц. алгоритм	200 мс	Подача до OptiFlour
load.C1	Керування завантажувальним пристроєм	on/off	500 мс	Бункери/підживлення
acc.Y0	Стан бункера накопичення	дискретний контроль	1 с	Готовність/переповнення

Таблиця 6 – Перелік змінних для ПЛК FORM

Позначення	Найменування змінної	Джерело	FORM.Y1	FORM.S.on.Y2	FORM.S.on.I2	FORM.S.on.HC2	FORM.S.on.A2	FORM.S.on.Rtr2	FORM.S.on.Rlg2	FORM.S.on.Alg2	Діапазон / Алгоритм	Примітка
form.Y0	Стан формувача	Польові ТЗА	OUT	IN	1 с	HC	аварія	1 с	7 діб	on/off	0/1	MultiFormer
form.E0	Рівень фаршу	Польові ТЗА	OUT	IN	1 с	HC	–	1 с	7 діб	PI	0–100%	Контур подачі
form.V0	Команда приводу формувача	PLC-FORM	IN	OUT	HC	–	–	–	on/off	–	Пуск/стоп	
form.SC1	Швидкість формування	PLC-FORM	IN	OUT	HC	A2	1 с	7 діб	лін. рег.	20–100%	Синхронізація продуктивності	
form.C1	Положення матриці	PLC-FORM	OUT	IN	HC	аварія	–	1 с	7 діб	on/off	кінцеві кінцевик	Кінцеві вимикачі матриці
form.AC1	Аварія формувача	PLC-FORM	OUT	IN	HC	A2	1 с	7 діб	on/off	0/1	Захист	
coat.Y0	Стан OptiFlour	Польові ТЗА	OUT	IN	1 с	HC	аварія	1 с	7 діб	on/off	0/1	Модуль панірування
coat.E0	Рівень панірувальної суміші	Польові ТЗА	OUT	IN	1 с–	HC	–	1 с	7 діб	PI	0–100%	Контур подачі
coat.V0	Команда приводу OptiFlour	PLC-FORM	IN	OUT	HC	–	–	–	on/off	–	Пуск/стоп	
coat.SC1	Швидкість панірування	PLC-FORM	IN	OUT	HC	A2	1 с	7 діб	лін. рег.	20–100%	Регулятор потоку	
coat.AC1	Аварія OptiFlour	PLC-FORM	OUT	IN	HC	A2	1 с	7 діб	on/off	0/1	Захист	
belt1.SC1	Швидкість стрічки №1	PLC-FORM	IN	OUT	HC	–	1 с	7 діб	пропорц.	20–100%	Синхронізація	
belt2.SC1	Швидкість стрічки №2	PLC-FORM	IN	OUT	HC	–	1 с	7 діб	пропорц.	20–100%	Вирівнювання потоку	
belt3.SC1	Швидкість стрічки №3	PLC-FORM	IN	OUT	HC	–	1 с	7 діб	пропорц.	20–100%	Подача до OptiFlour	

Рівень SCADA/HMI (2-й рівень)

На другому рівні автоматизації виконується збір та обробка даних від двох контролерів Modicon M340, які забезпечують роботу формувальної машини *MultiFormer 400* та панірувальної системи *OptiFlour*. Дані надходять на станцію оператора ПК.ОП.FORM, де здійснюються такі функції:

- відображення стану технологічної лінії формування та панірування;
- побудова мнемосхем із використанням структурних тегів (form.Y1, form.I2, coat.Y1, coat.I2 тощо);
- фіксація аварійних та попереджувальних сигналів (form.A2, coat.A2);
- ведення архівів подій та трендів;
- формування команд керування виконавчими механізмами й передача їх у PLC (режими роботи, пуски, зупинки, налаштування).

SCADA працює зі структурованими змінними, що дозволяє точно відображати взаємозв'язки між польовими сигналами, контролерами і верхнім рівнем.

Рівень управління виробництвом (3-й рівень)

Верхній рівень АСУТП представлений:

- **ПК FORM** – станція технолога лінії формування нагетсів;
- **ВОxM** – сервер технологічних даних та звітності.

Цей рівень працює виключно з агрегованими даними, які SCADA передає через внутрішню мережу. Верхній рівень не взаємодіє безпосередньо з датчиками та приводами.

Основні функції:

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						34
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- аналітика роботи обладнання (цикли, продуктивність, відхилення);
- формування та збереження виробничих звітів;
- високорівневе керування режимами виробництва — запуск, зупинка, переналаштування лінії.

Такий підхід забезпечує повну структурованість інформації та чітку взаємодію між усіма рівнями АСУТП.

Таблиця 7 - Вимоги до періодичності відновлення сигналів

Тип сигналу	Мін. частота	Обґрунтування
Стан формувача, аварії, положення матриці, рівні фаршу (form.Y0, form.AC1, form.C1)	200–500 мс	Забезпечення безпечної роботи формувальної машини, виявлення залипання матриці, аварійних станів приводу.
Швидкості стрічок панірування, стан транспортерів (coat.S1, coat.V0)	300–500 мс	Сталість технологічного процесу панірування, синхронізація транспортерів між собою та з формувачем.
Міжконтролерні сигнали PLC-FORM ↔ PLC-COAT (дозволи, синхронізація циклів)	100–300 мс	Забезпечення роботи лінії в єдиному ритмі: формувач → панірувальна машина.
Температура фаршу / середовища (за наявності датчиків)	1 с	Інформаційний контроль стабільності технологічних умов.
Дані про рівень панірування, стан бункерів (coat.Y0)	1 с	Контроль завантаження подаючих бункерів OptiFlour.
SCADA-оновлення (мнемосхеми, індикація, кнопки керування)	1 с	Комфорт оператора, актуальність інформації на екрані.
Архів, тренди (параметри формування, аварії, режими)	5–10 с	Оптимальний баланс між інформативністю та обсягом архівів SCADA.

У межах даного підрозділу виконано деталізований аналіз функцій АСУ ТП інтегрованої лінії формування та панірування нагетсів, що працює під керуванням двох взаємопов'язаних контролерів ПЛК FORM (MultiFormer 400) та ПЛК COAT (OptiFlour). Наведена таблиця визначає основні вимоги до періодичності оновлення сигналів, що забезпечують:

- безпечну роботу високошвидкісної формувальної машини;
- синхронізовану передачу продукту до панірувальної ділянки;
- стабільність роботи стрічкових транспортерів;
- точне виявлення аварійних та попереджувальних станів;
- своєчасне оновлення інформації на SCADA-рівні;
- мінімально необхідний рівень деталізації архівів.

Запропоновані частоти опитування узгоджені з вимогами стандартів ISA-95/ISA-106 та можливостями контролерів Modicon M340, що гарантує надійну та безперебійну роботу автоматизованої лінії формування і панірування нагетсів. Структурований підхід до формування таблиць сигналів створює основу для подальшої розробки програмного забезпечення контролерів, SCADA та опису алгоритмів керування.

2.5. Структурна схема комплексу технічних засобів

Структурна схема комплексу технічних засобів (КТС) для інтегрованої автоматизованої системи формування та панірування напівфабрикатів із м'яса птиці відображає взаємодію всіх апаратних компонентів, включаючи два промислових контролери Modicon M340, панірувальну машину OptiFlour, формувальну машину MultiFormer 400, а також SCADA/HMI-рівень та сервер збору й архівації даних.

Обмін інформацією між ПЛК та SCADA здійснюється за допомогою промислової мережі Ethernet / Modbus TCP, що забезпечує високу швидкість, надійність та детермінованість взаємодії, необхідні для синхронної роботи формувальної та панірувальної ділянок.

Нижній (польовий) рівень використовує сигнали 24 В, аналогові 4–20 mA та дискретні входи/виходи, які надходять від виконавчих механізмів, датчиків

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
						36
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

положення, датчиків рівня та приводів транспортерів. Середній рівень (рівень контролерів) здійснює алгоритмічну обробку, регулювання та логічний контроль послідовності роботи обладнання. Верхній рівень (SCADA/HMI та сервер архівів) забезпечує візуалізацію, диспетчеризацію, реєстрацію аварій та керування технологічним процесом.

КТС побудований відповідно до вимог промислової автоматизації та забезпечує узгоджену роботу обладнання формувальної та панірувальної ділянок, включаючи синхронізацію конвеєрів, дозування фаршу, контроль стану машин та передачу даних на операторську станцію.

Таблиця 8 – Рівні мережевої інтеграції

Рівень	Мережа / протокол	Призначення
Рівень М3 (SCADA / диспетчеризація)	Industrial Ethernet / Modbus TCP	Комунікація SCADA з ПЛК FORM та ПЛК СОАТ; архівування даних; операторські АРМ; передача команд керування.
Рівень М2 (керування)	Modbus TCP	Взаємодія між двома ПЛК Modicon М340: синхронізація формувальної та панірувальної ділянок; обмін статусами, аваріями та технологічними сигналами.
Рівень М1 (польовий / виконавчі механізми)	24 В DC, 4–20 mA, дискретні сигнали	Підключення датчиків рівня, датчиків тиску, енкодерів, виконавчих механізмів приводу матриці, стрічкових транспортерів, дозаторів панірування.

Мережева інфраструктура автоматизованої лінії формування та панірування побудована як комбінована багаторівнева структура, що забезпечує надійну, високошвидкісну та детерміновану взаємодію між усіма елементами комплексу. До складу системи входять два програмовані логічні контролери Modicon М340 — ПЛК FORM (формувальна машина MultiFormer 400 та транспортна ділянка) і ПЛК

СОАТ (панірувальна машина OptiFlour), а також станція оператора SCADA та сервер архівування.

На верхньому рівні М3 (SCADA/диспетчеризація) використовується топологія типу «Зірка» з центральним індустріальним комутатором (SCALANCE XB008 або аналог). До комутатора підключені АРМ оператора, SCADA/архів-сервер, ПЛК FORM та ПЛК СОАТ. Комунікація здійснюється через промисловий Ethernet (Modbus TCP) із використанням кабельної інфраструктури Industrial Ethernet FC Standard Cable 4×2 та промислових роз'ємів RJ45. Даний рівень забезпечує операторський контроль за станом технологічної лінії, ведення архівів, журналів подій, формування команд керування, синхронізацію роботи обладнання та обмін виробничими параметрами між контролерами.

На рівні М2 (керування) реалізовано два окремі сегменти мережі — для ПЛК FORM та ПЛК СОАТ. Сегмент ПЛК FORM відповідає за комунікацію з формувальною машиною MultiFormer 400 та всіма транспортерами. У цьому сегменті здійснюється збір сигналів стану обладнання, керування частотними перетворювачами стрічок, контроль положення матриці, передача аварійних сигналів і виконання команд керування технологічними механізмами. Другий сегмент, ПЛК СОАТ, обслуговує панірувальну машину OptiFlour: контроль рівня панірувальної суміші, стану механізмів, приводу циркуляції та транспортерів панірування, обробка аварійних сигналів та передача даних у SCADA. Обидва мережеві сегменти об'єднані між собою через комутатор М3, що забезпечує синхронізовану роботу формування та панірування, узгоджені пуски/зупинки та передачу критичних станів між контролерами.

На польовому рівні М1 застосовується топологія типу «Лінія», яка використовується для підключення виконавчих механізмів, датчиків та периферійного обладнання. Для ПЛК FORM підключені: датчики рівня фаршу, кінцеві вимикачі та датчики

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
						38
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

положення матриці, датчики швидкості транспортерів (енкодери), частотні перетворювачі приводів стрічок, аварійні виходи MultiFormer 400 та сигнали пуску/стопу подачі фаршу.

Для ПЛК СОАТ на рівні М1 підключаються: датчики рівня панірувальної суміші, аварійні виходи OptiFlour, приводи циркуляції та подачі суміші, транспортні механізми після панірування, датчики стану дверей та захисних елементів. Передача польових сигналів здійснюється через дискретні входи/виходи 24 V DC, аналогові 4–20 мА, інкрементальні сигнали та сухі контакти аварій.

Таким чином, мережева інфраструктура забезпечує повну інтеграцію формувального та панірувального обладнання в єдину автоматизовану систему. Верхній рівень SCADA виконує функції моніторингу, архівації та командування; середній рівень — керування виконавчими механізмами через два незалежні ПЛК; а польовий рівень — отримання та обробку сигналів від усіх сенсорів і приводів. Така структура гарантує узгоджену, безпечну та стабільну роботу технологічної лінії формування та панірування.

Таблиця 9 - Інтеграція вузлів та вибір мережного обладнання

Вузол КТС	Комунікаційний засіб	Порт підключення	Примітка
ПЛК FORM (Modicon M340)	Ethernet / Modbus TCP (вбудований ETH-порт)	ETH1	Основний контролер формувальної машини та транспортерів
ПЛК СОАТ (Modicon M340)	Ethernet / Modbus TCP	ETH1	Контролер панірувальної машини OptiFlour
SCADA сервер / АРМ оператора FORM–СОАТ	Стандартна LAN-карта	RJ45	Підключення до центрального комутатора
Комутатор промисловий (аналог SCALANCE XB008)	8 × RJ45	—	Центральний вузол мережі МЗ
Формувальна машина MultiFormer 400 (вузли діагностики)	Ethernet (вихід діагностики / сервіс)	RJ45	Доступ до сервісної інформації
Панірувальна машина OptiFlour (система моніторингу)	Ethernet / Service Port	RJ45	Передача станів та аварій у ПЛК

Частотні перетворювачі транспортерів FORM	Ethernet / Modbus TCP	ETH IN/OUT	Підключення приводів стрічок 1–3
Частотні перетворювачі циркуляції СОАТ	Ethernet / Modbus TCP	ETH IN/OUT	Daisy-chain для приводу циркуляції та подачі
Польові датчики (рівень, аварія, положення)	Дискретні/аналогові сигнали 24V DC, 4–20 mA	DI/AI модулі ПЛК	Польовий рівень M1
Модулі вводу/виводу ПЛК M340	CANopen / Modbus	внутр. шина	Розширення каналів для польових ТЗА
Локальний ПК обслуговування (сервіс інженера)	LAN	RJ45	Локальна діагностика та налаштування

2.6. Опис інформаційного забезпечення АСУТП виробництва та основного відділення

Структурна схема інформаційної та мережевої взаємодії інтегрованої АСУТП лінії формування та панірування напівфабрикатів відображає повний цикл обміну даними між робочими станціями, контролерами, панелями оператора та польовими приводами. Система побудована відповідно до вимог промислової автоматизації щодо надійності, відмовостійкості, швидкодії та можливості подальшого масштабування технологічного процесу. Усі вузли верхнього рівня — ПК ВОхМ, ПК ГТЕХ та ТС ВОхМ — підключені до промислового комутатора SW через інтерфейс LAN. Через комутатор здійснюється обмін з SCADA/HMI, ведення архівів, робота з журналами подій, формування та передача рецептур, а також дистанційне керування технологічними режимами. Промисловий Ethernet забезпечує високу пропускну здатність, стабільність та надійність зв'язку між SCADA-сервером і контролерами.

На рівні ПЛК функціонують два незалежні контролери Modicon M340: ПЛК ВОхМ — контролер формувальної машини MultiFormer, та ПЛК ВОшМ — контролер панірувальної машини OptiFlour. Обидва ПЛК підключені до комутатора через Ethernet-порт ETH, що забезпечує швидкий обмін технологічними даними зі SCADA та між собою. ПЛК ВОхМ здійснює управління

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
						40
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

вузлами формування, контролює стан обладнання, обробляє аварійні та діагностичні сигнали, а також взаємодіє з польовими виконавчими механізмами через мережу CANopen, до якої підключений привід PDS1. ПЛК ВОшМ керує швидкостями стрічок панірування, системою подачі та циркуляції паніруючої суміші, виконує контроль рівнів, аварій та режимів роботи OptiFlour, а також здійснює взаємодію з приводами PDS2, PDS3 та PDS4 через протокол Modbus TCP.

Операторська панель ВОшМ підключена до контролера через COM-інтерфейс і забезпечує локальне керування технологічним процесом, зчитування станів обладнання та введення параметрів. На польовому рівні розташовані всі виконавчі механізми та приводи, які забезпечують рух стрічок, подачу панірувальної суміші, роботу формувальних вузлів та інші механічні операції. Мережа побудована таким чином, що всі польові пристрої отримують команди безпосередньо від відповідного ПЛК, а результати їх роботи передаються в SCADA у вигляді структурованих змінних.

Загалом архітектура системи поєднує Industrial Ethernet для верхнього рівня, Modbus TCP для приводів OptiFlour та CANopen для приводів MultiFormer, що дозволяє оптимально розділити навантаження, забезпечити стабільний обмін у реальному часі та гарантувати точність технологічних операцій. Така структура забезпечує логічне розмежування підсистем, підвищує безпеку та дозволяє легко розширювати лінію новими модулями або обладнанням. Схема демонструє взаємодію всіх апаратних компонентів як єдиної інтегрованої АСУТП, що забезпечує безперервний контроль, швидке реагування на аварійні події та зручність керування для оператора та інженера.

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		41

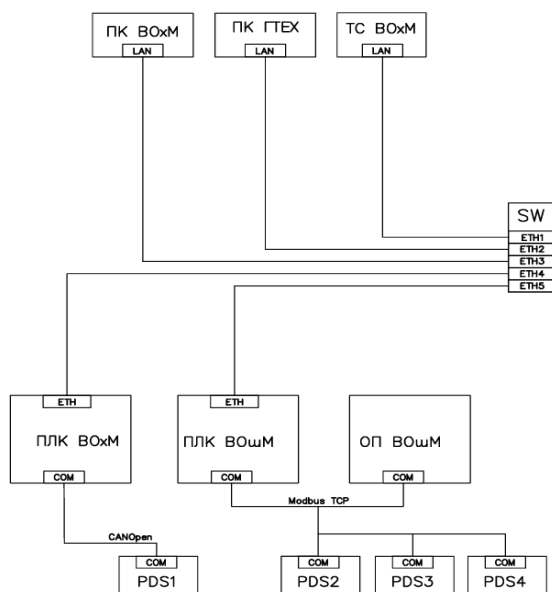


Рисунок 2.6 - Фрагмент структурної схеми КТС АСУТП виробництва

Таблиця 9 – Список мережного обладнання та технічних засобів

Позначення	Найменування	К-сть	Примітка
ПК ВОхМ	ПК оператора відділення охолодження	1	Intel® Xeon® E5-2420 1,9 GHz, RAM 4 Gb
ПК ГТЕХ	ПК головного технолога	1	Intel® Xeon® E5-2420 1,9 GHz, RAM 4 Gb
ТС ВОхМ	Технологічний сервер відділення охолодження	1	Intel® Xeon® E5-2470 2,3 GHz, RAM 16 Gb
SW	5-портовий 10/100/1000 Мбіт/с комутатор TP-Link	1	TP-Link TL-SG105
PDS1-12	Частотний перетворювач	1	Danfoss FC300 Modbus RTU
ОП ВОшМ	Операторська панель відділення ошпарювання	1	MAGELIS XBTN 400 (Schneider Electric)
ПЛК ВОшМ	Програмований логічний контролер відділення ошпарювання	1	Schneider Electric M340 Modbus Ethernet
ПЛК ВОхМ	Програмований логічний контролер відділення охолодження	1	Schneider Electric M340 Modbus Ethernet

РОЗДІЛ 3 – РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

(ОБЛАДНАННЯМ)

3.1. Схема автоматизації та специфікація приладів та засобів автоматизації польового рівня

Функціональна схема автоматизації (ФСА) — це графічне відображення принципів роботи автоматизованої системи, яке показує взаємозв'язки між технологічним обладнанням, датчиками, виконавчими механізмами та засобами керування. Вона демонструє, що саме контролює система, які параметри вимірюються та яким чином відбувається вплив на процес. На відміну від детальних електричних схем, ФСА показує логіку та структуру керування на технологічному рівні.

У функціональній схемі відображаються всі основні контури керування та сигналізації: вимірювання температури, рівня, тиску, станів механізмів, а також виконавчі механізми — клапани, частотні перетворювачі, пускачі. Через умовні позначення стандартизованих типів приладів (за ДСТУ/ГОСТ/ISA) показано, яким способом вони взаємодіють із ПЛК, SCADA або локальними панелями керування.

Основна функція ФСА — забезпечити зрозумілу модель автоматизації, яка дозволяє інженеру чітко визначити склад польових приладів, логіку роботи контурів та взаємодію між ними. На основі ФСА формується специфікація приладів, кабельні журнали, структурні схеми КТС та розробляються алгоритми керування. Вона є мостом між технологічною частиною та проектом АСУТП, задаючи основу для подальшого програмування та монтажу.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		43

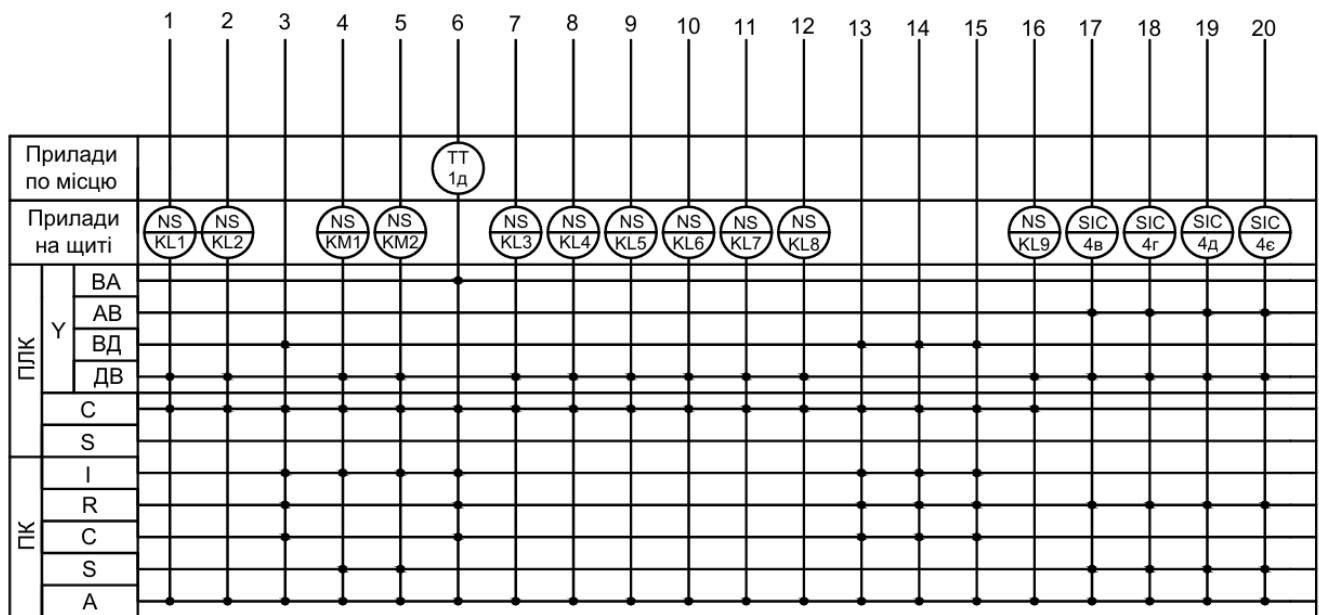


Рисунок 3.1 – Фрагмент виконання нижньої частини схеми автоматизації з засобами розподіленого вводу/виводу та ПЛК Modicon M340

Таблиця 10 – Специфікація засобів та приладів автоматизації польового рівня

Поз	Найменування та технічна характеристика засобу	Тип, марка, позначення	Код обладнання, виробу, матеріалу	Завод-виготовлювач/виробник	Одиниця виміру	К-сть	Маса одиниці, кг	Примітка
1а, 16,2 а,26 ,3а, 36,3 в,3г	Електромагнітний гідророзподільник 4/3, номінальний тиск 315 бар, продуктивність 60 л/хв, керування котушкою 24VDC	4WE10H 50/EG24 N9K4/M	-	Bosch Rexroth, Німеччина	шт	8		Керування гідролініями
1в	Оптичний дтчик, діапазон спрацювання 30–200 мм, видиме червоне випромінювання, живлення 10–30 V DC	WT12L-2B530	-	SICK, Німеччина	шт	1		Контроль наявності виробів на конвеєрах лінії формування

1г	Датчик температури опірний Pt100, діапазон вимірювання – 50...+200 °С, 3-ступінь захисту IP67	Pt100	-	WIKA / Siemens / IFM*	шт	1	Вимірювання температури в зоні гідростанції
1д	Нормуючий перетворювач температури для датчиків опору Pt100. Вихідний сигнал 4–20 мА	НПТ-2	-	Україна (Овен / аналоги)	шт	1	Перетворення сигналу Pt100 у уніфікований струмовий сигнал 4–20 мА
1є,3д	Індуктивний датчик наближення, М8, циліндричний, діапазон спрацювання 2 мм, NPN/PNP* NO, напруга живлення 10–30 VDC, ступінь захисту IP67, вихід з 4-провідним кабелем	Omron E2A-S08KS0 2-M1-B1	-	Omron, Японія	шт	2	Контроль положення металевих частин, механізмів
1ж	Магнітний пускач (контактор) для керування електродвигунами до 17 А; катушка 24 VDC; 3-полюсний; встановлення на DIN-рейку; категорія застосування АС-3; ступінь захисту IP20	Eaton DILM17 -2.1	-	Eaton, Німеччина	шт	2	Керування приводами транспортерів в та допоміжних механізмів
1з	Пристрій плавного пуску електродвигуна, напруга 3×400 В, потужність двигуна 5.5–15 кВт (залежно від моделі), регулювання струму пуску	Danfoss MCD202	-	Danfoss, Данія	шт	1	Плавний запуск двигуна формувальної/транспортувальної секції, зменшення пускових струмів

46	<p>Пневморозподільник 5/2 або 5/3 (залежно від конфігурації), робочий тиск 2...10 бар, електромагнітне керування 24 VDC, стандартний приєднувальний розмір G1/4, витрата до 1000 л/хв, корпус з анодованого алюмінію, монтаж на плиту або кронштейн</p>	Festo VUVS-LK20	-	Festo, Німеччина	шт	1	Керування пневмоциліндрами вибивача																										
4в,4 г,4д ,4є	<p>Частотний перетворювач для керування асинхронними двигунами, вхідна напруга 1×230 В або 3×400 В (залежно від моделі), діапазон потужностей 0.25–3.0 кВт, вбудований ПЧД-регулятор, функція плавного пуску/зупинки, захист від перевантаження, інтерфейс Modbus RS485</p>	Danfoss VLT® Micro Drive FC-051	-	Danfoss, Данія	шт	4	Керування швидкістю транспортерів та приводів машини формування/панірування																										
М3	<p>Асинхронний трифазний електродвигун, серія АІР, габарит 112, виконання ІМ1081, напруга живлення 220/380 В, частота 50 Гц, 2-полюсний (n≈2900 об/хв), потужність 5.5–7.5 кВт* залежно від модифікації, ступінь захисту ІР54/ІР55</p>	АІР112 М2У2	-	Україна / Electromash / NoviMotor*	шт	1	Двигун гідроелектростанції																										
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td>Змн.</td> <td>Арк.</td> <td>№ докум.</td> <td>Підпис</td> <td>Дата</td> <td colspan="3" style="text-align: center;">Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</td> <td style="text-align: right;">Арк.</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3"></td> <td style="text-align: right;">46</td> </tr> </table>																Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»			Арк.									46
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»			Арк.																									
								46																									

M4, M5, M6, M7, M8	Асинхронний трифазний електродвигун, серія АИР, габарит 90L, 4-полюсний (n ≈ 1500 об/хв), номінальна потужність 2.2 кВт, напруга живлення 380/220 В, ступінь захисту IP54/IP55, клас ізоляції F, виконання ІМ1081, можливість підключення «зірка/трикутник»	АИР90L 4	-	Electromash / NoviMotor / Україна*	шт	5	Привід транспортних механізмів або допоміжного обладнання
4а	Магнітний датчик положення для пневмоциліндрів, серія SME, корпус М8, виявлення положення поршня по магнітному полю, діапазон напруги живлення 10–30 VDC, вихід PNP (нормально розімкнений), індикація LED, ступінь захисту IP67, кабель 2.5 м	Festo SME-8- K-LED- 24	-	Festo, Німеччина	шт	1	Контроль кінцевих положень пневмоциліндрів

Схема автоматизації передбачає наступні контури:

- Контур керування подачі продукту та контроль температури
- Контур керування заповнення пластини продуктом
- Контур керування пресування продукту до форми
- Контур керування вибивання готового продукту та його

транспортування

1. Контур керування подачі продукту та контроль температури

Опис контуру:

Для контролю рівня в бункері застосовується оптичний датчик Ів, який контролює роботу шнеків. Коли бункер заповнений, розпочинається робота гідростанції М3 за допомогою плавного пуску КМ1 та охолодження М4 за

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		47

допомогою магнітного пускача КМ2, температуру масла контролює давач температури РТ100 (1г) який підключений до нормуючого перетворювача 1д. Після виконання всіх попередніх операцій ПЛК Modicon М340 дає сигнал на роботу гідромоторів М1 та М2 за допомогою відкриття подачі масла клапанами 1а та 1б.

2. Контур керування заповнення пластини продуктом

Опис контуру:

Відкриваються клапани 2а на висув формувальної пластини, датчик положення індуктивний спрацьовує 2є та дає сигнал ПЛК Modicon М340 про кінцеве положення. Коли дія буде виконан програмно клапан 2б поверне формувальну пластину в початкове положення.

3. Контур керування пресування продукту до форми

Опис контуру:

Відкривається клапан 3а та 3б що дають сигнал гідроциліндрам виконати пресування продукту до форми, кінцеве положення бачить давач 3д. Коли пресування було виконано, циліндри повертаються в початкове положення при закритті клапанів 3а та 3д та відкритті клапанів 3в та 3г.

4. Контур керування вибивання готового продукту та його транспортування

Опис контуру:

Після всіх операцій виконується дія вибивання продукту пневмоциліндрами за допомогою пневморозподільника 4б, кінцеве положення бачить давач 4а, вмикається транспортер М5 частота регулюється програмно за допомогою частотного перетворювача 4в. Потім дія йде до панірувальної машини де 4г,4д та 4 є виконують механічну роботу подачі сипучих речовин та транспортування продукту.

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		48

3.2. Схема компонування та специфікація модулів ПЛК та засобів RIO і PDS

Схема компонування ПЛК ВОшМ М340 Р34 2010



Найменування	Тип	Кількість	Примітка
Контролер Schneider Electric	BMX P34 2010	1	
Модуль аналогових вх., вих.	BMX AMM 0600	2	
Модуль аналогових вх.	BMX AMI 0410	1	
Модуль аналогових вих.	BMX AMO 0210	2	
Модуль дискретних вх., вих.	BMX DDM 16022	1	
Блок живлення контролера	BMX CPC 2000	1	
Шасі	BMX XBP 0800	1	

Схема компонування ПЛК ВОхМ М340 Р34 2020



Найменування	Тип	Кількість	Примітка
Контролер Schneider Electric	BMX P34 2020	1	
Модуль аналогових вх.	BMX AMI 0410	1	
Модуль аналогових вих.	BMX AMO 0410	1	
Модуль дискретних вх.	BMX DAI 1602	1	
Модуль дискретних вих	BMX DDO 1602	1	
Блок живлення контролера	BMX CPC 2000	1	
Шасі	BMX XBP 0800	1	

Промисловий ПЛК Schneider Electric Modicon M 340 обраний за для впровадження його в даному дипломному проекті за ряд переваг над іншими контролерами такого ж типу. Контролер Modicon M 340 забезпечений широкою гамою модулів вводу-виводу, що відрізняються по напрузі, потужності, кількості каналів і вимогам до підключення. Ефективні по затратам рішення з попередніми сполуками, органічно доповнюють традиційні рішення з термінальним блоком "під гвинт". Використання модулів вводу / виводу високої щільності зі з'єднувачами або термінальних блоків з попередніми сполуками знижує витрати і підвищує якість з'єднань.

Завдяки своїй багатопроекторній архітектурі, Modicon M 340 забезпечує виключно високу продуктивність. Поєднання швидких входів з програмованим часом фільтрації, завдань обробки подій, короткого часу виконання прикладної програми і виходів зі схемами швидкої розрядки значно зменшує час реакції, Багатозадачна структура програми та бібліотека, що містить значну кількість складних функцій дозволяють вирішувати найскладніші завдання..

Високошвидкісний процесор і потужна операційна система дозволяють Twido найкращим чином відповідати вимогам, пов'язаним з часом реакції, ємністю і складністю. Його малі габарити і оптимальні рішення по підключенню зводять до мінімуму загальні витрати на установку.

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		50

Таблиця 11. Специфікація модулів ПЛК та PDS.

Поз.	Найменування та технічна характеристика засобу	Тип, марка, позначення документу, листа опитування	Код обладнання	Завод-виготовлювач/виробник	Одиниця виміру	Кількість	Маса одиниці, кг	Примітка
ПРОГРАМОВАНІЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР ПЛК ВОхМ– М340 Р34 2010								
1	Блок живлення контролера	BMX CPC 2000		Schneider Electric, Німеччина	шт.	1		
2	Процесорний модуль	BMX Р34 2010		Schneider Electric, Німеччина	шт.	1		
3	Модуль аналогових вх., вих.	BMX АММ 0600		Schneider Electric, Німеччина	шт.	2		
4	Модуль аналогових вх.	BMX АМІ 0410		Schneider Electric, Німеччина	шт.	1		
5	Модуль аналогових вих.	BMX АМО 0210		Schneider Electric, Німеччина	шт.	2		
ПРОГРАМОВАНІЙ ЛОГІЧНИЙ КОНТРОЛЕР ПЛК ВОшМ– М340 Р34 2020								
1	Модуль аналогових вх.	BMX АМІ 0410		Schneider Electric, Німеччина	шт.	1		
2	Модуль аналогових вих.	BMX АМО 0410		Schneider Electric, Німеччина	шт.	1		
3	Модуль дискретних вх.	BMX DAI 1602		Schneider Electric, Німеччина	шт.	1		
4	Модуль дискретних вих	BMX DDO 1602		Schneider Electric, Німеччина	шт.	1		
5	Блок живлення контролера	BMX CPC 2000		Schneider Electric, Німеччина	шт.	1		
ЧАСТОТНІ ПЕРЕТВОРЮВАЧІ PDS								
1	Частотний перетворювач	Danfoss VLT Micro Drive FC-051		Danfoss, Nordborg, Данія	шт.	1		
2	Частотний перетворювач	Danfoss VLT Micro Drive FC-051		Danfoss, Nordborg, Данія	шт.	1		
3	Частотний перетворювач	Danfoss VLT Micro Drive FC-051		Danfoss, Nordborg, Данія	шт.	1		

3.3. Схеми електричні принципи контурів вимірювання, управління та сигналізації

Електрична принципова схема відображає побудову контурів вимірювання, керування та сигналізації технологічного об'єкта, забезпечуючи взаємодію польових датчиків, виконавчих механізмів та модулів вводу/виводу програмованого логічного контролера.

Схема демонструє повний функціональний зв'язок між первинними перетворювачами, модулями обробки сигналів, силовим обладнанням та системою автоматизованого керування.

У принциповій електричній схемі живлення були використані наступні компоненти:

- Пакетні вимикачі QF1-QF8 – 8 шт., для вмикання та вимикання певних гілок з технічними засобами в системі автоматизації;
- Блок живлення (БЖ1) для перетворення змінної напруги 220В в постійну напругу 24 В для живлення датчиків та виконавчих механізмів.

В принциповій електричній схемі живлення застосовувалася наступна нумерація провідників:

- 800-843 – провідники зі змінним струмом;
- 900-901 – провідники з постійним струмом;
- 100-104 – провідники з вимірювальним сигналом;
- 200-218 – провідники з сигналами управління та регулювання.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		52

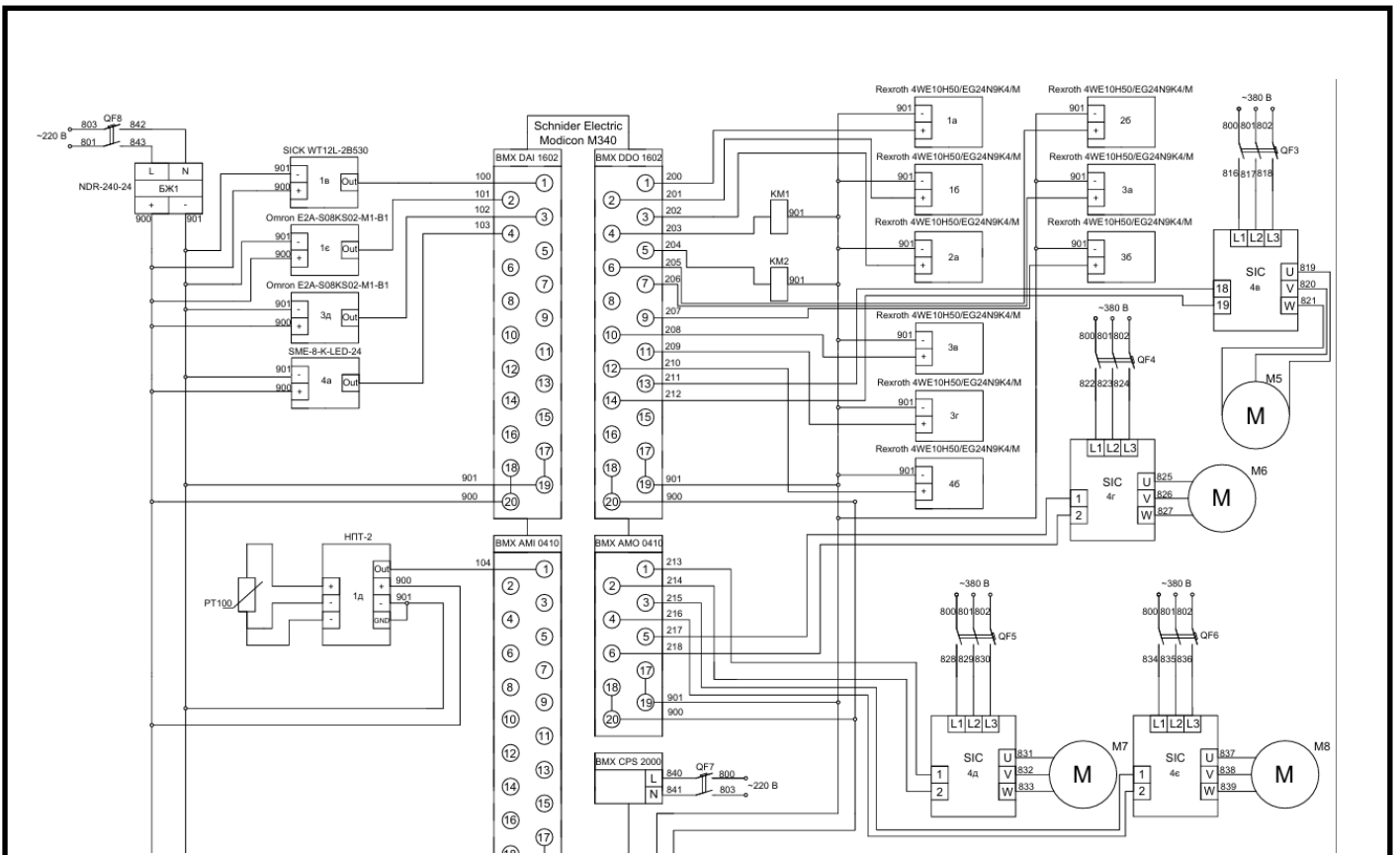


Рисунок 3.2 - Схема електрична принципова MultiFormer 400

3.4. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж

Схема з'єднань та підключень проводок промислових мереж відображає структуру інформаційного обміну між контролерами, віддаленими станціями вводу/виводу, частотними перетворювачами та мережевим обладнанням АСУТП.

Таблиця 12 – Специфікація елементів до схеми з'єднань.

Позначення	Найменування	К-ть	Примітка
1	2	3	
	Комунікаційні адаптери та карти		
	КК1-8, КК10-13 – комунікаційний адаптер на базі технічного засобу.	12	
	КК9, КК14 – комунікаційний компонент-порт ПЛК(Schneider Electric)	2	
	Коробки з'єднувальні		
	КП 3.5 – TSX SCA 62 коробка розгалуження з вбудованим термінатором (Schneider Electric)	1	
	КПЗ.1-3.4 – TSX P ACC 01 коробка розгалуження з вбудованим термінатором (Schneider Electric)	4	
	КП 1.9 – TSX CAN TDM4 коробка підключення пристроїв до магістральної CANOpen з 4-ма портами 9-пінова SUB-D вилка з вбудованим термінатором (Schneider Electric)	1	
	КП 1.1-1.8 – VW3 CAN TAP3 коробка підключення частотних перетворювачів Danfoss до магістральної CANOpen з вбудованим термінатором (Schneider Electric)	4	
	Мережні кабелі		
	КМ 2.1-2.4 – STP 5 кабель екранована подвійна вита пара для під'єднання карти Ethernet (RJ-45) та порту контролера	4	
	КМ 1.17 – TSX CAN CADD1 кабель для підключення пристроїв по CANOpen, з обох боків 9-пінова SUB-D розетка (Schneider Electric)	1	
	КМ 1.1 – 1.16 – TSX CAN CA100 магістральний кабель для CANOpen екранована подвійна вита пара (Schneider Electric)	16	
	КМ 2.7-2.8 – кабель TSX SCP CC 1030 (Schneider Electric)	2	
	КМ 4.1 – кабель ХВТ-Z 968 кабель підключення до TSX P ACC 01 (Schneider Electric)	1	

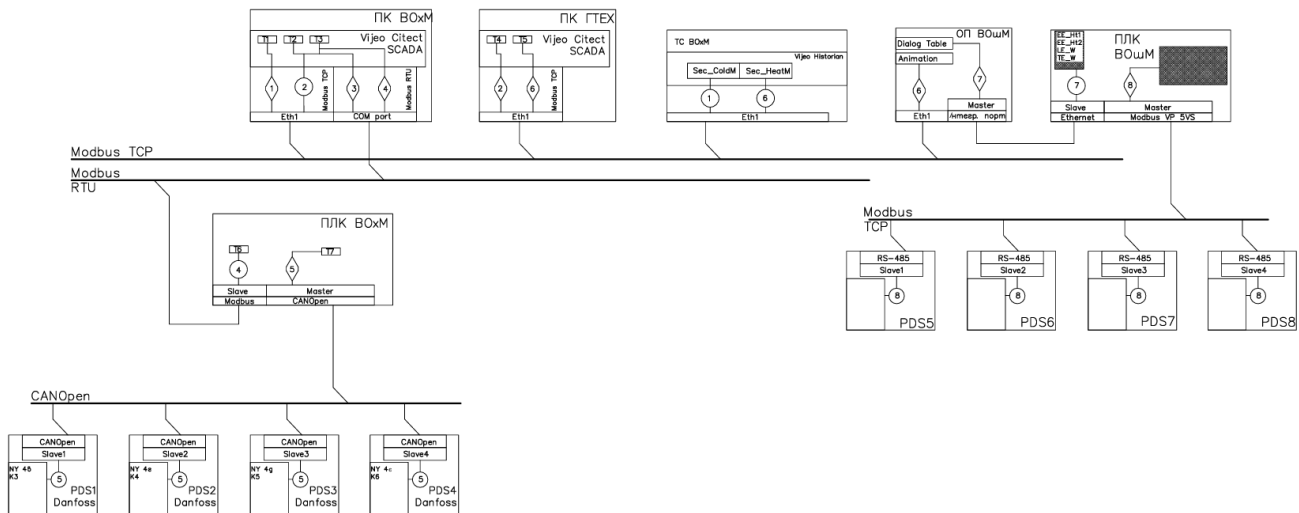


Рисунок 3.5 – Інформаційна структура мережі

РОЗДІЛ 4 - РОЗРОБКА АЛГОРИТМА ТА ПРОГРАМИ ДЛЯ ПЛК ДЛЯ ПІДСИСТЕМИ ФОРМУВАННЯ НАГЕТСІВ

4.1. Розроблення алгоритмічної структури алгоритму керування

Алгоритмічна структура програми описує послідовність автоматизованої роботи формувальної машини в складі лінії виробництва нагетсів та відображає логіку керування від моменту запуску до завершення технологічного циклу. Робота системи розпочинається з початкового стану, у якому ПЛК перебуває в режимі очікування команди оператора. Після натискання кнопки START виконується перехід до етапу перевірки аварійних станів обладнання. На цьому етапі контролюється стан кнопок аварійної зупинки, захисних кінцевих вимикачів, сигналів перевантаження приводів та справність основних датчиків. У разі виявлення аварії алгоритм негайно переходить у режим аварійної зупинки з формуванням відповідного повідомлення та індикації на SCADA для інформування оператора.

За відсутності аварій система переходить у режим очікування дозволу від датчика наповнення бункера. Алгоритм контролює рівень продукту у завантажувальному бункері формувальної машини і не дозволяє запуск робочих механізмів за недостатньої кількості фаршу. Після підтвердження готовності бункера виконується перевірка наявності продукту в зоні формування. Якщо продукт відсутній, ПЛК залишається у стані очікування до моменту надходження фаршу.

При підтвердженні наявності продукту запускається гідростанція та шнек подачі фаршу, що забезпечує стабільну подачу сировини до формувального вузла. Далі алгоритм переходить до послідовного запуску основних робочих механізмів формувальної машини. Спочатку вмикається механізм пресування продукту, який формує необхідну структуру та щільність фаршу. Після стабілізації режиму пресування запускається виштовхувальна пластина, що забезпечує подачу

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						57
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

сформованої маси до формувальної матриці. Наступним етапом є ввімкнення механізму вибивання продукту, який відокремлює сформовані вироби та передає їх на вихідну частину лінії.

Після завершення формування та відокремлення виробів алгоритм здійснює запуск транспортного конвеєра, який забезпечує безперервне відведення нагетсів до наступної технологічної ділянки (панірування або накопичення). Таким чином забезпечується синхронна та узгоджена робота формувальної машини з транспортною системою лінії.

Після виконання всіх запланованих операцій або за командою зупинки система переходить у кінцевий стан, у якому обладнання зупинене у безпечному режимі та готове до повторного запуску або проведення санітарного обслуговування. Запропонована структура програми забезпечує чітку послідовність операцій, контроль усіх критичних умов та безпечну експлуатацію формувальної машини в автоматичному режимі.

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
						58
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

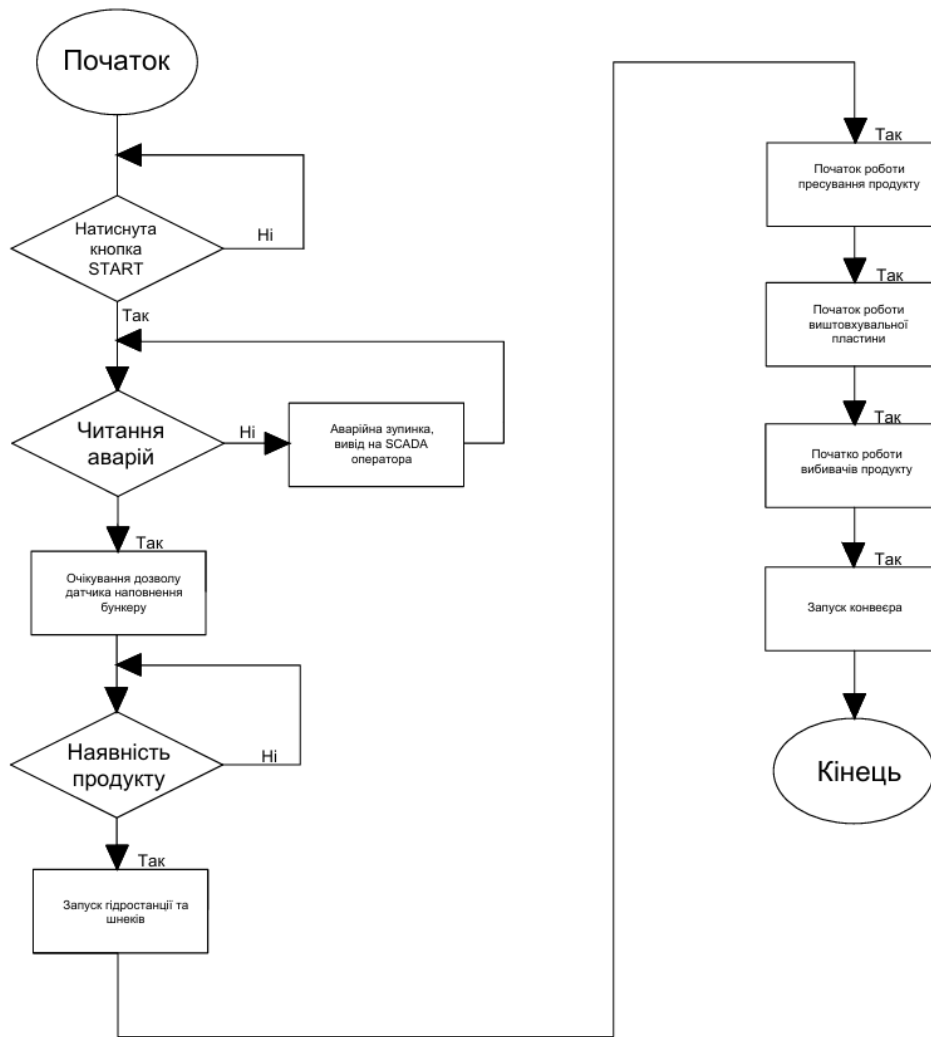


Рисунок 4.1 – Алгоритм керування залізничним вивантаженням

4.2. Опис програмного забезпечення

Для розроблення, налагодження та супроводу програмного забезпечення автоматизованої системи керування технологічним процесом використовується інженерне середовище Unity ProPro XL (у сучасній версії — EcoStruxure Control Expert) компанії Schneider Electric. Дане програмне забезпечення призначене для програмування програмованих логічних контролерів сімейства Modicon, зокрема контролера Modicon M340, який застосовується як центральний елемент керування технологічною установкою.

Unity Pro XL забезпечує повний цикл розроблення прикладних програм керування — від конфігурації апаратної структури ПЛК до створення, тестування та налагодження алгоритмів керування. У середовищі програми виконується вибір типу контролера, конфігурація модулів введення-виведення, задання параметрів комунікаційних інтерфейсів (Ethernet, Modbus TCP, CANopen), а також налаштування адресації сигналів польового рівня.

Програмне забезпечення підтримує розроблення програм відповідно до стандарту IEC 61131-3 і дозволяє використовувати кілька мов програмування, зокрема Ladder Diagram (LD) для реалізації дискретної логіки та блокувань, Function Block Diagram (FBD) для побудови функціональних зв'язків і контурів керування, Structured Text (ST) для реалізації складних алгоритмічних і обчислювальних задач, а також Sequential Function Chart (SFC) для опису послідовних технологічних процесів. Це дає можливість обрати оптимальну мову програмування для кожного фрагмента алгоритму.

Unity Pro XL підтримує ієрархічну структуру програми з використанням програмних модулів, функцій та функціональних блоків, що сприяє підвищенню наочності, повторному використанню коду та зручності супроводу програмного забезпечення. Для контролера Modicon M340 передбачена підтримка багатозадачності, що дозволяє розподіляти логіку керування за окремими задачами з різною періодичністю виконання.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						60
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Важливою перевагою середовища Unity Pro XL є наявність розвинених засобів налагодження та діагностики. Інженер має можливість виконувати моніторинг змінних у режимі реального часу, примусово змінювати значення сигналів, аналізувати часові діаграми, а також здійснювати покрокове виконання програмних блоків. Це суттєво спрощує процес пусконаладжувальних робіт та дозволяє оперативно виявляти й усувати помилки.

Unity Pro XL забезпечує інтеграцію контролера Modicon M340 із SCADA-системами та іншими рівнями АСУ ТП через стандартні промислові протоколи, зокрема Modbus TCP/IP та Ethernet. Це дозволяє реалізувати обмін даними в режимі реального часу, архівування технологічних параметрів та дистанційний контроль роботи обладнання.

Таким чином, використання програмного забезпечення Unity Pro XL для програмування контролера Schneider Electric Modicon M340 забезпечує високу надійність, гнучкість і масштабованість автоматизованої системи керування, а також відповідає сучасним вимогам до розроблення програмних рішень у галузі промислової автоматизації.

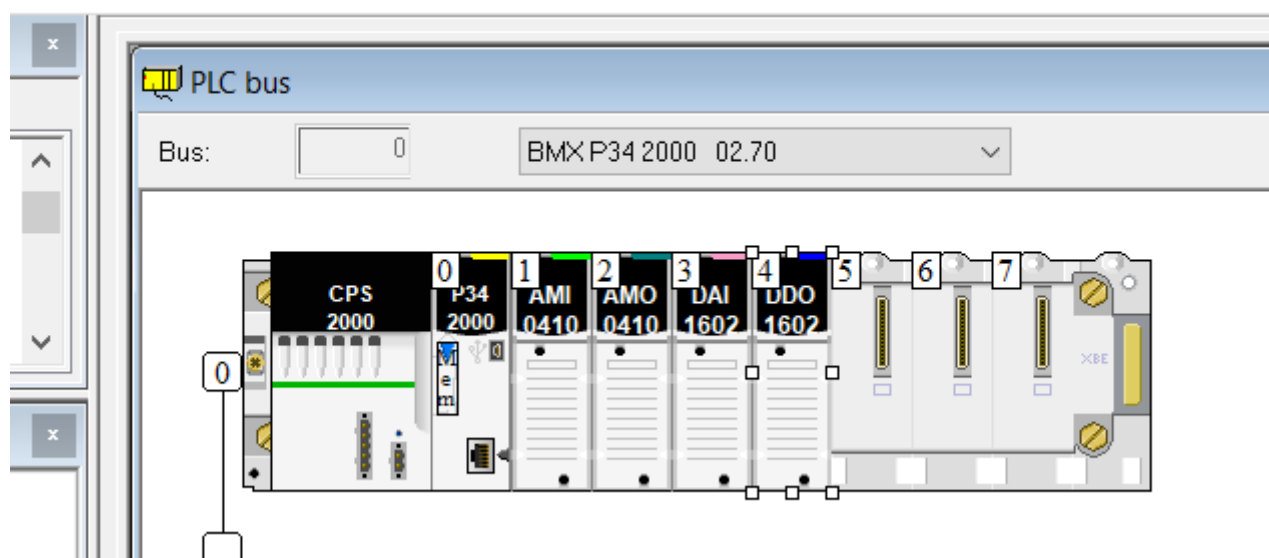
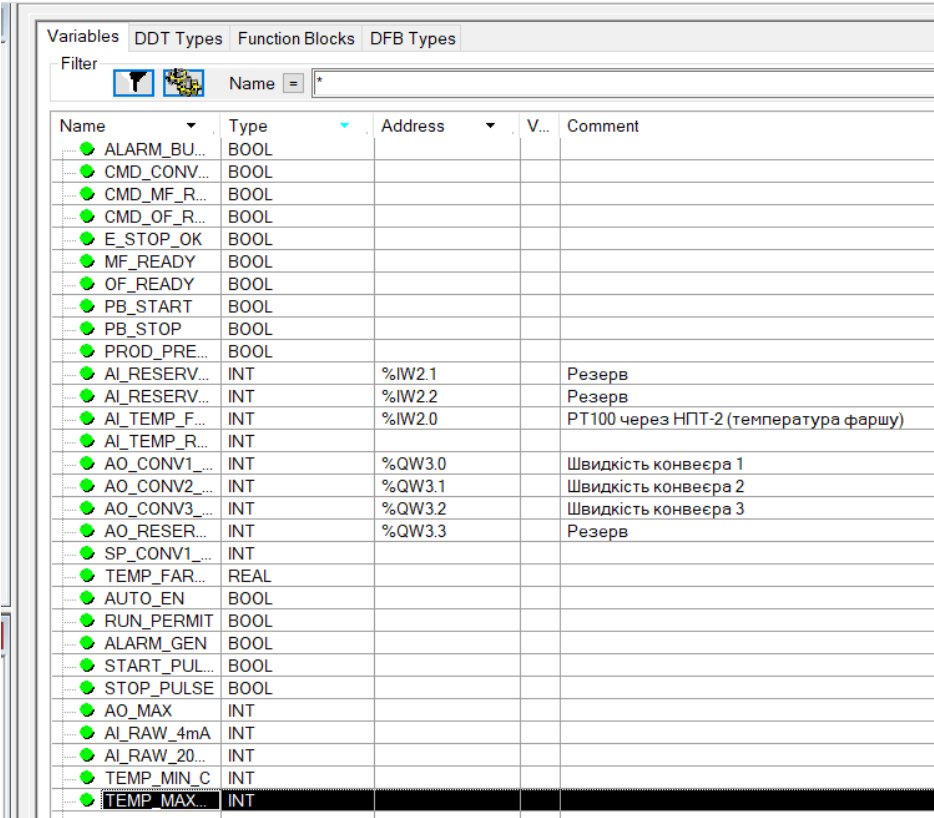


Рисунок 4.2 – Компанування ПЛК та модулів у середовищі Unity Pro XL

4.3. Розробка програмного забезпечення на мові LD та ST

Нижче наведені фрагменти програми для ПЛК формування нагетсів, опис змінних та структурний код, написаний на мові LD (Ladder Diagram) та ST Structured Text.



Name	Type	Address	V...	Comment
ALARM_BU...	BOOL			
CMD_CONV...	BOOL			
CMD_MF_R...	BOOL			
CMD_OF_R...	BOOL			
E_STOP_OK	BOOL			
MF_READY	BOOL			
OF_READY	BOOL			
PB_START	BOOL			
PB_STOP	BOOL			
PROD_PRE...	BOOL			
AI_RESERV...	INT	%IW2.1		Резерв
AI_RESERV...	INT	%IW2.2		Резерв
AI_TEMP_F...	INT	%IW2.0		PT100 через НРТ-2 (температура фаршу)
AI_TEMP_R...	INT			
AO_CONV1...	INT	%QW3.0		Швидкість конвеєра 1
AO_CONV2...	INT	%QW3.1		Швидкість конвеєра 2
AO_CONV3...	INT	%QW3.2		Швидкість конвеєра 3
AO_RESER...	INT	%QW3.3		Резерв
SP_CONV1...	INT			
TEMP_FAR...	REAL			
AUTO_EN	BOOL			
RUN_PERMIT	BOOL			
ALARM_GEN	BOOL			
START_PUL...	BOOL			
STOP_PULSE	BOOL			
AO_MAX	INT			
AI_RAW_4mA	INT			
AI_RAW_20...	INT			
TEMP_MIN_C	INT			
TEMP_MAX...	INT			

Рисунок 4.3 – Змінні (теги) для дискретних та аналогових виходів

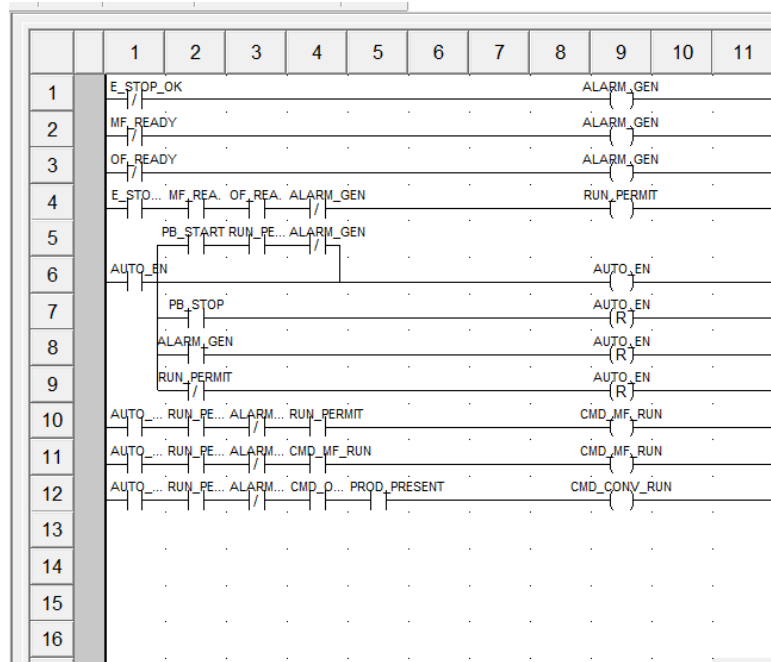


Рисунок 4.4 – Фраменти програми на мові LD

```

(* Швидкість конвеєрів: 0..100% -> 0..AO_MAX *)
IF SP_CONV1 < 0 THEN
    SP_CONV1 := 0;
ELSIF SP_CONV1 > 100 THEN
    SP_CONV1 := 100;
END_IF;

AO_CONV1 := INT_TO_INT((SP_CONV1 * AO_MAX) / 100);
AO_CONV2 := AO_CONV1;
AO_CONV3 := AO_CONV1;

(* Якщо конвеєр зупинено – скидаємо аналог *)
IF NOT CMD_CONV_RUN THEN
    AO_CONV1 := 0;
    AO_CONV2 := 0;
    AO_CONV3 := 0;
END_IF;

```

```

VAR
    raw : REAL;
END_VAR

raw := INT_TO_REAL(AI_TEMP_F);

(* Захист від ділення на нуль *)
IF (AI_RAW_20mA - AI_RAW_4mA) <> 0 THEN
    TEMP_FAR := (raw - INT_TO_REAL(AI_RAW_4mA)) *
                (TEMP_MAX_C - TEMP_MIN_C) /
                (INT_TO_REAL(AI_RAW_20mA - AI_RAW_4mA)) +
                TEMP_MIN_C;
END_IF;

```

Рисунок 4.5 – Фраменти програми на мові ST

4.4. Розробка людинно-машинного інтерфейсу оператора технолога

Людинно-машинний інтерфейс (НМІ) підсистеми формування нагетсів на базі формувальної машини GEA MultiFormer 400 розроблений з метою забезпечення наочного, зручного та безпечного керування технологічним процесом оператором-технологом. Інтерфейс забезпечує візуалізацію стану обладнання, введення та коригування технологічних параметрів, керування режимами роботи, а також контроль і реєстрацію аварійних ситуацій. Розробка НМІ виконана з використанням програмного забезпечення Schneider Electric EcoStruxure™ Operator Terminal Expert / Vijeo Designer, яке повністю сумісне з програмованими логічними контролерами серії Modicon M340 та підтримує промислові протоколи зв'язку Ethernet / Modbus TCP.

Інтерфейс інтегрований у загальну архітектуру АСУ ТП підсистеми формування та забезпечує безперервний обмін даними з ПЛК Schneider Electric Modicon M340, у якому реалізована основна логіка керування процесом формування виробів. Всі елементи НМІ безпосередньо пов'язані зі змінними ПЛК, що гарантує однозначну відповідність між реальними сигналами польового рівня та їх відображенням на екрані оператора.

НМІ реалізований у вигляді ієрархічної структури екранів, що включає головний екран оператора, екрани керування формувальною машиною, транспортною системою, контролю температури фаршу, екран аварійних повідомлень та сервісний екран налаштувань. Головний екран забезпечує загальний огляд стану установки та відображає режим роботи формувальної машини MultiFormer 400, стан конвеєрів, наявність продукту, активні аварії, а також системну інформацію (дата, час, ідентифікація установки). Навігаційні елементи дозволяють швидко переходити до відповідних функціональних екранів.

Екран керування формуванням забезпечує запуск і зупинку процесу, контроль готовності обладнання, індикацію роботи виштовхувальної пластини та механізму пресування, а також відображення аварій формувальної машини. Команди оператора передаються до ПЛК у вигляді дискретних керуючих сигналів, а зворотний зв'язок реалізується через сигнали стану та аварійні індикатори. Екран

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
						65
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

керування транспортною системою дозволяє оператору задавати швидкість стрічкових конвеєрів у відсотках від номінального значення, запускати та зупиняти транспортери, а також контролювати узгодженість їх роботи з формувальною машиною. Керування швидкістю реалізовано через аналогові виходи ПЛК, що підключені до частотних перетворювачів.

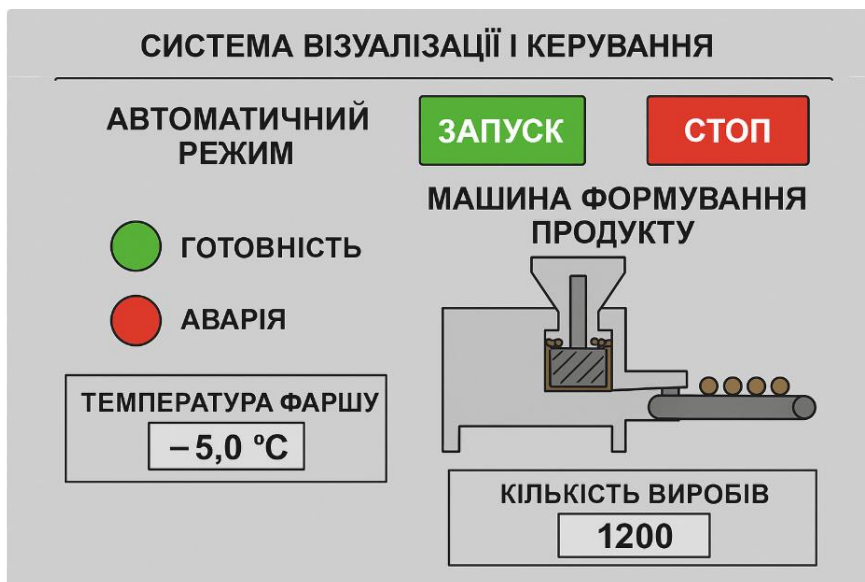


Рисунок 4.6 – Фрагмент інтерфейсу оператора технолога формувальної машини

Окремий екран контролю температури призначений для відображення та моніторингу температури фаршу, що є одним з критичних параметрів якості продукції. Дані надходять від датчика температури PT100 через нормуючий перетворювач, обробляються ПЛК та передаються до НМІ у масштабованому вигляді. При виході температури за допустимі межі система формує попереджувальні або аварійні повідомлення.

Екран аварій і повідомлень забезпечує відображення всіх аварійних та попереджувальних станів обладнання, ведення журналу подій та підтвердження аварій оператором після їх усунення. У разі виникнення аварії автоматично блокується запуск виконавчих механізмів, що підвищує рівень безпеки експлуатації установки. Сервісний екран використовується для діагностики, налаштування параметрів, перевірки сигналів введення/виведення та тестування окремих вузлів і доступний лише для персоналу з відповідним рівнем доступу.

Таким чином, розроблений людинно-машинний інтерфейс, створений у програмному середовищі Schneider Electric EcoStruxure / Vijeo Designer та інтегрований з ПЛК Modicon M340, забезпечує ефективну взаємодію оператора з підсистемою формування нагетсів GEA MultiFormer 400, підвищує надійність керування технологічним процесом, зменшує ймовірність помилок персоналу та сприяє стабільній якості готової продукції.

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		67

РОЗДІЛ 5. СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ

У процесі виробництва м'ясних напівфабрикатів, зокрема нагетсів, ключовим фактором якості готової продукції є стабільність геометричних, масових та структурних характеристик виробу. Формування нагетсів здійснюється шляхом пресування м'ясного фаршу через формувальну матрицю з подальшим відокремленням і транспортуванням виробів на наступні технологічні етапи. Будь-які відхилення у параметрах фаршу, швидкості подачі, температурі або роботі формувального механізму призводять до браку продукції, перевитрати сировини та зниження продуктивності лінії.

У традиційних системах керування формувальними машинами значна частина налаштувань виконується оператором вручну, що створює залежність від людського фактора, ускладнює підтримання стабільного режиму роботи та підвищує ризик помилок. У зв'язку з цим актуальним є впровадження автоматизованої підсистеми контролю та стабілізації процесу формування нагетсів, інтегрованої у загальну АСУ ТП виробничої лінії.

Мета спеціального завдання

Метою спеціального завдання є розробка та впровадження автоматизованої підсистеми керування формувальною машиною GEA MultiFormer 400, яка забезпечує:

- 1) стабільність геометричних розмірів і маси нагетсів;
- 2) автоматичну координацію роботи формувального вузла та транспортної системи;
- 3) контроль температурного режиму фаршу;
- 4) зменшення впливу людського фактора;
- 5) підвищення якості та повторюваності готової продукції.

Опис автоматизованої підсистеми формування нагетсів

Автоматизована підсистема формування нагетсів базується на формувальній машині GEA MultiFormer 400, інтегрованій з програмованим логічним контролером Schneider Electric Modicon M340 та операторською панеллю (HMI)

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						68
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Schneider Electric. Система забезпечує повний цикл автоматизованого керування формуванням виробів — від контролю наявності та температури фаршу до синхронізації роботи пресувального механізму, виштовхувальної пластини та стрічкових конвеєрів.

До складу підсистеми входять:

- 1) формувальна машина GEA MultiFormer 400 з пресувальним та виштовхувальним механізмами;
- 2) датчики температури фаршу (РТ100 з нормуючим перетворювачем);
- 3) датчики наявності продукту та положення механізмів;
- 4) стрічкові конвеєри з частотним керуванням швидкості;
- 5) ПЛК Modicon M340;
- 6) операторська панель НМІ;
- 7) система аварійного захисту та блокувань.

Принцип роботи автоматизованої системи

Система працює у двох основних режимах:

Автоматичний режим

Оператор задає технологічні параметри (швидкість конвеєрів, допустимий температурний діапазон фаршу, режим роботи формувального механізму) через НМІ та запускає процес кнопкою «Пуск». Далі система автоматично:

- 1) перевіряє готовність обладнання та відсутність аварій;
- 2) контролює температуру фаршу та блокує запуск при виході за допустимі межі;
- 3) запускає процес пресування та формування нагетсів;
- 4) синхронізує роботу виштовхувальної пластини з подачею продукту;
- 5) автоматично керує швидкістю стрічкових конвеєрів;
- 6) забезпечує безперервний цикл формування з контролем станів.

У разі виникнення аварійної ситуації система негайно зупиняє процес, формує аварійне повідомлення та відображає його на НМІ.

Ручний (налагоджувальний) режим

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		69

Режим використовується для технічного обслуговування, налаштування та тестування обладнання. Оператор має можливість керувати окремими механізмами (конвеєрами, формувальним вузлом, виштовхувачем) з дотриманням усіх блокувань безпеки. Режим обмежує доступ до критичних функцій та призначений лише для кваліфікованого персоналу.

Контроль та обробка технологічних параметрів

Система здійснює безперервний контроль таких параметрів:

- 1) температура фаршу;
- 2) готовність формувальної машини;
- 3) наявність продукту;
- 4) стан приводів і конвеєрів;
- 5) аварійні та попереджувальні сигнали.

Всі параметри обробляються у ПЛК та передаються на НМІ для візуалізації, архівації та аналізу.

Вимоги до інтеграції та експлуатації

Для ефективного впровадження підсистеми формування нагетсів у складі АСУ ТП виробничої лінії необхідно:

інтегрувати ПЛК формувальної машини з центральною SCADA-системою підприємства;

- 1) забезпечити надійний обмін даними по Industrial Ethernet / Modbus TCP;
- 2) реалізувати аварійні блокування та захисти;
- 3) передбачити журналізацію подій і параметрів процесу;
- 4) забезпечити умови безпечної експлуатації та технічного обслуговування обладнання.

Очікуваний ефект від впровадження

Впровадження автоматизованої підсистеми формування нагетсів на базі GEA MultiFormer 400 дозволяє:

- 1) підвищити стабільність якості готової продукції;
- 2) зменшити кількість браку;
- 3) підвищити продуктивність лінії;

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		70

Автомат станів установки MultiFormer 400

Для обладнання робочого центру доцільно застосувати скінченний *автомат станів* – модель, що описує всі можливі стани машини та переходи між ними. Типовими станами такої установки є, наприклад, «Готовність» (обладнання увімкнене, налаштоване і готове до роботи), «Робота» (триває процес формування продукту), «Простій» (тимчасова зупинка без аварії – очікування сировини, пауза або планова зупинка) та «Аварія» (аварійний стан, спричинений спрацьовуванням захисту чи несправністю). Кожен стан має чітко визначені умови входу/виходу і відповідні дії контролера, що гарантує коректну послідовність операцій і безпеку роботи обладнання. Варто зауважити, що окрім поточного стану, машина може працювати в різних режимах – наприклад, автоматичному або ручному керуванні – незалежно від станів.

Обґрунтування інтеграції автомату станів. Запровадження відслідковування станів установки MultiFormer 400 в системі керування є інвестицією у майбутні вдосконалення. По-перше, це спрощує узгоджену роботу з іншими вузлами лінії: наприклад, конвеєри можуть автоматично реагувати на перехід формувальної машини в простій чи аварію. По-друге, модель станів, інтегрована у PLC/SCADA, забезпечує збір статистики про роботу обладнання (напрацювання, кількість циклів, кількість зупинок тощо) та формування єдиної бази даних SCADA для аналізу. На основі цих даних підприємство може впроваджувати системи оперативного управління виробництвом та технічним обслуговуванням. Наприклад, знаючи тривалість «Простоїв» і частоту «Аварій», можна розрахувати показники доступності обладнання, ефективності використання (OEE) та планувати технічне обслуговування на випередження. В цілому, інтеграція автомату станів підвищує прозорість процесу і полегшує подальшу модернізацію системи керування.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		71

КРІ «Точність формування продукту»

Визначення показника. *Точність формування продукту* – це ключовий показник ефективності, що характеризує частку виробів, сформованих з дотриманням заданих вимог (геометричних розмірів, маси, форми) у загальній кількості виготовленої продукції. Іншими словами, цей КРІ відображає, наскільки стабільно установка MultiFormer 400 виробляє продукцію належної якості з першого циклу без дозавантажень або браку. Високе значення показника (близьке до 100%) означає, що майже всі одиниці продукції відповідають вимогам специфікації, тоді як нижчі значення сигналізують про часті відхилення та дефекти.

Вплив на якість, продуктивність та відходи. Показник точності формування безпосередньо впливає на кілька аспектів виробничого процесу:

- **Якість продукції:** Вища точність формування забезпечує однорідність готових виробів за масою та формою, що підвищує споживчі властивості продукту і відповідність стандартам якості. Якщо всі нагетси мають стабільну масу та форму, їх термічна обробка й пакування відбуваються рівномірно, а кінцевий продукт відповідає очікуванням споживача.
- **Продуктивність лінії:** Неточності при формуванні призводять до зупинок для переналаштування або ручного бракування продукції, що знижує ефективну продуктивність. Навпаки, висока точність мінімізує перерви в роботі – лінія працює без зайвих коригувань, забезпечуючи більший випуск придатної продукції за той самий час.
- **Відходи та витрати сировини:** Низька точність означає появу браку (вироби неправильної форми або маси, які доводиться вилучати) та *перевитрату* сировини. Наприклад, якщо маса виробу перевищує норму, зайва сировина витрачається даремно; якщо вироби недоформовані, їх переробляють або утилізують. Отже, поліпшення точності формування

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		72

прямо зменшує відсоток відходів і економить сировину, тим самим скорочуючи витрати виробництва.

Формула розрахунку. Кількісно КРІ точності формування оцінюється у відсотках як відношення кількості правильно сформованих (відповідних вимогам) одиниць продукції до загальної кількості сформованих одиниць за певний період:

$$\text{Точність формування}(\%) = \frac{N_{\text{пр}}}{N_{\text{заг}}} \times 100\%,$$

де $N_{\text{пр}}$ – кількість виробів, що повністю відповідають заданим критеріям якості (масі, формі тощо), а $N_{\text{заг}}$ – загальна кількість виготовлених виробів за аналізований період. Наприклад, якщо за зміну вироблено 10 000 нагетсів, з яких 9 800 вкладаються в допуски за масою та формою, точність формування становитиме 98%. Підвищення цього показника свідчить про ефективну роботу формувальної машини та належний контроль процесу, тоді як зниження вимагатиме аналізу причин (знос обладнання, коливання параметрів фаршу, помилки оператора тощо) та вжиття коригувальних заходів.

Алгоритм контролю точності формування

Для забезпечення стабільно високої точності формування впроваджується спеціалізований алгоритм автоматичного контролю. Цей алгоритм в реальному часі відстежує параметри кожного сформованого виробу і при виявленні відхилень ініціює відповідну корекцію процесу. Схематично послідовність дій виглядає так:

1. Вимірювання параметрів продукту. На виході формувальної машини кожен виріб проходить контроль за допомогою датчиків і/або систем машинного зору. Зокрема, встановлені *inline*-ваги або тензодатчики безперервно вимірюють масу кожного сформованого нагетсу, а камера високої роздільної здатності перевіряє його форму та розміри. Отримані дані негайно надходять до контролера.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						73
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

2. Аналіз і виявлення відхилень. Контролер порівнює фактичні параметри виробу з допустимими межами, заданими технологічними вимогами. Якщо виріб має правильну масу та форму, система продовжує процес без змін. Якщо ж виявлено відхилення (наприклад, маса перевищує допустиму на 5% або спостерігається деформація форми), фіксується факт неточного формування. Алгоритм може накопичувати статистику таких відхилень для подальшого аналізу.

3. Коригувальна дія. У разі разового незначного відхилення контролер автоматично підлаштовує параметри формування на наступних циклах. Зокрема, на основі даних з вагових датчиків може бути скориговано об'єм дозування фаршу в матрицю, щоб компенсувати перевищення або нестачу маси. Якщо ж виявлено систематичну помилку (серія виробів з відхиленнями) – алгоритм здійснює більш суттєві дії: може знизити швидкість подачі фаршу або тиск пресування, щоб стабілізувати процес, або видати сигнал тривоги оператору для втручання.

4. Реакція та повідомлення. Алгоритм передбачає негайну реакцію у разі критичних відхилень. Якщо параметри виробу виходять за гранично допустимі значення, система спрацьовує на відбраковування: дефектний виріб автоматично відсіюється з потоку (через механізм скидального лотка або інший пристрій, якщо це реалізовано) щоб не потрапити до подальших стадій виробництва. Одночасно контролер може зупинити формувальний вузол та видати аварійне повідомлення на НМІ для оперативного усунення проблеми. При невеликих відхиленнях, що скориговані автоматично, система реєструє подію в журналі (для статистики як випадок коригування параметрів) без зупинки процесу.

5. Відновлення точного режиму. Після внесення коригувальних змін алгоритм повертає процес формування до стабільного режиму. Наступні вироби знову перевіряються; якщо показники в нормі, система продовжує працювати у штатному режимі. Накопичені дані контролю (варіації маси,

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
						74
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

частота відхилень) можуть надсилатися до верхнього рівня (SCADA/MES) для довгострокового аналізу і вдосконалення технології.

Такий замкнутий цикл контролю точності формування продукту дозволяє мінімізувати брак і коливання якості в режимі реального часу. Застосування високоточних датчиків і машинного зору дає змогу автоматично виявляти навіть незначні відхилення форми або маси та своєчасно їх усувати. В результаті забезпечується стабільна робота установки MultiFormer 400 з високою повторюваністю параметрів продукції, зменшуються втрати сировини і виключаються ситуації виготовлення великої кількості браку до моменту втручання оператора. Integrally, впровадження описаного алгоритму підвищує ефективність виробничої лінії та гарантує високу якість кожного сформованого виробу.

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		75

ВИСНОВКИ

У магістерській роботі виконано розробку інтегрованої автоматизованої системи управління технологічним процесом виробництва напівфабрикатів із м'яса птиці з підсистемою формування нагетсів на базі формувальної машини GEA MultiFormer 400. У процесі дослідження проаналізовано технологічні особливості формування продукції, визначено основні контрольовані параметри та вимоги до системи автоматизації з урахуванням умов харчового виробництва.

На основі проведеного аналізу обґрунтовано вибір програмованого логічного контролера Schneider Electric Modicon M340 та програмного середовища Unity Pro XL, що забезпечують надійну реалізацію алгоритмів керування, зручність конфігурування та можливість інтеграції з системами верхнього рівня. Розроблено функціональну та структурну схеми АСУ ТП, схему комплексу технічних засобів і мережеву інфраструктуру з використанням Industrial Ethernet та Modbus TCP.

У роботі сформовано перелік змінних, функцій та задач керування, розроблено алгоритм роботи формувальної машини, який забезпечує послідовність технологічних операцій, контроль аварійних і попереджувальних станів, а також синхронізацію роботи формувального, панірувального та транспортного обладнання. Програмну реалізацію виконано з використанням мови LD (Ladder Diagram), що відповідає промисловим стандартам програмування ПЛК.

Окрему увагу приділено розробці людинно-машинного інтерфейсу оператора, який забезпечує наочну візуалізацію технологічного процесу, оперативне керування обладнанням, індикацію аварій та контроль основних параметрів роботи установки. Запропоновані рішення дозволяють зменшити вплив людського фактора, підвищити стабільність якості продукції та ефективність виробничого процесу.

Результати роботи мають практичну цінність і можуть бути використані при проектуванні, модернізації та впровадженні автоматизованих систем управління на підприємствах харчової промисловості, а також у навчальному процесі при підготовці фахівців з автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій.

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
						76
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Методичні рекомендації до виконання магістерської роботи зі спеціальностей 8.05020201 «Автоматизоване управління технологічними процесами» 8.05020202 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва»/ Уклад.: А.П. Ладанюк, І.В.Ельперін, В.Д. Кишенько, В.М.Сідлецький. – К.: НУХТ, 2011.

2. Пупена, О.М. [Електронний ресурс]: Автоматизовані системи управління виробництвом (MES-рівень): курс лекцій для студ. освіт. ст. "магістр" спец. 151

3. "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" спеціалізації "Інтегровані автоматизовані системи управління " денної та заочної форм навчання/ О.М. Пупена, Р.М. Міркевич. – К.: НУХТ, 2016.

4. Електромагнітні гідророзподільники 4/3. Технічні характеристики, принцип дії та застосування
URL: <https://www.boschrexroth.com/ua/ua/products/product-groups/industrial-hydraulics/valves/>

5. Оптичні датчики SICK. Фотоелектричні сенсори для промислової автоматизації
URL: <https://www.sick.com/ua/uk/sensors/photoelectric-sensors/c/g193351>

6. Датчики температури опору Pt100. Принцип роботи та області застосування
URL: https://www.wika.com/ua/uk/rtd_temperature_sensors.WIKA

7. Нормуючі перетворювачі температури для Pt100 з виходом 4–20 мА
URL: <https://www.schneider-electric.com/ua/uk/work/products/industrial-automation/control-measurement/>

8. Індуктивні датчики наближення Omron. Технічні параметри та підключення
URL: <https://industrial.omron.ua/ua/products/inductive-proximity-sensors>

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						77
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

9. Магнітні пускачі та контактори Eaton. Категорії застосування AC-3
 URL: <https://www.eaton.com/ua/uk-ua/products/industrial-controls-drives/industrial-contactors.html>
10. Пристрої плавного пуску електродвигунів Danfoss
 URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/products/dds/soft-starters/>
11. Пневматичні розподільники Festo. Серії 5/2 та 5/3
 URL: <https://www.festo.com/ua/uk/products/pneumatics/valves/>
12. Частотні перетворювачі для асинхронних двигунів з Modbus RS-485
 URL: <https://www.danfoss.com/uk-ua/products/dds/drives/variable-frequency-drives/>
13. Асинхронні електродвигуни серії АИР. Технічні характеристики
 URL: <https://electromotor.com.ua/ua/asinhronni-dvyguny-air/>
14. Асинхронні трифазні електродвигуни АИР 90L та 112. Підключення «зірка/трикутник»
 URL: <https://energo-puls.com.ua/ua/elektrodvigateli/air/>
15. Магнітні датчики положення для пневмоциліндрів Festo SME
 URL: <https://www.festo.com/ua/uk/products/sensors/proximity-sensors/>
16. Системи автоматизації харчової промисловості. Обладнання для формування та панірування продуктів
 URL: <https://www.gea.com/en/products/food-processing/>
17. GEA MultiFormer – автоматизовані системи формування напівфабрикатів
 URL: <https://www.gea.com/en/products/forming-machines/>
18. Пупена О.М. Контролери та їх програмне забезпечення. Курс лекцій для студ. напр. 6.50202 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології" денної та заочної форм навчання. Частина 3. / О.М. Пупена, І.В. Ельперін. – К.: НУХТ, 2011. – 48 с.
19. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: навчальний посібник / А.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. – К.: Вид-во «Ліра-К», 2011. – 552 с.

20. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології: курс лекцій для студ. напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. / О.М. Пупена. – К.: НУХТ, 2011. – 67 с.

21. Ладанюк А.П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування) : монографія / А.П.Ладанюк, Заєць Н.А., Л.О.Власенко. – К. : Видавництво Ліра-К, 2016. – 312 с.

22. Трегуб В.Г. Автоматизація об'єктів періодичної дії: підручник / В.Г. Трегуб. Київ: Видавництво Ліра-К, 2017. – 136 с.

23. Інноваційні технології в управлінні складними біотехнологічними об'єктами агропромислового комплексу: монографія / А.П. Ладанюк, В.М. Решетюк, В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх. – Київ: Центр учбової літератури, 2014. – 280 с.

24. Innovative energy-saving technologies in biotechnological objects control / A. Chochowski, I. Chernyshenko, V. Kozyrskyi, V. Kyshenko, A. Ladaniuk, V. Lysenko, V. Reshetiuk, I. Smitiukh, V. Shtepa, V. Shcherbatiuk. - K.: Tsentr Uchbovooi Literatury, 2014.- 240 p. 68

25. Сучасні методи автоматизації технологічних об'єктів: монографія / А.П. Ладанюк, О.А. Ладанюк, Р.О. Бойко, В.В. Іващук, Д.О. Кроніковський, Д.А. Шумигай. – К.: Інтер Логістик Україна, 2015. – 408 с.

26. Ладанюк А.П. Сучасні технології конструювання систем автоматизації складних об'єктів (мережеві структури, адаптація, діагностика та прогнозування): монографія / А.П. Ладанюк, Н.А Заєць, Л.О. Власенко. - К.: Видавництво Ліра-К, 2016. – 312с.

27. GEA Group AG. Food Processing & Packaging Technology: Product Portfolio and Solutions. – Düsseldorf: GEA Group, 2020. – 256 p.

28. GEA Group AG. MultiFormer Product Range – Technical Description and Applications. – Düsseldorf: GEA Food Solutions, 2019. – 84 p.

					Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»	Арк.
						79
Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

29. GEA Group AG. MultiFormer 400: Operating and Maintenance Manual. – Düsseldorf: GEA Food Solutions, 2018. – 112 p.
30. GEA Group AG. OptiFlour Battering and Breeding Systems – Technical Guide. – Düsseldorf: GEA Food Solutions, 2019. – 96 p.
31. GEA Group AG. Forming Technology for Poultry and Meat Products. – Düsseldorf: GEA Food Solutions, 2021. – 148 p.
32. GEA Group AG. Automation Solutions for Food Processing Lines. – Düsseldorf: GEA Group, 2020. – 104 p.
33. GEA Group AG. Hygienic Design in Food Processing Equipment. – Düsseldorf: GEA Food Solutions, 2018. – 72 p.
34. GEA Group AG. Integrated Production Lines for Poultry Processing. – Düsseldorf: GEA Food Solutions, 2021. – 132 p.

					<i>Кваліфікаційна робота ОС «Магістр»</i>	Арк.
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>		80