

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

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

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на здобуття освітнього ступеня

бакалавр

(назва освітнього ступеня)

на тему: Розроблення автоматизованої системи керування лінією дозування та
змішування компонентів з архівуванням параметрів і SCADA-візуалізацією

Виконав: студент IV курсу, групи КТ-41

151 Автоматизація та
комп'ютерно-інтегровані
спеціальності технології

(шифр і назва спеціальності)

Дідуник В.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник Станько А.А.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Нормоконтроль Чихіра І.В.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Завідувач кафедри Голотенко О.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Рецензент Капаціла Ю.Б.
(підпис) (прізвище та ініціали)

Тернопіль
2026

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

Факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії
(повна назва факультету)

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

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

Голотенко О.С.
(підпис) (прізвище та ініціали)

«_14_» _ квітня 2026 р._

**ЗАВДАННЯ
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

на здобуття освітнього ступеня Бакалавр
(назва освітнього ступеня)

за спеціальністю 151 Автоматизація та комп'ютерно інтегровані технології
(шифр і назва спеціальності)

Студенту Дідунику Віталію Андрійовичу
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Розроблення автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів з архівуванням параметрів і SCADA-візуалізацією

Керівник роботи Станько Андрій Андрійович, доктор філософії
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

Затверджені наказом ректора від «_14_» квітня 2026 року № 4/9-183

2. Термін подання студентом завершеної роботи 25 червня 2025р.

3. Вихідні дані до роботи Наукові публікації про автоматизовані системи керування лінією дозування та змішування компонентів з архівуванням параметрів.

4. Зміст роботи

Вступ. 1 Аналітична частина. 1.1 Аналіз технологічного процесу. 1.2 Характеристика об'єкта
1.2 Огляд існуючих систем. 1.4 Аналіз засобів програмно-технічної реалізації 1.5 Постановка
Задачі та формування вимог. 1.6 Висновок до першого розділу. 2 Проектна частина
2.1 Розроблення функціональної структури. 2.2 Обґрунтування вибору технічних засобів
автоматизації. 2.3 Розроблення алгоритму розроблення лінії. 2.4 Розроблення структурної та
принципової схеми системи керування. 2.5 Проектування програмного забезпечення
контролера. 2.5 Висновок до другого розділу. 3 Спеціальна частина. 3.1 Розроблення SCADA
-інтерфейсу оператора. 3.2 Організація архівування технологічних параметрів. 3.3 Реалізація
обміну даними між ПЛК і SCADA. 3.4 Моделювання, налагодження та тестування роботи
системи. 3.5 Оцінювання ефективності впровадження розробленої системи. 3.6 Висновок до
третього розділу. 4 Охорона праці та безпека в надзвичайних ситуаціях.

Висновки, Перелік джерел, Додатки

5. Перелік графічного матеріалу

1 Титульна сторінка. 2 Тема, Мета, Об'єкт, Предмет дослідження. 3 Завдання дослідження.
4 Актуальність дослідження. 5 Схема технологічного процесу дозування та змішування
компонентів. 6 Структура програмно-технічних засобів. 7 Алгоритм роботи лінії дозування та
змішування. 8 Загальна схема моделювання, налагодження та тестування. 9 Структура об'єкта
автоматизації лінії дозування та змішування компонентів. 10 Типові архітектури систем
автоматизації. 11 Структура програмного забезпечення контролера. 12 Головна мнемосхема
SCADA-інтерфейсу оператора. 13 Організація архівування технологічних параметрів
14 Схема обміну даними між ПЛК і SCADA. 15 Висновки. 16 Завершальний.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Безпека в надзвичайних ситуаціях	к.т.н., доц. Сенчишин В.С.		

7. Дата видачі завдання 14 квітня 2026 р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів роботи	Термін виконання етапів роботи	Примітка
1.	Ознайомлення з завданням до кваліфікаційної роботи	14.04.2026	Виконано
2.	Підбір джерел про автоматизованої системи керування	02.06.2026	Виконано
3.	Вибір компонентної бази	04.06.2026	Виконано
4.	Розроблення автоматизованої системи керування	05.06.2026	Виконано
	лінією дозування та змішування компонентів		
5.	Переклад та опрацювання джерел	06.06.2026	Виконано
6.	Розроблення прототипу терміналу	07.06.2026	Виконано
7.	Розроблення SCADA-візуалізації	08.06.2026	Виконано
8.	Оформлення розділу «Аналітична частина»	10.06.2026	Виконано
11.	Оформлення розділу «Проектна частина»	13.06.2026	Виконано
12.	Оформлення розділу «Спеціальна частина»	15.06.2026	Виконано
13.	Виконання розділу «Охорона праці та безпека в НС»	16.06.2026	Виконано
14.	Підготовка графічного матеріалу	17.06.2026	Виконано
15.	Оформлення кваліфікаційної роботи	18.06.2026	Виконано
16.	Нормоконтроль	19.06.2026	Виконано
17.	Перевірка на плагіат	20.06.2026	Виконано
18.	Попередній захист кваліфікаційної роботи	23.06.2026	Виконано
19.	Захист кваліфікаційної роботи	24.06.2026	

Студент

(підпис)

Дідуник В.А.

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

(підпис)

Станько А.А.

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Розроблення автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів з архівуванням параметрів і SCADA-візуалізацією // Кваліфікаційна робота освітнього рівня «Бакалавр» // Дідуник Віталій Андрійович // Тернопільський національний технічний університет імені Івана Пулюя, факультет прикладних інформаційних технологій та електроінженерії, кафедра автоматизації та комп'ютерно-інтегрованих технологій, група КТ-41 // Тернопіль, 2026 // С. 63, рис. – 4, табл. – 4, кресл. – 16, додат. – 14, бібліогр. – 60.

Ключові слова: система керування, ПЛК, SCADA, змішування, архівування, автоматизація.

Кваліфікаційна робота присвячена розробленню автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів з використанням ПЛК, SCADA-візуалізації та архівування технологічних параметрів.

У першому розділі проаналізовано технологічний процес, об'єкт автоматизації та вимоги до системи.

У другому розділі розроблено структуру системи, алгоритм роботи та програмне забезпечення контролера.

У третьому розділі розглянуто SCADA-візуалізацію, архівування параметрів, обмін даними та оцінювання ефективності системи..;

В четвертому розділі кваліфікаційної роботи: висвітлено питання з Безпеки життєдіяльності та Основ охорони праці.

Об'єкт дослідження: технологічний процес дозування та змішування компонентів у межах автоматизованої виробничої лінії.

Предмет дослідження: методи, засоби та алгоритми побудови автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів із використанням ПЛК, SCADA-візуалізації, архівування параметрів і журналювання технологічних подій.

ANNOTATION

Development of an automated control system for a component dosing and mixing line, featuring parameter archiving and SCADA visualisation // The educational level " Bachelor " qualification work // Didunyk Vitaliy Andriyovych // Ternopil Ivan Pulyuy National Technical University, Faculty of Applied Information Technologies and Electrical Engineering, Department of Computer-Integrated Technologies, KT-41 group // Ternopil, 2026 // P. 63, fig. - 4, tables - 4, chair. - 16, annexes - 14, ref. - 60.

Key words: control system, PLC, SCADA, mixing, archiving, automation.

This qualification work is devoted to the development of an automated control system for a component dosing and mixing line, utilising a PLC, SCADA visualisation and the archiving of process parameters.

The first section analyses the process, the automation target and the system requirements.

The second section outlines the system architecture, operating algorithm and controller software.

The third section examines SCADA visualisation, parameter archiving, data exchange and system performance evaluation.

The fourth section of the thesis addresses issues relating to Life Safety and the Fundamentals of Occupational Health and Safety.

Object of study: the technological process of dosing and mixing components within an automated production line. Subject of study: methods, means and algorithms for constructing an automated control system for a component dosing and mixing line using a PLC, SCADA visualisation, parameter archiving and logging of process events.

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, ОДИНИЦЬ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

AC (англ. Alternating Current) – змінний струм

BoxSensor – датчик наявності (присутності) коробки на пакувальній позиції

CNT, CNT0 (англ. Counter) – внутрішній лічильник ПЛК

CPU (англ. Central Processing Unit) – центральний процесор контролера

CPM1A – мікропрограмований логічний контролер Omron серії CPM1A

DC (англ. Direct Current) – постійний струм

DM (англ. Data Memory) – область пам'яті даних ПЛК

HMI (англ. Human–Machine Interface) – людино-машинний інтерфейс

Host Link – послідовний протокол обміну даними контролерів Omron

IEC (англ. International Electrotechnical Commission) – Міжнародна електротехнічна комісія

I/O (англ. Input / Output) – входи та виходи контролера

LD (англ. Ladder Diagram) – мова релейно-контактних схем для програмування ПЛК

MES (англ. Manufacturing Execution System) – система диспетчеризації виробництва

Motor_Box – вихід керування мотором конвеєра коробок

Motor_Prod – вихід керування мотором подачі деталей

NC (англ. Normally Closed) – нормально замкнений контакт (стик)

NPN-вихід / NPN-датчик – транзисторний вихід або фотодатчик з відкритим колектором NPN-типу

PLC (англ. Programmable Logic Controller) – програмований логічний контролер

RS-232C – стандарт послідовного інтерфейсу зв'язку

SCADA (англ. Supervisory Control and Data Acquisition) – диспетчерський контроль і збір даних

ЗМІСТ

ВСТУП	6
1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА	10
1.1 Аналіз технологічного процесу	10
1.2 Характеристика об'єкта	12
1.3 Огляд існуючих систем.....	14
1.4 Аналіз засобів програмно-технічної реалізації	15
1.5 Постановка задачі та формування вимог	16
1.6 Висновок до першого розділу	18
2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА	19
2.1 Розроблення функціональної структури.....	19
2.2 Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації	20
2.3 Розроблення алгоритму роботи лінії.....	22
2.4 Розроблення структурної та принципової схеми системи керування.....	24
2.5 Проектування програмного забезпечення контролера.....	25
2.6 Висновок до другого розділу	26
3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА.....	27
3.1 Розроблення SCADA-інтерфейсу оператора.....	27
3.2 Організація архівування технологічних параметрів.....	29
3.3 Реалізація обміну даними між ПЛК і SCADA.....	31
3.4 Моделювання, налагодження та тестування роботи системи	32
3.5 Оцінювання ефективності впровадження розробленої системи	34
3.6 Висновок до третього розділу	35
4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ	37
4.1 Питання щодо охорони праці.....	37
4.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях	39
ВИСНОВКИ.....	41
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ.....	45
ДОДАТКИ	

ВСТУП

Актуальність теми. Сучасний розвиток промислового виробництва характеризується стійким переходом від локального керування окремими механізмами до комплексних автоматизованих систем, здатних забезпечувати не лише виконання технологічних операцій, а й безперервний контроль, візуалізацію, архівування параметрів та підтримку прийняття рішень оператором. Особливої актуальності такі підходи набувають у технологічних процесах, пов'язаних із дозуванням і змішуванням компонентів, оскільки саме ці процеси безпосередньо впливають на якість готової продукції, повторюваність результатів виробництва, стабільність рецептури та економічність використання сировини. Виконання операцій дозування в ручному або частково механізованому режимі часто супроводжується похибками подавання компонентів, нестабільністю часу змішування, залежністю результату від кваліфікації персоналу та обмеженими можливостями документування ходу технологічного процесу. У зв'язку з цим розроблення автоматизованих систем керування лініями дозування та змішування є важливим напрямом підвищення технічного рівня виробництва, його керованості та надійності [1], [2].

Додаткової значущості зазначена проблема набуває в умовах поширення концепцій цифровізації виробничих процесів, інтеграції рівнів керування та використання SCADA-систем як інструментів диспетчеризації, оперативного моніторингу й накопичення технологічної інформації. Використання програмованих логічних контролерів у поєднанні з верхнім рівнем візуалізації дозволяє перейти від простого виконання команд до побудови функціонально завершеної системи, у якій забезпечуються послідовне виконання алгоритму, контроль аварійних ситуацій, журналювання подій, збереження історичних даних і подальший аналіз режимів роботи. Для виробничих ліній дозування та змішування це має принципове значення, оскільки архівування параметрів дозволяє фіксувати фактичні значення доз, часові характеристики циклу,

відхилення від заданих режимів і дії оператора, що є основою для підвищення простежуваності процесу та вдосконалення його керування [3], [4].

Ступінь дослідженості проблеми свідчить про наявність значної кількості наукових і прикладних праць, присвячених питанням промислової автоматизації, застосуванню ПЛК, побудові HMI/SCADA-рішень, а також створенню систем автоматизованого керування для процесів змішування, дозування, подавання реагентів і компонентів. У наукових джерелах досліджено принципи побудови багаторівневих систем керування, архітектури взаємодії між польовим, контролерним та диспетчерським рівнями, питання інтеграції засобів збору й збереження даних, а також підходи до підвищення ефективності виробничих процесів за рахунок автоматизації [1], [3], [5]. Водночас для конкретних технологічних об'єктів, зокрема ліній дозування та змішування компонентів, зберігається потреба у прикладних розробках, у яких поєднуються аналіз технологічного процесу, вибір технічних засобів, формування алгоритмів керування, реалізація SCADA-візуалізації та організація архівування параметрів у межах єдиної узгодженої системи. Саме така прикладна спрямованість і визначає науково-технічну доцільність обраної теми [2], [4].

Актуальність теми бакалаврської кваліфікаційної роботи зумовлена необхідністю підвищення точності дозування, стабільності процесу змішування, зменшення впливу людського фактора, покращення візуального контролю технологічного процесу та забезпечення накопичення даних для подальшого аналізу роботи системи. Розроблення автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів з архівуванням параметрів і SCADA-візуалізацією дозволяє розв'язати комплекс практичних задач, пов'язаних із якістю керування, безпечністю функціонування, оперативністю реагування на відхилення та можливістю аналізу історії перебігу процесу. Для сучасного промислового виробництва така система є не лише інструментом автоматизації окремої технологічної ділянки, а й елементом загальної тенденції переходу до більш інтегрованих і прозорих виробничих середовищ [1] – [3].

Мета і задачі дослідження. Є розроблення автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів, яка забезпечує автоматичне виконання технологічного циклу, контроль основних параметрів процесу, відображення стану системи в середовищі SCADA, архівування технологічних даних і журналювання подій для підвищення ефективності та надійності функціонування виробничої ділянки.

Для досягнення поставленої мети у роботі необхідно розв'язати такі основні завдання:

- проаналізувати технологічний процес дозування та змішування компонентів як об'єкт автоматизації;
- визначити основні контрольовані, керуючі та збурювальні параметри процесу; дослідити існуючі підходи до автоматизації подібних ліній і засоби їх програмно-технічної реалізації;
- сформулювати вимоги до автоматизованої системи керування; розробити функціональну структуру системи;
- обґрунтувати вибір програмованого логічного контролера, датчиків, виконавчих механізмів і засобів зв'язку;
- розробити алгоритм функціонування лінії в автоматичному та допоміжних режимах;
- спроектувати структуру програмного забезпечення контролера; розробити SCADA-інтерфейс оператора;
- організувати архівування технологічних параметрів і ведення журналу подій;
- описати механізм обміну даними між ПЛК і SCADA;
- виконати моделювання, налагодження та тестування логіки роботи системи;
- оцінити очікувану ефективність упровадження розробленого рішення.

Об'єкт дослідження: технологічний процес дозування та змішування компонентів у межах автоматизованої виробничої лінії.

Предмет дослідження: методи, засоби та алгоритми побудови автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування

компонентів із використанням ПЛК, SCADA-візуалізації, архівування параметрів і журналювання технологічних подій.

Наукова новизна одержаних результатів кваліфікаційної роботи полягає у тому, що запропоновано комплекс загальнонаукових і спеціальних методів дослідження. Для аналізу технологічного процесу та обґрунтування структури системи застосовано методи системного аналізу й функціонального декомпонування. Для вибору технічних засобів використано метод порівняльного аналізу програмно-апаратних рішень. Під час розроблення алгоритмів керування застосовано методи логічного моделювання дискретно-подієвих послідовностей. При формуванні структури інформаційної взаємодії між рівнями системи використано підходи, характерні для багаторівневих систем промислової автоматизації та диспетчерського керування [1], [2]. Під час опису архівування параметрів і журналювання подій використано принципи організації промислових історичних даних і засобів відображення інформації у верхньому рівні керування [3].

Практичне значення одержаних результатів. Полягає в тому, що розроблена система може бути використана як основа для створення або модернізації реальної автоматизованої лінії дозування та змішування компонентів у виробничих умовах. Запропоновані технічні та алгоритмічні рішення дають можливість підвищити точність виконання операцій дозування, забезпечити стабільний цикл змішування, зменшити залежність результату від оператора, організувати централізоване відображення стану обладнання та накопичення архівних даних для подальшого аналізу. Практична цінність роботи також полягає у формуванні узгодженої структури взаємодії між польовим рівнем, ПЛК та SCADA, що відповідає сучасним підходам до інтеграції систем керування у промисловому середовищі [1], [2], [4]..

1 АНАЛІТИЧНА ЧАСТИНА

Ефективне розроблення автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів потребує попереднього ґрунтовного аналізу технологічного процесу.

У цьому розділі буде розглянуто сутність процесу дозування та змішування компонентів, охарактеризовано структуру об'єкта автоматизації та визначено його основні технологічні змінні.

1.1 Аналіз технологічного процесу

Технологічні процеси дозування та змішування компонентів належать до поширених виробничих операцій у харчовій, хімічній, фармацевтичній, будівельній та багатьох інших галузях промисловості [1], [2].

З погляду організації керування лінія дозування та змішування є комплексним технологічним об'єктом, у якому поєднуються операції зберігання компонентів, їх транспортування, відмірювання заданої кількості [1], [3].

У загальному випадку технологічний цикл дозування та змішування починається з перевірки готовності системи до роботи. На цьому етапі контролюється наявність компонентів у відповідних ємностях, початковий стан виконавчих механізмів [1], [2].

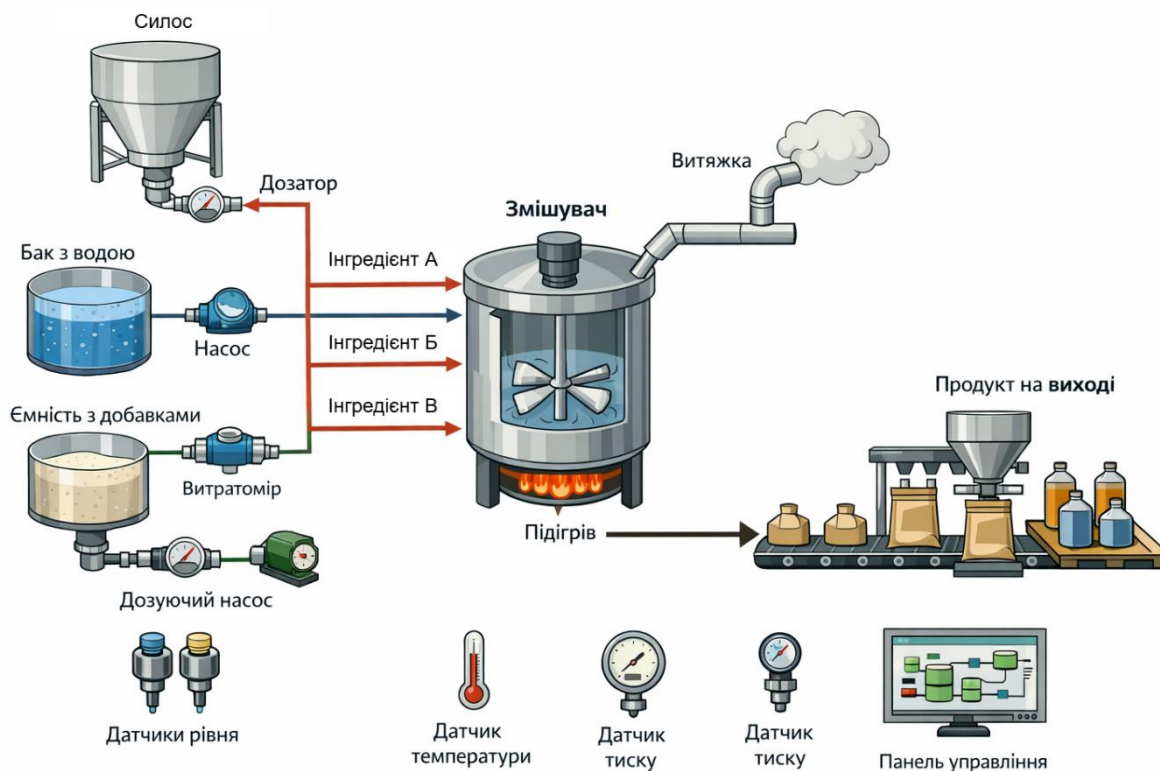


Рисунок 1.1 – Узагальнена схема технологічного процесу дозування та змішування компонентів

В Додатку Е наведено – Основні технологічні параметри процесу дозування та змішування компонентів.

Особливістю процесу дозування є те, що він безпосередньо визначає кількісне співвідношення компонентів у готовій суміші, а отже, впливає на її фізико-хімічні, механічні або споживчі характеристики [3], [4].

Не менш важливою є стадія змішування, у межах якої формується однорідність суміші та забезпечується рівномірний розподіл компонентів у всьому об'ємі продукту [1], [5].

Аналізуючи технологічний процес дозування та змішування, доцільно виділити групу основних параметрів, що визначають якість його функціонування [2], [3].

Для процесів цього типу характерна наявність значної кількості збурювальних впливів, які ускладнюють забезпечення точної та повторюваної роботи [3], [5].

Важливим аспектом є також режимність процесу. У виробничих умовах лінія дозування та змішування може працювати в автоматичному, напівавтоматичному, ручному [2], [4].

Окремої уваги потребує питання інформаційної підтримки технологічного процесу. Для сучасної лінії дозування та змішування недостатньо лише реалізувати керування приводами та відслідковувати граничні сигнали [2], [5].

Узагальнюючи проведений аналіз, можна зазначити, що технологічний процес дозування та змішування компонентів є багатостадійним, циклічним і чутливим до точності реалізації кожної окремої операції.

1.2 Характеристика об'єкта

Об'єктом автоматизації у межах даної роботи є лінія дозування та змішування компонентів, яка функціонує як послідовно пов'язана технологічна система з ознаками batch-процесу [1], [2].

У межах технологічної структури досліджуваного об'єкта доцільно виділити декілька основних груп обладнання. Перша група охоплює вузли зберігання і підготовки компонентів, у яких контролюється наявність матеріалу, його рівень або маса [1], [3], [4].

В Додатку А наведена – Структура об'єкта автоматизації лінії дозування та змішування компонентів.

З погляду автоматизації принципове значення має виділення технологічних змінних, які визначають стан об'єкта і формують основу для побудови алгоритмів керування [2], [3].

Для даного об'єкта автоматизації доцільно окремо класифікувати змінні за їх функціональним призначенням. Першу групу становлять контрольовані параметри, тобто такі, що підлягають постійному або періодичному вимірюванню з метою оцінювання стану [3] – [5].

Таблиця 1.1 – Класифікація технологічних змінних об'єкта автоматизації]

№	Група змінних	Приклади змінних	Призначення
1	Вхідні змінні	сигнали датчиків рівня, маси, положення, кнопки керування	Отримання інформації про стан процесу та обладнання
2	Вихідні змінні	команди на клапани, насоси, шнеки, мішалку, вивантажувальний механізм	Реалізація керуючих впливів на технологічний процес
3	Керуючі змінні	уставки дозування, час змішування, вибір рецепта, режими роботи	Формування алгоритму роботи системи
4	Контрольовані змінні	фактична маса компонента, рівень у ємностях, стан приводів	Моніторинг перебігу процесу
5	Регульовані змінні	швидкість подавання, частота обертання мішалки	Підтримання потрібного технологічного режиму
6	Сигналізовані змінні	аварія, попередження, відсутність компонента, перевищення часу дозування	Оповіщення про відхилення та нештатні ситуації
7	Внутрішні службові змінні	стан етапу циклу, таймери, лічильники, ознаки блокувань	Забезпечення логіки алгоритму керування
8	Архівовані змінні	значення дозування, тривалість етапів, режими роботи, аварійні події	Збереження історії процесу для аналізу

Значна увага під час характеристики об'єкта автоматизації повинна приділятися збурювальним впливам і технологічним обмеженням, оскільки саме вони визначають вимоги до точності керування та структури логічних захистів [2], [3].

Важливою характеристикою об'єкта автоматизації є вимоги до точності та стабільності керування. Якщо дозування реалізується за масою, система повинна забезпечити мінімізацію статичної похибки між заданою та фактично отриманою дозою [2], [3].

Окремий інтерес для даної роботи становлять параметри, що підлягають архівуванню. З огляду на вимоги до SCADA-візуалізації та накопичення історичних даних до складу таких параметрів доцільно включити задані та фактичні [4], [5].

З урахуванням наведеного можна зробити висновок, що об'єкт автоматизації у вигляді лінії дозування та змішування компонентів має складну багаторівневу структуру, в якій поєднуються матеріальні потоки [1], [2], [4].

1.3 Огляд існуючих систем

Автоматизація ліній дозування і змішування компонентів у сучасній промисловості реалізується у вигляді систем різної складності [1], [2].

Узагальнення наявних підходів показує, що більшість сучасних систем автоматизації таких ліній будується відповідно до логіки ієрархічного поділу на польовий рівень, рівень контролера та верхній рівень диспетчеризації [1], [2], [5].

Найпростішими є локальні системи автоматизації, у яких керування окремими механізмами здійснюється за допомогою релейно-контакторних схем, простих таймерів або автономних дозувальних пристроїв [2], [6]. Значно поширенішими у промисловій практиці є системи на базі програмованих логічних контролерів із локальною панеллю оператора НМІ [1], [3].

Більш функціонально завершеним є підхід, у якому ПЛК доповнюється SCADA-системою та підсистемою історичних даних. Саме такі рішення сьогодні є типовими для виробничих ліній, де важливі не лише точність виконання рецептури та автоматичне проходження [3], [4].

В Додатку Б наведено – Типові архітектури систем автоматизації ліній дозування і змішування.

В Додатку Є наведено – Порівняльна характеристика існуючих підходів до автоматизації ліній дозування і змішування.

Існуючі системи автоматизації ліній дозування і змішування також суттєво відрізняються за способом вимірювання кількості компонентів [6], [8].

Допоміжну, але дуже важливу роль у таких системах відіграють засоби контролю рівня та граничних станів. Документація Endress+Hauser показує, що рівнемірні засоби використовуються для безперервного вимірювання рівня та точкового контролю в [6] – [8].

Ще однією важливою ознакою сучасних систем є прагнення до відкритого й стандартизованого обміну даними між ПЛК, SCADA, historian-підсистемами та суміжними інформаційними сервісами [1], [5].

Порівняльний аналіз дозволяє зробити висновок, що локальні релейні та автономні рішення можуть бути прийнятними лише для простих об'єктів з мінімальними вимогами до гнучкості й простежуваності [1], [2].

1.4 Аналіз засобів програмно-технічної реалізації

Після аналізу технологічного процесу та огляду існуючих систем автоматизації логічним наступним кроком є оцінювання тих програмно-технічних засобів, на основі яких може бути реалізована розроблювана система керування [9], [12], [15].

На рівні контролерної платформи для задач такого класу найбільш доцільними є компактні або модульні програмовані логічні контролери, орієнтовані на машинну автоматизацію [9], [11].

Важливою складовою технічної реалізації є організація введення та виведення сигналів. Для лінії дозування і змішування характерною є одночасна наявність дискретних сигналів стану, аналогових вимірювань і керуючих команд [10].

На верхньому рівні системи керування ключову роль відіграє SCADA-платформа, оскільки саме вона забезпечує операторське спостереження, керування, журналювання та відображення історії процесу [12].

Окремого аналізу потребують засоби архівування технологічних даних та історії аварійних станів. У документації Ignition зазначено, що модуль Tag Historian автоматично зберігає історію тегів у SQL database [13], [14].

Суттєве значення у програмно-технічній реалізації має вибір промислових мереж та протоколів обміну даними. Для систем такого класу найбільш типовими є PROFINET, Modbus TCP та OPC UA, однак їх функціональна роль у структурі системи різниться [9], [11], [15].

Для виконавчого рівня суттєвим є аналіз засобів керування електроприводами, оскільки у лініях дозування та змішування часто використовуються двигуни мішалок, шнеків, транспортерів, насосів і механізмів вивантаження [16].



Рисунок 1.2 – Узагальнена структура програмно-технічних засобів системи керування

Узагальнення проведеного аналізу дає підстави стверджувати, що для реалізації автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів найбільш доцільною є архітектура [9], [10], [12] – [16].

1.5 Постановка задачі та формування вимог

Проведений у попередніх підрозділах аналіз технологічного процесу, характеристик об'єкта автоматизації, існуючих підходів до побудови систем дозування і змішування [17], [18].

У загальному вигляді задача проєктування полягає у створенні автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів [19] – [24].

Метою розроблення автоматизованої системи керування є підвищення точності дозування компонентів, стабільності процесу змішування [22] – [24].

Для досягнення поставленої мети система повинна реалізовувати низку основних функцій. По-перше, вона має забезпечувати автоматичне послідовне виконання етапів технологічного циклу: перевірку готовності обладнання [17], [18], [22].

Функціональні вимоги до системи повинні бути сформульовані таким чином, щоб у подальшій проєктній частині вони могли бути безпосередньо трансформовані у структуру алгоритмів, модулі програми ПЛК і SCADA-теги [22] – [24].

Технічні вимоги до системи визначаються особливостями об'єкта автоматизації та вимогами до надійності і розширюваності. Програмований логічний контролер повинен мати достатню кількість дискретних та аналогових каналів або підтримувати просте розширення через [26].

Істотне місце серед технічних вимог займають вимоги до інформаційної взаємодії між рівнями системи. Передавання даних між ПЛК і SCADA повинно забезпечувати своєчасне оновлення значень, однозначну адресацію змінних [18], [25].

До експлуатаційних вимог необхідно віднести зручність користування системою оператором, наочність візуального подання технологічного процесу, спрощення діагностики несправностей [23], [24].

Отже, постановка задачі проєктування автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів полягає у створенні інтегрованого програмно-апаратного рішення [17], [18], [22], [25].

Таблиця 1.2 – Функціональні та технічні вимоги до автоматизованої системи керування.

№	Група вимог	Зміст вимоги
1	Функціональні	Автоматичне виконання циклу дозування, змішування та вивантаження
2	Функціональні	Підтримка автоматичного, ручного та аварійного режимів роботи
3	Функціональні	Контроль основних технологічних параметрів і станів обладнання
4	Функціональні	Формування попереджень, аварійної сигналізації та блокувань
5	Функціональні	Візуалізація процесу на операторському рівні SCADA
6	Функціональні	Архівування параметрів і ведення журналу подій
7	Технічні	Використання ПЛК для реалізації алгоритму керування
8	Технічні	Підключення дискретних і аналогових датчиків та виконавчих механізмів
9	Технічні	Підтримка промислового мережевого обміну між ПЛК і SCADA
10	Технічні	Можливість модульного розширення системи
11	Експлуатаційні	Зручність роботи оператора та наочність інтерфейсу
12	Експлуатаційні	Надійність, безпечність і придатність до технічного обслуговування

1.6 Висновок до першого розділу

У першому розділі було виконано аналітичне дослідження технологічного процесу дозування та змішування компонентів як об'єкта автоматизації [17], [18].

У ході аналізу об'єкта автоматизації визначено основні групи технологічних змінних, до яких належать контрольовані, керуючі та сигналізовані параметри [17], [18], [25].

Проведений огляд існуючих систем автоматизації ліній дозування і змішування показав, що найбільш функціонально доцільними для об'єктів такого типу є багаторівневі рішення [19] – [24].

На підставі виконаного аналізу сформульовано постановку задачі розроблення автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів з архівуванням параметрів і SCADA-візуалізацією [18], [22], [25].

2 ПРОЕКТНА ЧАСТИНА

Після проведення аналітичного дослідження технологічного процесу, визначення особливостей об'єкта автоматизації та формування вимог до майбутньої системи керування виникає необхідність переходу до [19], [22].

У даному розділі буде розроблено функціональну структуру автоматизованої системи керування, визначено склад її основних рівнів та взаємозв'язки між ними, обґрунтовано вибір програмованого логічного контролера [20], [21], [26].

2.1 Розроблення функціональної структури

Функціональна структура автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів повинна відображати логіку взаємодії між технологічним обладнанням, засобами збору даних, контролерним рівнем та операторською підсистемою [28].

З огляду на призначення розроблюваної системи її доцільно представити у вигляді чотирьох взаємопов'язаних функціональних рівнів: технологічного, польового, контролерного та операторсько-інформаційного [27] – [30].

На технологічному рівні розташований безпосередній об'єкт керування, який у межах даної роботи включає вузли зберігання компонентів, пристрої їх подавання, змішувач та механізми вивантаження готової суміші [28].

Польовий рівень призначений для перетворення фізичних станів і параметрів технологічного процесу в інформаційні сигнали, а також для реалізації керуючих впливів на об'єкт [27]. Центральним елементом функціональної структури є контролерний рівень, на якому реалізується основна логіка автоматизованого керування [27], [29].

Операторсько-інформаційний рівень виконує функції візуалізації, диспетчерського контролю, зміни уставок, відображення режимів роботи, фіксації аварійних подій і архівування технологічних параметрів [30].

Важливим елементом функціональної структури є підсистема архівування та журналювання, яка формально належить до верхнього рівня, але виконує окрему функціональну роль [28], [30].

Зв'язки між рівнями системи повинні бути організовані так, щоб забезпечити однозначний рух інформації та керуючих впливів [27], [30].

Таблиця 2.1 – Функціональний розподіл задач між рівнями автоматизованої системи керування.

№	Рівень системи	Основні задачі
1	Технологічний рівень	Виконання процесів дозування, змішування та вивантаження
2	Польовий рівень	Вимірювання параметрів процесу та передавання сигналів від датчиків
3	Польовий рівень	Реалізація керуючих впливів через виконавчі механізми та приводи
4	Контролерний рівень	Виконання алгоритму керування технологічним циклом
5	Контролерний рівень	Обробка сигналів, міжблокувань, аварій та режимів роботи
6	Операторсько-інформаційний рівень	Візуалізація технологічного процесу та станів обладнання
7	Операторсько-інформаційний рівень	Архівування параметрів і ведення журналу подій
8	Операторсько-інформаційний рівень	Забезпечення операторського керування та аналізу роботи системи

Отже, функціональна структура автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів повинна бути побудована за багаторівневим принципом із чітким розподілом функцій між технологічним [27] – [30].

2.2 Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації

Вибір технічних засобів автоматизації для лінії дозування та змішування компонентів повинен здійснюватися з урахуванням функціональної структури системи, сформованої у попередньому підрозділі [31] – [39].

Як базовий контролер системи доцільно обрати SIMATIC S7-1200 G2. Такий вибір обґрунтовується тим, що в офіційній документації Siemens для цієї серії вказано наявність вбудованого інтерфейсу PROFINET з [31], [32], [39].

Альтернативним варіантом для системи такого класу міг би бути контролер Schneider Modicon M221, який підтримує Ethernet-взаємодію та може працювати в мережі як Modbus TCP client і server одночасно [31], [34], [39].

Для організації введення та виведення сигналів доцільно передбачити використання локальних модулів I/O SIMATIC S7-1200, а за потреби просторового рознесення вузлів — застосування децентралізованої периферії.

З огляду на специфіку процесу дозування, для вимірювання кількості компонентів найбільш доцільним є використання вагового принципу дозування на основі тензOMETричних датчиків або вагового вузла з відповідним перетворювачем [35].

Для контролю наявності матеріалу, запобігання переповненню та підтвердження виконання окремих стадій доцільно використати рівномірні засоби двох типів: безперервні та граничні [36].

Для фіксації положення механізмів, наявності рухомих частин у кінцевих позиціях, підтвердження відкриття або закриття заслінок та контролю допоміжних станів доцільно застосувати індуктивні датчики наближення [37].

Як виконавчі механізми системи доцільно прийняти електроприводи постійної швидкості для дискретних операцій і частотно-керовані приводи для механізмів, де важлива плавність або точність регулювання режиму [38].

З позицій мережевої взаємодії основною комунікаційною основою системи доцільно прийняти Industrial Ethernet / PROFINET як внутрішню шину між ПЛК, операторською станцією та, за потреби, віддаленими вузлами [31].

Для верхнього операторського рівня доцільно використати SCADA-систему SIMATIC WinCC Runtime Professional, оскільки Siemens визначає її як PC-based operator control and monitoring system для процесів, виробничих потоків, машин і установок [39].

У Додатку Ж наведено – Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації.

Отже, для реалізації автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів доцільно прийняти таку базову конфігурацію: ПЛК SIMATIC S7-1200 G2 як центральний контролер; локальні або [31] – [39].

2.3 Розроблення алгоритму роботи лінії

Алгоритм роботи лінії дозування та змішування компонентів повинен бути побудований як впорядкована послідовність технологічних стадій, для кожної з яких визначено умови входу, дії, контрольні ознаки та умови завершення [42].

У межах даної роботи пропонується реалізувати алгоритм у вигляді послідовної state-based моделі, де кожна стадія технологічного циклу описується окремим функціональним станом системи [40], [41].

Початковою стадією алгоритму є режим готовності, у якому система перебуває після подачі живлення, завершення попереднього циклу або скидання аварії [43], [44].

Після підтвердження готовності система переходить до стадії підготовки до запуску циклу. На цьому етапі виконується ініціалізація службових змінних, скидання ознак завершених операцій попередньої партії [43], [44].

Основною частиною алгоритму є стадія дозування компонентів, яка виконується послідовно відповідно до рецептури. Для кожного компонента доцільно реалізувати окрему підфазу, в межах якої відкривається відповідний подаючий орган або запускається [40], [42].

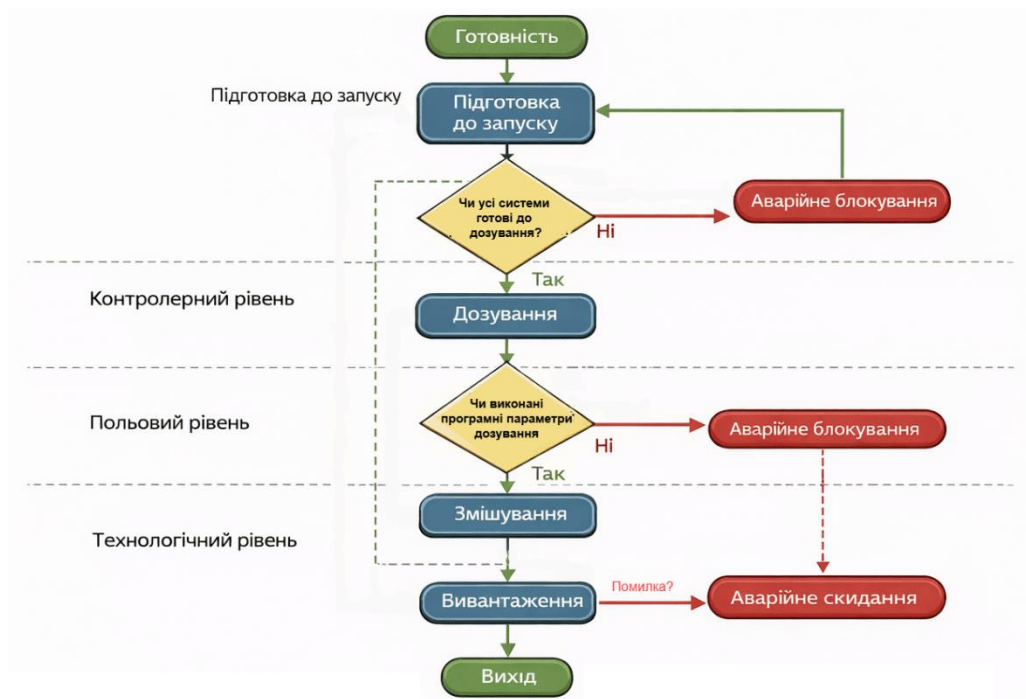


Рисунок 2.1 – Алгоритм роботи лінії дозування та змішування компонентів у автоматичному режимі

У Додатку 3 наведено – Основні стани, умови переходу та дії алгоритму роботи лінії.

Після завершення дозування всіх компонентів система переходить до стадії змішування. На цьому етапі ПЛК подає команду на запуск приводу мішалки, а тривалість процесу визначається або фіксованою уставкою часу [40].

Стадія вивантаження готової суміші передбачає відкриття вивантажувального органа або запуск відповідного механізму транспортування продукту [40], [44].

Крім автоматичного режиму, алгоритм повинен містити ручний режим і режим налагодження. У ручному режимі оператору дозволяється окремо керувати вибраними механізмами — наприклад, відкривати клапан.

Окремо в алгоритмі необхідно передбачити аварійні режими. Підставами для переходу в аварійний стан можуть бути відсутність сигналу від критичного датчика, перевищення допустимого часу дозування [43], [44].

З погляду програмної реалізації доцільно передбачити, що алгоритм працюватиме як цикл опитування станів із використанням службових бітів, змінних стану, таймерів і логічних умов переходу.

Отже, алгоритм роботи лінії дозування та змішування компонентів повинен бути побудований як структурована послідовність технологічних станів із чітко визначеними умовами входу, дій і завершення для кожної стадії [40]– [44].

2.4 Розроблення структурної та принципової схеми системи керування

Розроблення структурної та принципової схеми автоматизованої системи керування є необхідним етапом переходу від функціональної моделі до технічної реалізації [47].

У межах даного проєкту структурну схему доцільно побудувати за ієрархічним принципом із виділенням чотирьох основних вузлів: технологічного обладнання, шафи керування з ПЛК та модулями I/O [45], [46].

У структурній схемі доцільно передбачити, що сигнали від польових датчиків надходять або безпосередньо на локальні модулі ПЛК, або, якщо окремі вузли просторово віддалені, на децентралізовані модулі введення-виведення [47].

Принципова схема системи керування повинна деталізувати спосіб підключення окремих датчиків і виконавчих механізмів до входів та виходів контролера [51].

До дискретних виходів у принциповій схемі доцільно віднести команди на відкриття та закриття клапанів, запуск і зупинку шнеків, насосів, транспортерів, а також сигнали керування допоміжною сигналізацією [49].

У межах принципової схеми необхідно також визначити логіку адресації сигналів. Для зручності проєктування і подальшого програмування ПЛК доцільно застосувати групування каналів за функціональною ознакою [45].

Інформаційні потоки між нижнім і верхнім рівнями системи повинні бути організовані так, щоб кожен технологічний параметр мав однозначне представлення у контролері та на SCADA-рівні [48].

Під час побудови принципової схеми доцільно також дотримуватися розділення силових та сигнальних кіл. Це означає, що кола живлення виконавчих механізмів, силові ланцюги приводів і кола керування повинні бути електрично та конструктивно [45], [49], [51].

Отже, структурна схема розроблюваної системи повинна відобразити багаторівневу архітектуру взаємодії технологічного обладнання, польових пристроїв, ПЛК, мережевої інфраструктури та SCADA-рівня [45] – [49].

2.5 Проєктування програмного забезпечення контролера

Програмне забезпечення контролера для лінії дозування та змішування компонентів повинно будуватися як ієрархічно організована сукупність програмних блоків, які реалізують послідовний технологічний алгоритм [52].

З урахуванням обраної платформи SIMATIC S7-1200 G2 програмну реалізацію доцільно орієнтувати на середовище TIA Portal, у якому користувацька програма може бути побудована з використанням різних мов програмування [55].

З погляду внутрішньої структури програми доцільно передбачити наявність головної програми циклічного керування та набору спеціалізованих функціональних блоків [53].

У межах проєкту доцільно сформулювати таку базову структуру програмних модулів. Блок FB_StartUp повинен реалізовувати перевірку готовності обладнання, наявності компонентів [53], [55].

Важливою частиною проєктування програмного забезпечення є організація змінних. Їх доцільно поділити на кілька функціональних груп: змінні фізичних входів і виходів, внутрішні службові змінні алгоритму [55].

Окрему увагу необхідно приділити таймерам, лічильникам і внутрішній пам'яті блоків, оскільки саме ці елементи забезпечують правильний перебіг часових фаз технологічного циклу [54], [56].

Програмне забезпечення контролера повинно також реалізовувати міжблокування та аварійну обробку як окремий наскрізний шар логіки, а не як випадкові перевірки всередині окремих команд [55].

У Додатку В наведена структура програмного забезпечення контролера.

У Додатку И наведено – Основні програмні блоки, змінні та їх функціональне призначення.

З позицій взаємодії з операторським рівнем програмне забезпечення ПЛК повинно не лише керувати процесом, а й формувати узгоджений набір даних для SCADA [46], [57].

Отже, проектування програмного забезпечення контролера для лінії дозування та змішування компонентів доцільно здійснювати за модульним принципом із використанням головної програми [52] – [57].

2.6 Висновок до другого розділу

У другому розділі було виконано проєктне опрацювання автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів [27], [28], [30].

У ході розділу обґрунтовано вибір основних технічних засобів автоматизації. Як центральний засіб керування прийнято ПЛК SIMATIC S7-1200 G2, що забезпечує модульність, підтримку промислового Ethernet [51].

Важливим результатом проєктної частини стало формування алгоритму роботи лінії дозування та змішування компонентів як послідовності взаємопов'язаних станів: готовності, підготовки до запуску [45] – [51].

Завершальним елементом розділу стало проектування програмного забезпечення контролера, яке запропоновано реалізувати за модульним принципом із використанням головної програми [52] – [57].

3 СПЕЦІАЛЬНА ЧАСТИНА

Після формування функціональної структури системи, вибору технічних засобів, розроблення алгоритму роботи лінії та проєктування програмного забезпечення контролера виникає потреба перейти до спеціальної [58] – [60].

У цьому розділі буде розглянуто побудову SCADA-інтерфейсу оператора, організацію архівування технологічних параметрів і журналу подій, принципи реалізації обміну даними між ПЛК і SCADA [58]–[60].

3.1 Розроблення SCADA-інтерфейсу оператора

SCADA-інтерфейс оператора є ключовим елементом верхнього рівня автоматизованої системи керування, оскільки саме через нього здійснюється спостереження за перебігом технологічного процесу [46], [57], [58].

Під час розроблення SCADA-інтерфейсу доцільно виходити з того, що оператор повинен отримувати не надлишковий набір розрізнених значень, а цілісну й структуровану картину технологічного процесу.

Основу операторського інтерфейсу доцільно сформувати у вигляді головної мнемосхеми технологічного процесу. Саме ця сторінка повинна бути центральним екраном SCADA-системи, який відкривається після запуску операторської станції і надає узагальнене.

У Додатку Г наведено – Головна мнемосхема SCADA-інтерфейсу оператора.

Доцільно, щоб на головному екрані одночасно відображалися не лише стани обладнання, а й основні технологічні параметри. Для розроблюваної системи до таких параметрів належать задані та фактичні значення дозування компонентів [46], [58].

Крім головної мнемосхеми, у структурі SCADA-інтерфейсу необхідно передбачити екрани налаштувань і параметризації. Вони мають бути призначені для введення та коригування рецептурних уставок, встановлення часу змішування, допустимих технологічних меж.

Окремим типом екранів повинні бути сторінки детального моніторингу окремих вузлів. Для лінії дозування та змішування доцільно передбачити принаймні екран дозування.

Важливим елементом SCADA-інтерфейсу є підсистема аварійних повідомлень і попереджень. Для досліджуваної системи вона повинна забезпечувати не лише текстове відображення факту аварії [57], [59].

Не менш важливим є відображення режимів роботи системи. Оператор повинен чітко бачити, чи перебуває система в автоматичному, ручному, налагоджувальному або аварійному режимі.

У межах проєктування інтерфейсу важливо передбачити зручні засоби навігації між екранами. Оператор не повинен витрачати зайвий час на пошук потрібної сторінки, особливо в умовах виникнення тривоги або потреби швидкого переходу до.

Для зручності експлуатації інтерфейс також повинен містити інформаційні підказки та елементи підтвердження дій. Це особливо важливо для команд, які безпосередньо впливають на технологічний цикл: запуск нової партії, переведення системи в ручний режим.

Ще однією важливою складовою SCADA-інтерфейсу є відображення історичних даних та трендів. Хоча докладна організація архівування буде розглянута в наступному підрозділі, вже на рівні інтерфейсу необхідно передбачити сторінки перегляду [58], [60].

Узагальнюючи вимоги до розроблюваного SCADA-інтерфейсу, можна зазначити, що він повинен поєднувати наочність, функціональність, інформаційну структурованість і безпечність операторської взаємодії [46], [57], [58].

Таблиця 3.1 – Основні екрани SCADA-інтерфейсу та їх функціональне призначення.

№	Екран SCADA-інтерфейсу	Функціональне призначення
1	Головна мнемосхема	Узагальнене відображення всієї лінії дозування та змішування, станів обладнання і активної стадії процесу
2	Екран дозування	Контроль уставок і фактичних значень дозування компонентів
3	Екран змішування	Відображення режиму роботи мішалки, часу змішування та стану змішувального вузла
4	Екран ручного керування	Локальне керування окремими механізмами в сервісному режимі
5	Екран налаштувань	Введення рецептурних параметрів, часових уставок і службових налаштувань
6	Екран повідомлень і тривоги	Відображення попереджень, аварій і станів блокування
7	Екран архівів і трендів	Перегляд історичних даних технологічних параметрів у часі
8	Екран журналу подій	Аналіз запусків, завершень циклів, операторських дій та аварійних подій

3.2 Організація архівування технологічних параметрів

Однією з ключових вимог до сучасної автоматизованої системи керування є не лише забезпечення поточного виконання технологічного циклу, а й накопичення історичної інформації про перебіг процесу [23], [24], [58].

Для розроблюваної системи доцільно організувати архівування за двома взаємопов'язаними напрямками: збереження технологічних параметрів у вигляді часових рядів та ведення журналу подій у вигляді структурованого списку дискретних повідомлень [23], [24], [57].

До складу архівованих технологічних параметрів у межах даної системи доцільно включити насамперед ті величини, які безпосередньо характеризують точність дозування, стабільність змішування та стан основного обладнання [23], [46], [60].

Під час організації архівування важливо правильно визначити періодичність запису технологічних величин. Надмірно часте збереження всіх

параметрів призводить до необґрунтованого збільшення обсягу архіву, тоді як занадто рідке [23], [24].

Важливою складовою є логіка збереження та подальшого представлення архівної інформації. У межах SCADA-системи історичні дані повинні бути організовані таким чином, щоб оператор або інженер міг швидко перейти від поточного стану [23], [46], [58].

У Додатку Г наведено – Організація архівування технологічних параметрів і журналу подій у SCADA-системі]

У Додатку І наведено – Перелік архівованих параметрів і подій автоматизованої системи керування.

Поряд із архівом параметрів у системі необхідно реалізувати журнал подій, який фіксує дискретні стани та дії, що мають значення для експлуатації та аналізу роботи лінії [24], [57], [59].

Для підвищення інформативності доцільно розділяти записи журналу подій на кілька функціональних груп. Перша група — це технологічні події, які відображають перебіг нормального циклу, наприклад початок дозування певного компонента [24], [57].

Окремої уваги потребує зв'язок між архівом параметрів і журналом подій. Ефективність підсистеми історичних даних значно зростає, якщо оператор або інженер може одночасно бачити тренд зміни параметра й часові [23], [24], [60].

Організація архівування в розроблюваній системі повинна також враховувати експлуатаційні завдання. З одного боку, архівні дані та журнал подій потрібні оператору для поточного моніторингу [23], [24], [58].

Узагальнюючи викладене, можна зробити висновок, що організація архівування технологічних параметрів і журналу подій у системі керування лінією дозування та змішування компонентів повинна спиратися на [23], [24].

3.3 Реалізація обміну даними між ПЛК і SCADA

Надійний і логічно впорядкований обмін даними між програмованим логічним контролером і SCADA-рівнем є однією з базових умов коректного функціонування всієї автоматизованої системи керування [31], [46], [48], [58].

Для розроблюваної системи доцільно прийняти, що основний обмін між ПЛК SIMATIC S7-1200 G2 та SCADA-рівнем WinCC Runtime Professional реалізується через промислову мережу Industrial Ethernet / PROFINET [31], [39].

Реалізацію обміну даними доцільно будувати на основі структурованого набору тегів, який відображає внутрішню логіку роботи системи [46], [57], [59].

Такий підхід до організації тегів є важливим не лише з точки зору візуалізації, а й для забезпечення однозначності інформаційного обміну.

Важливим питанням є період оновлення даних між ПЛК і SCADA. Не всі змінні вимагають однакової частоти опитування й відображення [46], [58], [60].

Окремого розгляду потребує передавання команд від SCADA до ПЛК. У правильній архітектурі верхній рівень не повинен безпосередньо керувати логікою виконавчих механізмів у обхід контролера [57], [58].

Не менш важливим є контроль цілісності та наявності зв'язку між контролером і верхнім рівнем. Для системи дозування та змішування втрата зв'язку зі SCADA не повинна призводити до негайної зупинки технологічного циклу [31], [46], [48].

У разі втрати комунікації між ПЛК і SCADA алгоритм системи повинен поводитися передбачувано. Якщо втрата зв'язку сталася під час активного автоматичного циклу, контролер має продовжити виконання вже запущеної послідовності за умови [46], [48], [58].

У практичній реалізації важливу роль відіграє також узгодження тегів обміну зі структурою архівування і журналювання. Якщо SCADA отримує від ПЛК вже логічно згруповані змінні, значно спрощується побудова історичних трендів, журналів подій [23], [24], [57].

У Додатку Д наведена – Схема обміну даними між ПЛК і SCADA в автоматизованій системі керування.

З технічної точки зору доцільно, щоб передавання даних здійснювалося на основі статичної та заздалегідь визначеної інформаційної моделі, а не через випадковий набір окремих змінних, доданих у процесі налагодження.

Отже, реалізація обміну даними між ПЛК і SCADA в автоматизованій системі керування лінією дозування та змішування компонентів повинна будуватися на принципах структурованої інформаційної моделі.

3.4 Моделювання, налагодження та тестування роботи системи

Після розроблення функціональної структури системи, вибору технічних засобів, формування алгоритму роботи лінії та побудови інформаційної взаємодії між ПЛК і SCADA наступним необхідним етапом є перевірка працездатності запропонованого рішення [42], [46], [58].

У межах даної роботи доцільно застосувати поетапний підхід до перевірки системи, який включає логічне моделювання технологічного циклу, локальне налагодження програмних блоків.

Початковим етапом є моделювання технологічного циклу, яке має на меті перевірку внутрішньої послідовності алгоритму без необхідності повномасштабного підключення всього реального обладнання.

З огляду на те, що алгоритм системи побудований як послідовність станів, важливим об'єктом моделювання є правильність логіки переходів між етапами.

Після перевірки загальної логіки доцільно перейти до налагодження окремих програмних блоків ПЛК. На цьому етапі увага зосереджується вже не на загальній послідовності циклу, а на правильності роботи конкретних модулів: блоків запуску [42], [55], [57].

У процесі налагодження необхідно також перевірити адекватність інформаційної моделі, що передається з ПЛК на верхній рівень [46], [57], [58].

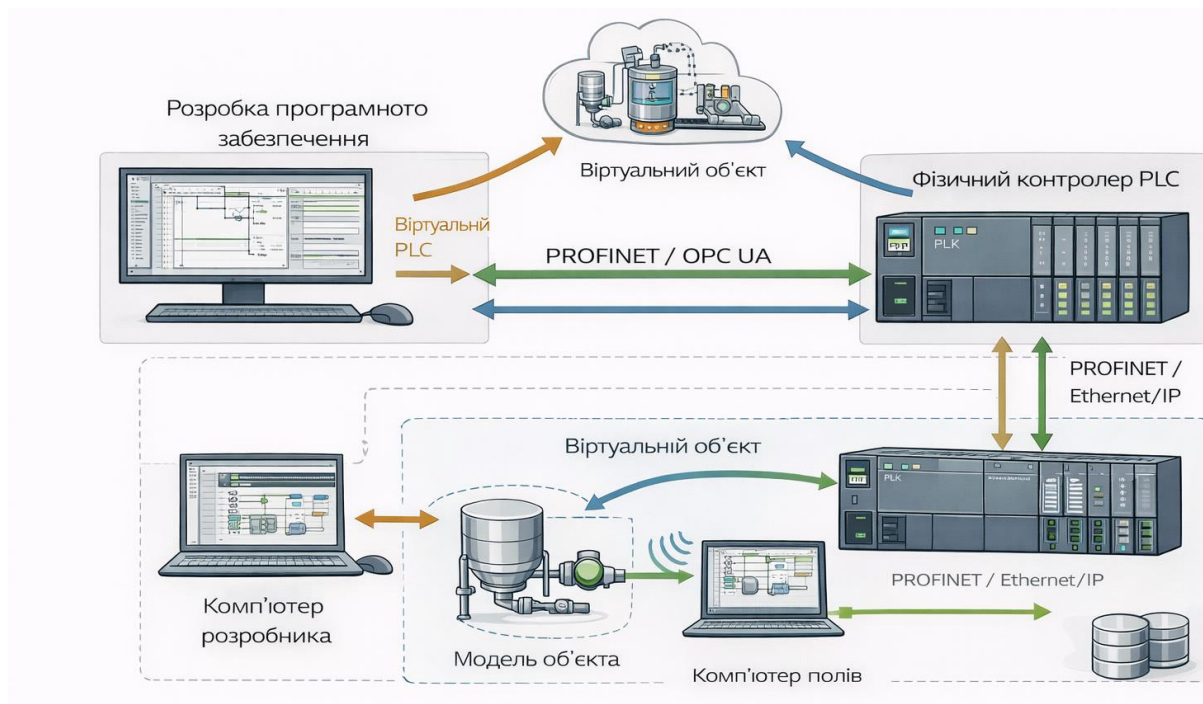


Рисунок 3.2 – Загальна схема моделювання, налагодження та тестування автоматизованої системи керування

У Додатку І наведено – Сценарії моделювання та тестування роботи автоматизованої системи.

Після завершення локального налагодження доцільно виконати комплексне тестування штатних режимів роботи. У цьому випадку система перевіряється як єдине ціле, а тестові сценарії охоплюють повний технологічний цикл від моменту запуску до [46], [57], [58].

Не менш важливим є тестування нештатних та аварійних ситуацій, оскільки саме вони найкраще демонструють реальну надійність алгоритму та якість проєктних рішень [57], [59].

Окремим напрямом перевірки має бути тестування ручного та налагоджувального режимів. У цих режимах необхідно переконатися, що оператор може виконувати дозволені окремі дії, наприклад запускати мішалку.

Суттєву роль у перевірці системи відіграє аналіз часових характеристик роботи алгоритму. Для batch-процесу важливим є не лише правильний порядок дій, а й витримка потрібних інтервалів часу [54], [56].

Доцільно також перевірити відновлення роботи системи після збоїв. У реальних умовах експлуатації можливі такі ситуації, як зникнення живлення, перезапуск ПЛК [31], [46], [48].

Результати моделювання, налагодження та тестування доцільно оцінювати не лише з позицій «працює/не працює», а з точки зору відповідності системи поставленим вимогам.

Отже, моделювання, налагодження та тестування розробленої автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів повинні здійснюватися поетапно.

3.5 Оцінювання ефективності впровадження розробленої системи

Оцінювання ефективності впровадження автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів є завершальним етапом спеціальної частини.

Першим і найбільш очевидним напрямом ефективності є підвищення точності дозування компонентів. У технологічних процесах змішування саме правильне співвідношення окремих складових визначає якість готового продукту [35], [40], [42].

Другим важливим аспектом є стабілізація якості процесу змішування. У системах такого типу сам факт подавання всіх компонентів ще не гарантує однорідності суміші.

Суттєвою перевагою розробленої системи є зменшення впливу людського фактора. У традиційних або частково автоматизованих схемах оператор часто виконує не лише функції спостереження.

Наступним напрямом оцінювання є підвищення інформативності та прозорості керування технологічним процесом. У розробленій системі оператор отримує доступ до цілісного SCADA-інтерфейсу, який відображає головну мнемосхему [46], [57], [59].

Важливою складовою очікуваного ефекту є можливість накопичення та використання архівних даних. На відміну від систем, де після завершення циклу

фактична інформація про перебіг процесу втрачається або залишається доступною лише у наведених джерелах [23], [24], [58], [60].

Ще одним критерієм ефективності є підвищення оперативності реагування на аварійні та передаварійні ситуації. У розробленій системі попередження й аварії обробляються на рівні ПЛК, а результати цієї обробки передаються на SCADA-рівень у вигляді.

Доцільно також розглянути ефективність з погляду технічного супроводження та подальшої модернізації системи. Оскільки програмне забезпечення контролера розроблено за модульним принципом, а інформаційний обмін між ПЛК і SCADA побудовано на основі [31], [46], [55], [57].

У межах даної роботи оцінювання ефективності доцільно також подати у формі порівняння стану процесу до і після автоматизації на якісному рівні.

У Додатку Й наведено – Якісне порівняння процесу керування до і після впровадження автоматизованої системи.

Окремо слід підкреслити, що запропонована система підвищує керованість процесу як цілісного об'єкта, а не лише окремих його елементів.

Отже, очікуваний ефект від упровадження розробленої автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів полягає у підвищенні точності дозування, стабільності змішування [23], [24], [46], [58].

3.6 Висновок до третього розділу

У третьому розділі було розкрито спеціальну програмно-інформаційну складову автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів [46], [57], [58].

У межах розділу було обґрунтовано підходи до розроблення SCADA-інтерфейсу оператора, який повинен забезпечувати наочне відображення головної мнемосхеми процесу, поточних технологічних параметрів.

Суттєвим результатом розділу стало формування підходу до організації архівування технологічних параметрів і журналу подій [23], [24], [57], [60].

У розділі також було розглянуто принципи реалізації обміну даними між ПЛК і SCADA. Визначено, що інформаційна взаємодія повинна ґрунтуватися на структурованій моделі тегів, розмежуванні технологічних, статусних [31], [46], [48], [58].

Окрему увагу було приділено моделюванню, налагодженню та тестуванню розробленої системи. Показано, що перевірка працездатності повинна здійснюватися поетапно — від логічного моделювання технологічного циклу й перевірки окремих.

На завершення розділу було оцінено очікувану ефективність упровадження запропонованої системи. Зроблено висновок, що розроблене рішення здатне підвищити точність дозування, стабілізувати процес змішування [23], [24], [46], [58], [60].

4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА В НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

4.1 Питання щодо охорони праці

Під час проєктування та подальшої експлуатації автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів питання охорони праці мають розглядатися як невід’ємна складова технічного рішення. Загальні вимоги до створення безпечних умов праці в Україні визначаються Законом України «Про охорону праці», який покладає на роботодавця обов’язок забезпечити належні, безпечні та здорові умови праці, організувати навчання з охорони праці, інструктажі, контроль технічного стану обладнання та застосування засобів індивідуального захисту. Для машин і механізмів також застосовуються вимоги технічного регламенту безпеки машин, який встановлює вимоги щодо захисту життя і здоров’я людей під час проєктування, виготовлення та експлуатації машинного обладнання.

У контексті даної бакалаврської роботи основними небезпечними та шкідливими виробничими факторами є рухомі частини дозувальних механізмів, шнеків, клапанів, мішалки та вивантажувальних пристроїв, наявність електрообладнання, ризик короткого замикання, перегріву приводів, а також можливий вплив пилу, аерозолів або випарів компонентів залежно від конкретної технології. Додаткову небезпеку можуть становити гарячі поверхні змішувального вузла, якщо в технологічному процесі передбачено підігрів, а також герметизовані ємності чи вузли, що працюють під надлишковим тиском. Для обладнання, що працює під тиском, чинні правила прямо вимагають допуску до обслуговування лише підготовленого персоналу, наявності виробничих інструкцій і дотримання встановленого порядку безпечної експлуатації.

З огляду на це для лінії дозування та змішування доцільно передбачити комплекс інженерних та організаційних заходів безпеки. Рухомі вузли повинні мати огороження або конструктивні елементи, що унеможливають випадковий доступ до небезпечної зони під час роботи обладнання. Пуск

виконавчих механізмів має здійснюватися лише за наявності логічних міжблокувань, а система аварійного зупинення повинна забезпечувати швидке переведення обладнання в безпечний стан. Електроживлення контролера, частотного перетворювача, датчиків і виконавчих механізмів слід організовувати з урахуванням вимог електробезпеки, заземлення, захисту від перевантаження та короткого замикання. Під час технічного обслуговування необхідно застосовувати процедури знеструмлення та унеможливлення випадкового повторного пуску обладнання. Такі рішення безпосередньо відповідають загальним вимогам законодавства про охорону праці та вимогам безпеки машин.

Особливу увагу слід приділити організації робочого місця оператора SCADA-системи. Оператор повинен мати можливість спостерігати за станом лінії, не перебуваючи в безпосередній близькості до небезпечних рухомих елементів. У межах цієї роботи доцільним є винесення основних функцій керування на операторську станцію, а ручний режим використання механізмів — лише для налагодження або технічного обслуговування і лише з активними блокуваннями. На робочому місці мають бути доступні інструкції з охорони праці, схеми дій у разі аварійної зупинки, а також засоби зв'язку для повідомлення відповідальних осіб про нештатну ситуацію. Необхідними є також сигнальне маркування небезпечних зон, позначення органів керування та аварійних кнопок.

У разі використання сипких або хімічно активних компонентів додатково слід передбачити вентиляцію, локальне відведення пилу чи випарів, періодичне очищення робочих зон та застосування відповідних засобів індивідуального захисту. Якщо технологія включає нагрівання, слід мінімізувати контакт персоналу з гарячими поверхнями, а також контролювати температурний режим, щоб не допустити опіків або пожежонебезпечних ситуацій. Отже, у межах цієї бакалаврської роботи питання охорони праці пов'язані не лише з безпечним вибором обладнання, а й із правильною побудовою алгоритмів, інтерфейсів керування, міжблокувань, систем сигналізації та організаційних процедур обслуговування.

4.2 Питання щодо безпеки в надзвичайних ситуаціях

Для автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів питання безпеки в надзвичайних ситуаціях мають розглядатися з урахуванням як загальнопромислових ризиків, так і актуальних для України воєнних загроз. Нормативною основою у цій сфері є Кодекс цивільного захисту України, який визначає загальні засади організації цивільного захисту, оповіщення, евакуації, укриття населення та реагування на надзвичайні ситуації. Порядок проведення евакуації у разі загрози виникнення або виникнення надзвичайних ситуацій також визначено окремою постановою Кабінету Міністрів України.

У контексті даної роботи до можливих надзвичайних ситуацій слід віднести пожежу в шафі керування або кабельних трасах, коротке замикання електрообладнання, заклинювання мішалки чи дозувального механізму, розгерметизацію трубопроводів або ємностей, відмову датчиків, втрату зв'язку між ПЛК і SCADA, а також аварійне припинення електроживлення. У разі виникнення таких подій система повинна переходити в безпечний стан: припиняти подавання компонентів, зупиняти мішалку, блокувати повторний запуск без підтвердження оператора та формувати аварійне повідомлення. Саме тому у проєктованій системі передбачені аварійні стани, міжблокування, контроль тривалості операцій та журналювання подій, що дозволяє не лише локалізувати небезпечний режим, а й зберегти інформацію для подальшого аналізу. Це відповідає загальній логіці зниження техногенного ризику за рахунок автоматизованого контролю.

Окрему увагу необхідно приділити діям персоналу у разі отримання сигналу оповіщення «Повітряна тривога». Навчально-методичні матеріали системи ДСНС для підприємств рекомендують мати затверджений порядок дій працівників після отримання такого сигналу, який має передбачати оперативне оповіщення персоналу, припинення робіт, приведення обладнання у безпечний стан у межах технологічної допустимості та організоване переміщення працівників до укриття. Рекомендації ДСНС також наголошують, що після

оголошення повітряної тривоги слід негайно прямувати до найближчого укриття, а маршрути руху і місця укриття мають бути відомі працівникам завчасно. Для лінії дозування та змішування це означає, що в інструкції дій у надзвичайних ситуаціях доцільно передбачити окремий режим безпечного зупину за сигналом повітряної тривоги. Такий режим повинен забезпечувати припинення дозування, вимкнення або переведення у безпечний стан приводу мішалки, фіксацію поточного технологічного стану в контролері, а також блокування самовільного відновлення циклу після зникнення живлення чи мережевого зв'язку. Після відбою тривоги запуск системи має виконуватися лише після перевірки справності обладнання, стану сировини, відсутності аварійних повідомлень і підтвердження оператором готовності до продовження роботи. Такий підхід дозволяє зменшити ризик пошкодження обладнання, втрати продукту та виникнення вторинної аварійної ситуації. У межах заходів цивільного захисту на підприємстві мають бути визначені маршрути евакуації, місця збору, порядок укриття працівників, відповідальні особи за оповіщення та зупинення технологічного обладнання, а також порядок взаємодії з аварійними службами. Працівники повинні проходити інструктаж і періодичні тренування з дій у надзвичайних ситуаціях, зокрема під час пожежі, аварії на виробництві, втрати енергоживлення та сигналів воєнного характеру. Для об'єктів із потенційно небезпечними технологічними процесами важливо також забезпечити резервне збереження параметрів, журналів подій і конфігурації системи керування, щоб після усунення загрози можна було безпечно відновити роботу. Отже, у даній бакалаврській роботі розділ безпеки в надзвичайних ситуаціях безпосередньо пов'язаний із функціональною логікою автоматизованої системи керування. Реалізація аварійного зупину, блокувань, сигналізації, журналювання подій, безпечного відновлення роботи після збою та організаційних дій персоналу у разі пожежі, аварії або повітряної тривоги підвищує загальну стійкість технологічної ділянки. Це дозволяє розглядати розроблену систему не лише як засіб автоматизації виробничого процесу, а і як елемент зниження техногенних ризиків та підвищення безпеки праці в умовах сучасних надзвичайних викликів.

ВИСНОВКИ

У бакалаврській кваліфікаційній роботі вирішено актуальне науково-прикладне завдання, що полягає у розробленні автоматизованої системи керування лінією дозування та змішування компонентів з архівуванням параметрів і SCADA-візуалізацією. Актуальність теми зумовлена зростанням вимог до точності дозування, стабільності технологічного циклу, зменшення впливу людського фактора та забезпечення простежуваності перебігу виробничого процесу. Проведене дослідження підтвердило, що для систем такого типу найбільш доцільним є використання багаторівневої архітектури, у межах якої функції вимірювання, локального керування, диспетчеризації та накопичення історичних даних інтегруються в єдине інформаційно-керуюче середовище [17], [18], [27], [28].

У процесі виконання роботи проаналізовано технологічний процес дозування та змішування компонентів як об'єкт автоматизації, визначено його основні стадії, контрольовані, керуючі та сигналізовані параметри, а також основні збурювальні фактори, що впливають на точність і повторюваність технологічного циклу. Встановлено, що якість роботи лінії безпосередньо залежить від точності дозування окремих компонентів, правильності переходів між етапами batch-процесу, стабільності режиму змішування та своєчасного виявлення нештатних ситуацій. Це дало змогу сформулювати обґрунтовані вимоги до майбутньої автоматизованої системи керування, зокрема щодо реалізації автоматичного режиму, допоміжних режимів, SCADA-візуалізації, архівування параметрів і журналювання подій [17], [18], [23], [24].

На основі аналітичного дослідження розроблено функціональну структуру автоматизованої системи керування, яка включає технологічний, польовий, контролерний та операторсько-інформаційний рівні. Така структура забезпечує логічний розподіл функцій між датчиками й виконавчими механізмами, програмованим логічним контролером, мережевою підсистемою та SCADA-рівнем. Встановлено, що саме багаторівневий принцип побудови системи є найбільш доцільним для об'єктів із послідовним багатостадійним

циклом, оскільки він підвищує прозорість архітектури, спрощує реалізацію алгоритмів і створює основу для подальшого розвитку системи [27], [28], [30].

У роботі обґрунтовано вибір основних технічних засобів автоматизації. Як центральний елемент системи запропоновано використати ПЛК класу SIMATIC S7-1200 G2, який забезпечує підтримку цифрових та аналогових сигналів, мережеву взаємодію та можливість модульного розширення. Для периферійного рівня обґрунтовано застосування локальних або децентралізованих модулів введення-виведення, для реалізації точного дозування — вагового принципу вимірювання, для контролю стану обладнання — рівнемірних і дискретних датчиків, а для керування приводом змішувача — частотного перетворювача. Такий склад обладнання є достатнім для реалізації поставлених функціональних вимог і відповідає сучасним підходам до побудови машинних та технологічних систем автоматизації [31]–[39], [45], [47], [49]–[51].

Розроблено алгоритм роботи лінії дозування та змішування компонентів, побудований як послідовність логічно пов'язаних станів: готовності, підготовки до запуску, дозування, змішування, вивантаження, ручного керування та аварійної обробки. Запропонована алгоритмічна структура забезпечує однозначність переходів між стадіями, можливість реалізації міжблокувань, контроль часу виконання окремих операцій і коректну реакцію системи на попереджувальні та аварійні події. Такий підхід є методично виправданим для batch-процесів і створює основу для подальшої програмної реалізації в середовищі ПЛК [40]–[44].

На основі сформованого алгоритму спроектовано структуру програмного забезпечення контролера за модульним принципом. Запропоновано поділ логіки на головну програму, функціональні блоки окремих стадій процесу, модулі аварійної обробки, ручного режиму та обміну даними зі SCADA. Визначено групи змінних, службових параметрів, таймерів і внутрішніх ознак, необхідних для реалізації стійкої та масштабованої логіки керування. Показано, що модульна організація програми підвищує читабельність, спрощує налагодження та полегшує подальшу модернізацію системи [52]–[57].

У спеціальній частині роботи розроблено підхід до побудови SCADA-інтерфейсу оператора, який включає головну мнемосхему технологічного процесу, сторінки параметризації, екрани детального моніторингу вузлів, індикацію режимів роботи, підсистему попереджень і аварій, а також доступ до архівів і журналів подій. Обґрунтовано, що правильно організований SCADA-рівень є не лише засобом візуалізації, а й важливим елементом підвищення інформативності, безпечності й зручності експлуатації системи [46], [57], [58], [59].

Окремо розроблено підхід до організації архівування технологічних параметрів і журналу подій. Визначено склад основних змінних, що підлягають збереженню, обґрунтовано комбінований підхід до періодичного та подієвого запису, а також показано значення історичних даних для аналізу перебігу циклів, діагностики відхилень і вдосконалення алгоритмів керування. Встановлено, що поєднання архіву параметрів і журналу подій дозволяє суттєво підвищити простежуваність процесу та якість технічного супроводження системи [23], [24], [57], [60].

У роботі також сформовано принципи обміну даними між ПЛК і SCADA, які ґрунтуються на структурованій моделі тегів, розмежуванні технологічних, статусних, командних та аварійних змінних, а також на збереженні ключової керуючої логіки на рівні контролера. Такий підхід забезпечує надійну інформаційну взаємодію між рівнями системи, зберігає автономність ПЛК у критичних режимах та спрощує побудову візуалізації, архівів і журналів подій [31], [46], [48], [58].

Для підтвердження працездатності запропонованого рішення визначено підходи до моделювання, налагодження та тестування системи. Показано доцільність поетапної перевірки: від логічного моделювання технологічного циклу та налагодження окремих програмних блоків до комплексного тестування штатних, ручних, аварійних і відновлювальних режимів. Такий підхід дає змогу виявити суперечності алгоритму, уточнити часові параметри, перевірити коректність міжблокувань і оцінити узгодженість між ПЛК, SCADA та підсистемою архівування [42], [46], [54], [57].

Узагальнення результатів роботи дає підстави стверджувати, що запропонована автоматизована система керування є технічно обґрунтованим і практично доцільним рішенням для лінії дозування та змішування компонентів. Очікуваний ефект від її впровадження полягає у підвищенні точності дозування, стабілізації режиму змішування, зменшенні впливу людського фактора, покращенні операторського контролю, скороченні часу реагування на відхилення та створенні інформаційної бази для подальшого аналізу роботи технологічного процесу. Отже, мету бакалаврської кваліфікаційної роботи досягнуто, а поставлені завдання виконано в повному обсязі.

Коротка перевірка етапу: загальні висновки узагальнюють зміст усієї роботи, не дублюють дослівно висновки окремих розділів, зберігають посилання у квадратних дужках і логічно підводять до формування списку використаних джерел.

ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ

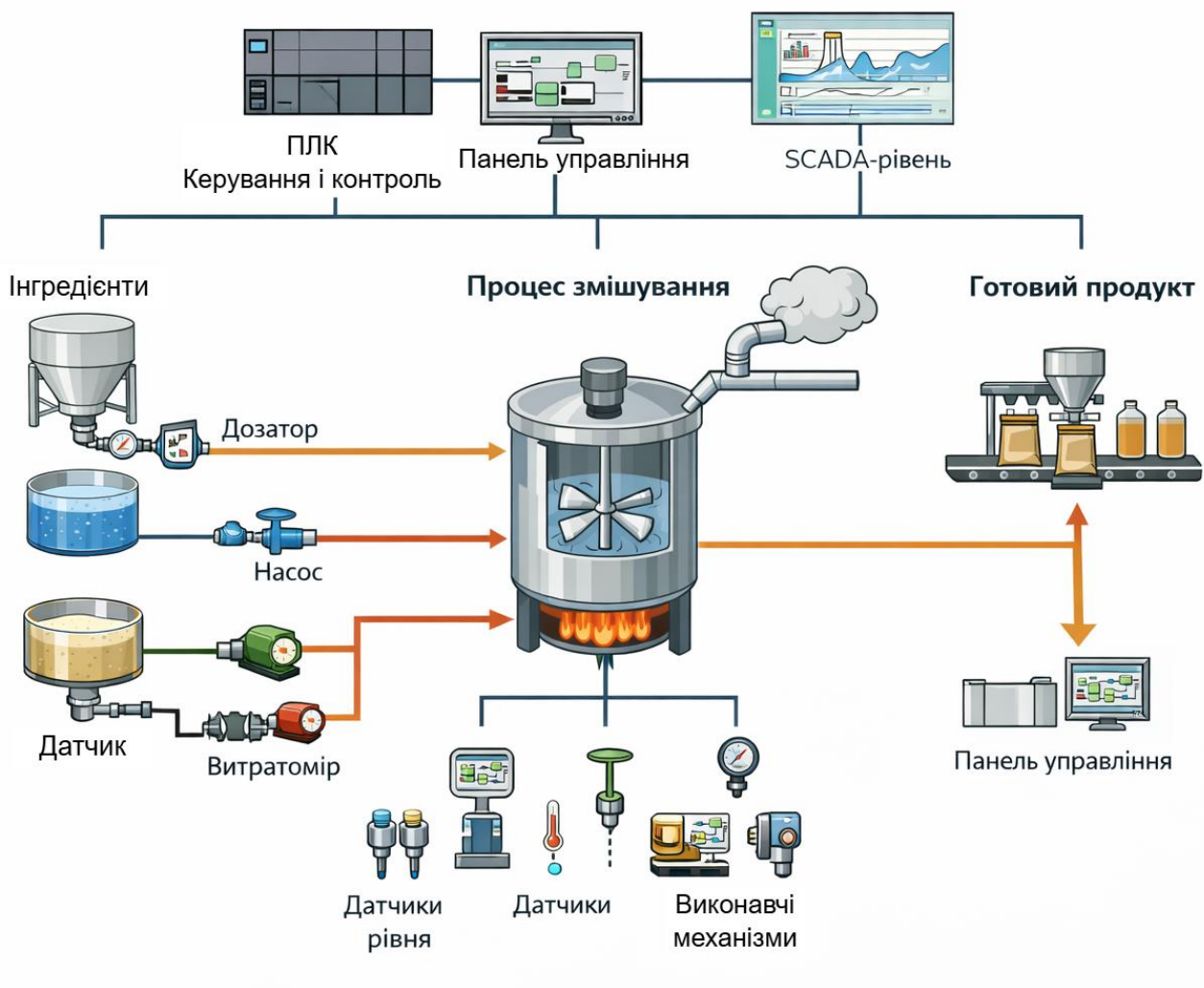
- 1 International Society of Automation. (n.d.). ISA-88 series of standards: Batch process control.
- 2 International Society of Automation. (n.d.). ISA88 scope.
- 3 International Society of Automation. (n.d.). Batch control using the ISA-88 standards (IC40).
- 4 International Society of Automation. (n.d.). ISA-95 standard: Enterprise-control system integration.
- 5 International Society of Automation. (n.d.). ISA95 committee information.
- 6 International Society of Automation. (2025). Update to ISA-95 standard addresses integration of enterprise and control systems.
- 7 International Society of Automation. (2020). ANSI/ISA-95.00.08-2020: Enterprise-control system integration—Part 8: Information exchange profiles.
- 8 OPC Foundation. (n.d.). OPC Unified Architecture specification.
- 9 Siemens AG. (n.d.). SIMATIC S7-1200 G2.
- 10 Siemens AG. (2025). SIMATIC S7-1200 G2 system manual.
- 11 Siemens AG. (2018). Programming guideline for S7-1200/S7-1500.
- 12 Siemens AG. (n.d.). System overview: SCADA system SIMATIC WinCC Professional.
- 13 Siemens AG. (2024). WinCC/Options for process control V8.1.
- 14 Inductive Automation. (n.d.). Tag Historian.
- 15 Inductive Automation. (2026). Alarm Journal.
- 16 OPC Foundation. (n.d.). OPC UA online reference.
- 17 International Society of Automation. (n.d.). ISA88, Batch Control.
- 18 International Society of Automation. (n.d.). ISA-95 standard: Enterprise-control system integration.
- 19 Siemens AG. (n.d.). SIMATIC S7-1200 G2.
- 20 Schneider Electric. (2024). M221 PLC as both Modbus TCP client and server at the same time.
- 21 WAGO. (n.d.). WAGO I/O System 750/753.

- 22 Siemens AG. (n.d.). SIMATIC WinCC Professional.
- 23 Inductive Automation. (n.d.). Tag Historian.
- 24 Inductive Automation. (2026). Alarm Journal.
- 25 OPC Foundation. (n.d.). OPC Unified Architecture specification.
- 26 ABB. (2025). ABB machinery drives: ACS380 catalog.
- 27 International Society of Automation. (n.d.). ISA-95 standard: Enterprise-control system integration.
- 28 International Society of Automation. (n.d.). ISA-88 series of standards: Batch process control.
- 29 Siemens AG. (2025). SIMATIC S7-1200 G2 system manual.
- 30 Siemens AG. (n.d.). System overview: SCADA system SIMATIC WinCC Professional.
- 31 Siemens AG. (2025). SIMATIC S7-1200 G2 system manual.
- 32 Siemens AG. (n.d.). SIMATIC S7-1200 signal modules and communication modules.
- 33 WAGO. (n.d.). WAGO I/O System 750/753.
- 34 Schneider Electric. (2024). M221 PLC as both Modbus TCP client and server at the same time.
- 35 METTLER TOLEDO. (n.d.). Batching.
- 36 Endress+Hauser. (n.d.). Level measurement.
- 37 ifm electronic. (n.d.). Inductive sensors.
- 38 ABB. (2025). ABB machinery drives: ACS380 catalog.
- 39 Siemens AG. (n.d.). System overview: SCADA system SIMATIC WinCC Professional.
- 40 International Society of Automation. (n.d.). ISA-88 series of standards: Batch process control.
- 41 International Society of Automation. (n.d.). Batch control using the ISA-88 standards (IC40).
- 42 Siemens AG. (2018). Programming guideline for S7-1200/S7-1500.
- 43 Siemens AG. (2024). WinCC/Options for process control V8.1.
- 44 Siemens AG. (n.d.). Process control functions in WinCC.

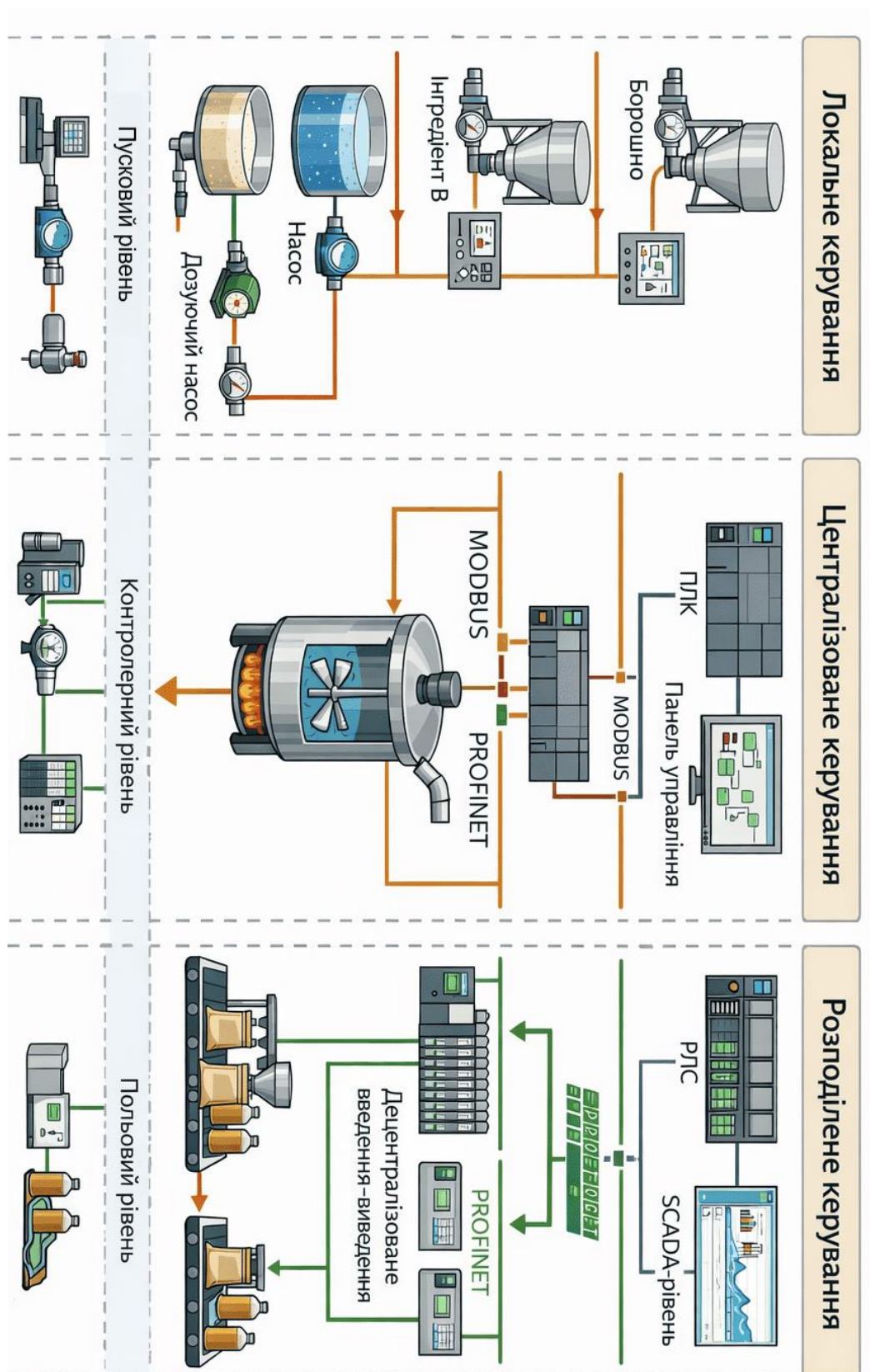
- 45 Siemens AG. (2025). SIMATIC S7-1200 G2 system manual.
- 46 Siemens AG. (n.d.). System overview: SCADA system SIMATIC WinCC Professional.
- 47 WAGO. (n.d.). WAGO I/O System 750/753.
- 48 OPC Foundation. (n.d.). OPC Unified Architecture specification.
- 49 ABB. (2025). ABB machinery drives: ACS380 catalog.
- 50 ifm electronic. (n.d.). Inductive sensors.
- 51 Endress+Hauser. (n.d.). Level measurement.
- 52 International Electrotechnical Commission. (2013). IEC 61131-3: Programmable controllers—Part 3: Programming languages.
- 53 Fernhill Software. (n.d.). Program (IEC 61131-3).
- 54 Fernhill Software. TON: On-delay timer function block (IEC 61131-3).
- 55 Siemens AG. (2018). Programming guideline for S7-1200/S7-1500.
- 56 Fernhill Software. (n.d.). Function block (IEC 61131-3).
- 57 Siemens AG. (2024). WinCC/Options for process control V8.1.
- 58 Siemens AG. (n.d.). System overview: SCADA system SIMATIC WinCC Professional.
- 59 GE Vernova. (n.d.). Proficy Historian software.
- 60 Inductive Automation. (2026). Alarm Journal.

ДОДАТКИ

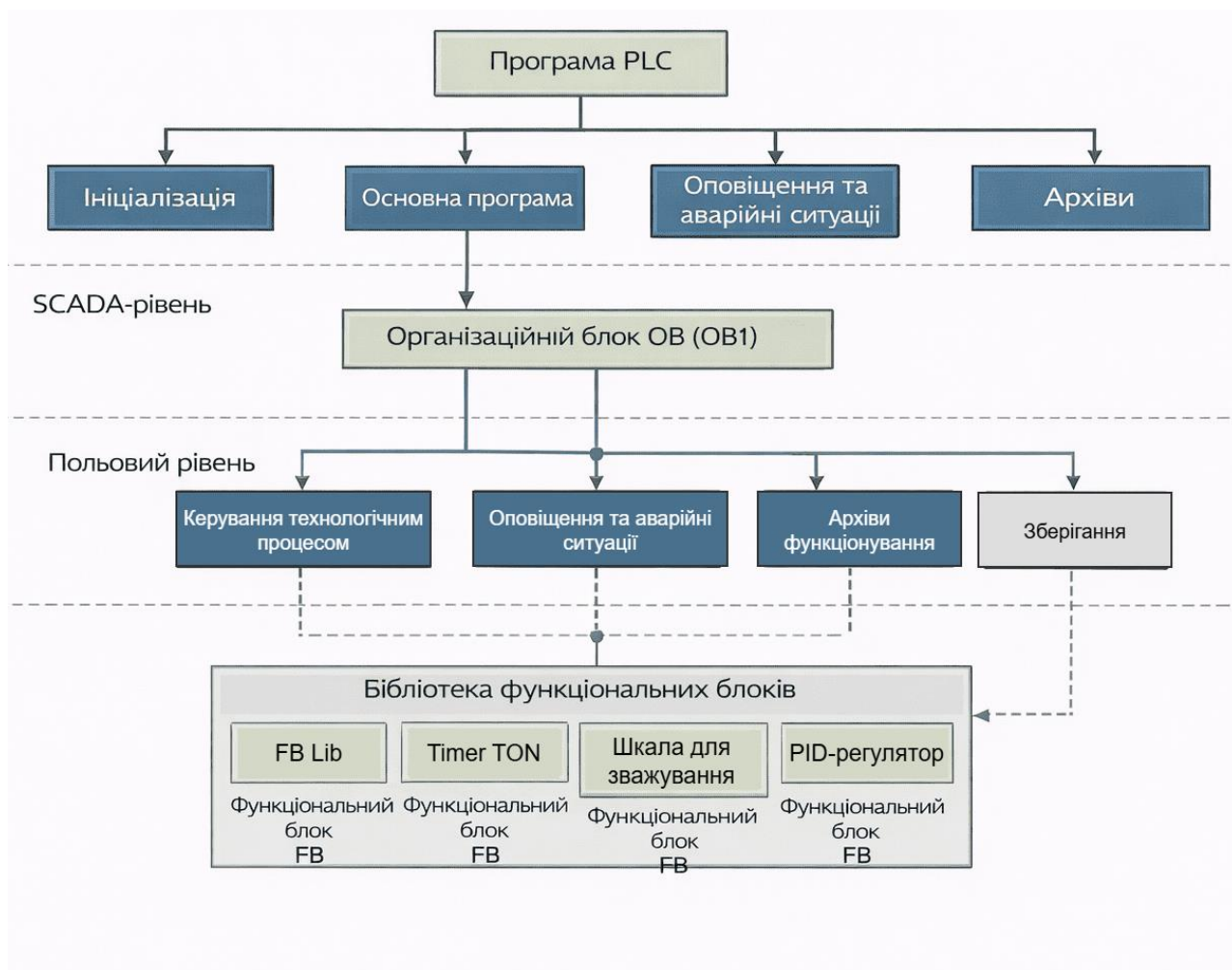
Структура об'єкта автоматизації лінії дозування та змішування компонентів



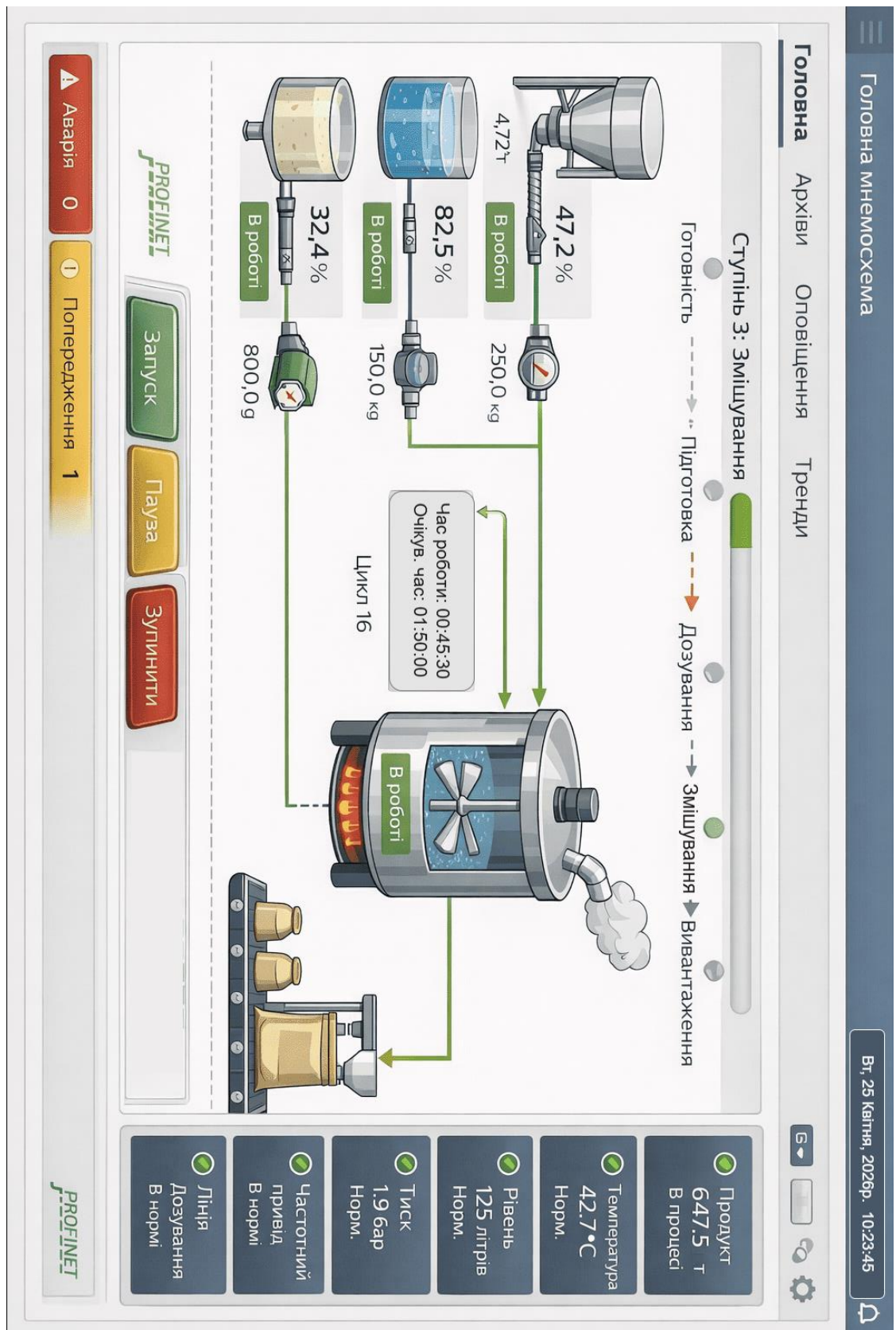
Типові архітектури систем автоматизації ліній дозування і змішування



Структура програмного забезпечення контролера



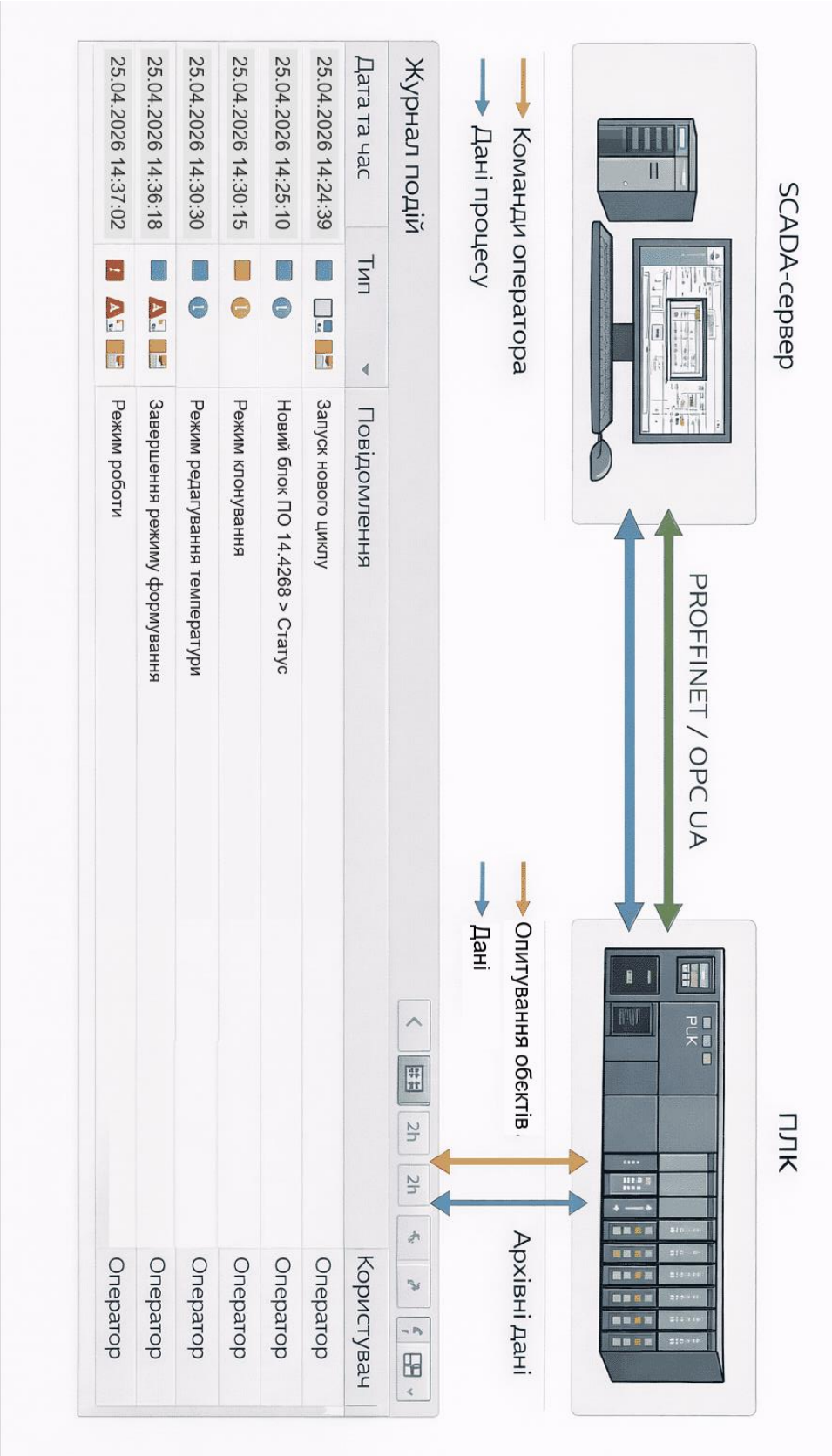
Головна мнемосхема SCADA-інтерфейсу оператора



Організація архівування технологічних параметрів і журналу подій у SCADA-системі



Схема обміну даними між ПЛК і SCADA в автоматизованій системі керування



**Узагальнена схема технологічного процесу дозування та змішування
компонентів**

№	Технологічний параметр	Одиниця вимірювання	Етап процесу	Призначення контролю
1	Маса (або об'єм) компонента	кг, л	Дозування	Забезпечення точності рецептури
2	Витрата або швидкість подавання компонента	кг/хв, л/хв	Дозування	Стабілізація процесу подавання
3	Рівень компонентів у бункерах/ємностях	%, мм, л	Підготовка, дозування	Контроль наявності сировини та запобігання порожньому ходу
4	Час дозування компонента	с, хв	Дозування	Контроль тривалості операції та виявлення відхилень
5	Стан виконавчих механізмів	логічний сигнал	Усі етапи	Підтвердження роботи клапанів, насосів, шнеків, приводів
6	Час змішування	с, хв	Змішування	Забезпечення однорідності суміші
7	Частота обертання мішалки	об/хв, Гц	Змішування	Підтримання заданого режиму змішування
8	Рівень суміші у змішувачі	%, мм, л	Змішування, вивантаження	Контроль заповнення та завершення циклу
9	Температура суміші (за потреби технології)	°С	Змішування	Контроль технологічного режиму
10	Час повного технологічного циклу	с, хв	Увесь процес	Оцінювання продуктивності та стабільності роботи лінії

**Порівняльна характеристика існуючих підходів до автоматизації ліній
дозування і змішування**

№	Підхід до автоматизації	Характерні ознаки	Переваги	Недоліки
1	Локальне релейно-контакторне керування	Керування окремими механізмами без централізованої логіки	Простота реалізації, невисока вартість	Обмежена гнучкість, складність модернізації, відсутність архівування
2	Автономні дозувальні пристрої	Локальне виконання окремих операцій дозування	Підвищення точності окремих вузлів	Слабка інтеграція із загальною системою керування
3	ПЛК + локальна НМІ	Централізовані й алгоритм керування, операторська панель	Гнучкість, зручність налаштування, візуальний контроль	Обмежені можливості архівування та аналітики
4	ПЛК + SCADA	Інтеграція керування, диспетчеризації, сигналізації	Повноцінний моніторинг, журнал подій, зручне керування	Вища складність і вартість впровадження
5	ПЛК + SCADA + Historian	Додаткове архівування технологічних параметрів і подій	Простежуваність процесу, аналіз історичних даних, діагностика	Потреба в розвиненій інформаційній інфраструктурі
6	Розподілена система з децентралізованим I/O	Віддалені вузли введення-виведення, мережевий обмін	Масштабованість, зменшення кабельних трас, гнучкість	Ускладнення мережевої структури та налаштування

Обґрунтування вибору технічних засобів автоматизації

№	Технічний засіб	Обране рішення	Обґрунтування вибору
1	Програмований логічний контролер	Siemens SIMATIC S7-1200 G2	Забезпечує реалізацію алгоритму керування, підтримку мережевого обміну та модульне розширення
2	Модулі введення-виведення	Локальні / децентралізовані модулі I/O	Дають змогу підключати дискретні й аналогові сигнали та гнучко будувати структуру системи
3	Засоби дозування	Ваговий дозувальний вузол	Забезпечує вищу точність дозування компонентів
4	Датчики рівня	Граничні або безперервні рівнеміри	Дозволяють контролювати наявність компонентів і запобігати переповненню
5	Датчики положення	Індуктивні датчики	Забезпечують контроль положення механізмів і станів виконавчих органів
6	Привід змішувача	Частотний перетворювач ABB ACS380	Дозволяє регулювати швидкість обертання мішалки та стабілізувати режим змішування
7	Мережевий обмін	PROFINET / Industrial Ethernet	Забезпечує обмін даними між ПЛК, периферією та SCADA
8	Операторський рівень	SCADA WinCC Runtime Professional	Реалізує візуалізацію, архівування параметрів і журнал подій

Основні стани, умови переходу та дії алгоритму роботи лінії

№	Стан системи	Умова переходу в стан	Основні дії в стані	Умова переходу до наступного стану
1	Готовність	Подано живлення, відсутні аварії	Контроль початкових умов, очікування команди запуску	Команда «Пуск» і підтвердження готовності
2	Підготовка до запуску	Отримано команду запуску	Ініціалізація змінних, завантаження уставок, перевірка наявності компонентів	Усі підготовчі умови виконано
3	Дозування компонента 1	Завершено підготовку	Увімкнення дозатора, контроль досягнення заданої дози	Досягнуто уставку або завершено дозування
4	Дозування компонента 2	Завершено попереднє дозування	Увімкнення другого дозатора, контроль параметра	Досягнуто уставку або завершено дозування
5	Дозування наступних компонентів	Завершено попередній етап дозування	Послідовне подавання компонентів за рецептурою	Усі компоненти дозовано
6	Змішування	Завершено дозування всіх компонентів	Запуск мішалки, відлік часу змішування, контроль приводу	Завершився заданий час змішування
7	Вивантаження	Завершено змішування	Відкриття вивантажувального органа, видалення готової суміші	Підтверджено завершення вивантаження
8	Завершення циклу	Вивантаження завершено	Скидання службових ознак, фіксація завершення партії	Перехід у стан готовності
9	Ручний режим	Команда оператора на ручне керування	Локальне керування окремими механізмами з блокуваннями	Вихід із ручного режиму
10	Аварійний стан	Виявлено аварію або критичне відхилення	Зупинка процесу, блокування запуску, формування повідомлення	Усунення причини та підтвердження оператором

Основні програмні блоки, змінні та їх функціональне призначення

№	Програмний блок / група змінних	Функціональне призначення
1	Головна програма (Main / OB1)	Координація виконання загального циклу роботи системи
2	Блок ініціалізації	Перевірка готовності системи, скидання службових змінних, підготовка до запуску
3	Блок дозування компонентів	Керування подаванням компонентів і контроль досягнення уставок
4	Блок змішування	Запуск мішалки, контроль часу змішування та завершення фази
5	Блок вивантаження	Керування вивантаженням готової суміші та завершенням циклу
6	Блок ручного режиму	Локальне керування механізмами з урахуванням міжблокувань
7	Блок аварійної обробки	Виявлення аварій, формування блокувань і повідомлень
8	Таймери та лічильники	Реалізація часових затримок, контролю тривалості операцій і лічби циклів
9	Вхідні змінні	Зберігання сигналів від датчиків, кнопок та виконавчих механізмів
10	Вихідні змінні	Формування команд керування клапанами, приводами, мішалкою
11	Службові змінні	Зберігання поточного стану алгоритму, ознак переходів і блокувань
12	SCADA-змінні	Передавання на верхній рівень режимів, параметрів, аварій і станів системи

Організація архівування технологічних параметрів і журналу подій у SCADA-системі

№	Архівований параметр / подія	Тип даних	Призначення архівування
1	Задане значення дози компонента	параметр	Контроль відповідності рецептурі
2	Фактичне значення дози компонента	параметр	Аналіз точності дозування
3	Рівень у бункерах та ємностях	параметр	Контроль наявності компонентів
4	Час початку та завершення дозування	подія	Фіксація тривалості етапу
5	Час початку та завершення змішування	подія	Контроль виконання фази змішування
6	Час початку та завершення вивантаження	подія	Аналіз завершення технологічного циклу
7	Стан мішалки, насосів, шнеків, клапанів	параметр / подія	Моніторинг роботи виконавчих механізмів
8	Активний режим роботи системи	параметр	Фіксація автоматичного, ручного або аварійного режиму
9	Номер рецепта або активної програми	параметр	Ідентифікація поточного циклу
10	Попередження та аварійні повідомлення	подія	Діагностика відхилень і нештатних ситуацій
11	Підтвердження аварій оператором	подія	Аналіз дій оператора
12	Запуск і завершення партії	подія	Простежуваність технологічного циклу
13	Зміна уставок і параметрів	подія	Контроль коригування налаштувань
14	Дії оператора в ручному режимі	подія	Аналіз втручання в роботу системи

Сценарії моделювання та тестування роботи автоматизованої системи

№	Сценарій тестування	Мета перевірки	Очікуваний результат
1	Запуск системи в автоматичному режимі	Перевірка готовності до початку циклу	Система коректно переходить у стан підготовки та запуску
2	Дозування компонентів за рецептурою	Перевірка точності й послідовності дозування	Компоненти дозуються у правильній послідовності з досягненням уставок
3	Запуск і виконання змішування	Перевірка роботи мішалки та часових параметрів	Змішування триває заданий час і завершується без помилок
4	Вивантаження готової суміші	Перевірка завершальної фази циклу	Система коректно виконує вивантаження і повертається в стан готовності
5	Робота в ручному режимі	Перевірка локального керування механізмами	Оператор може керувати дозволеними механізмами без порушення блокувань
6	Спрацювання аварійного сигналу	Перевірка реакції системи на нештатну ситуацію	Система переходить в аварійний стан, формує повідомлення і блокує подальший цикл
7	Відмова датчика або відсутність сигналу	Перевірка контролю вхідних сигналів	Виявляється помилка, формується попередження або аварія
8	Втрата зв'язку між ПЛК і SCADA	Перевірка стійкості інформаційної взаємодії	ПЛК продовжує або безпечно завершує цикл, SCADA фіксує втрату зв'язку
9	Скидання аварії та відновлення роботи	Перевірка коректного повернення до нормального режиму	Після усунення причини система переходить у стан готовності
10	Архівування параметрів і журнал подій	Перевірка історичного запису даних	Параметри й події коректно зберігаються та доступні для перегляду

**Якісне порівняння процесу керування до і після впровадження
автоматизованої системи**

№	Характеристика процесу керування	До впровадження автоматизованої системи	Після впровадження автоматизованої системи
1	Точність дозування	Залежить від оператора та локальних пристроїв	Забезпечується ПЛК, датчиками та алгоритмом керування
2	Послідовність виконання операцій	Частково контролюється оператором	Виконується автоматично за заданим алгоритмом
3	Стабільність змішування	Може змінюватися залежно від умов роботи	Підтримується за рахунок заданих часових і керуючих параметрів
4	Контроль стану обладнання	Обмежений локальними сигналами	Централізований контроль через SCADA
5	Реагування на аварії	Залежить від своєчасності дій оператора	Формуються автоматичні повідомлення, блокування та записи подій
6	Архівування параметрів	Відсутнє або обмежене	Реалізоване у вигляді трендів, архівів і журналу подій
7	Простежуваність циклу	Ускладнена	Забезпечується реєстрацією етапів, параметрів і подій
8	Аналіз відхилень	Переважно за поточними спостереженнями	Можливий на основі історичних даних і журналів
9	Роль оператора	Значна участь у керуванні процесом	Переважно спостереження, підтвердження та контроль
10	Гнучкість системи	Обмежена	Вища завдяки програмній зміні уставок, режимів і логіки