

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) автоматизації і комп'ютерних систем
Кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

«До захисту в ЕК»

Директор інституту(декан факультету)

_____ Андрій ФОРСЮК
(підпис) (ім'я та прізвище)

«___» _____ 20__ р.

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ Ярослав СМІТЮХ
(підпис) (ім'я та прізвище)

«___» _____ 20__ р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

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

освітньо-професійної програми Комп'ютерні технології та програмування в АСУ

на тему: Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління технологічної лінії приготування хлібо-булочних виробів з підсистемою прогнозування на основі моделей машинного навчання

Виконав: здобувач 2 курсу, групи 2м

_____ Савченко Микола Олександрович
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник _____ Луцька Наталія Миколаївна
(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 Національного університету харчових технологій, розумію і підтримую політику університету з академічної доброчесності. Я не надавав і не одержував недозволеної допомоги під час підготовки цієї роботи. Використання ідей, результатів і текстів інших авторів мають посилання на відповідне джерело.

Здобувач _____
(підпис)

Київ – 2024 р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Автоматизації і комп'ютерних систем
Кафедра автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління
Освітній ступінь Магістр
Спеціальність 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»
Освітньо-професійна програма Комп'ютерні технології та програмування в АСУ

(назва)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри _____

“ _____ ” _____ 20 __ року

З А В Д А Н Н Я

НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Савченко Миколи Олександровича

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління технологічної лінії приготування хлібо-булочних виробів з підсистемою прогнозування на основі моделей машинного навчання.

Керівник роботи: професор, доктор технічних наук Луцька Наталія Миколаївна,
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом закладу вищої освіти від “ _____ ” _____ 20 __ року № _____

2. Строк подання здобувачем роботи _____

3. Вихідні дані до роботи: Апаратурно-технологічна схема основного відділення. Організаційна, технічна та інформаційна структура існуючих ІАСУ та АСУТП. Вимоги до системи автоматизації, що проектується.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік питань, які потрібно розробити): Титульний аркуш. Завдання на проектування. Анотація (державною та англійською мовами). Зміст. Вступ. Розділ 1. – Аналітичний огляд літератури та мета магістерської роботи. 1.1. Загальна характеристика роботи. 1.2. Виділення основних задач і цілей роботи. 1.3. Особливості автоматизації процесу вистоювання. 1.4. Розробка завдання на систему автоматизації. 1.5. Основні параметри, що впливають на дозрівання тіста. Розділ 2. – Загальносистемні рішення. 2.1 Загальний опис об'єкту та системи. 2.2. Розробка завдання на систему автоматизації. 2.3 Схема функціональної структури. 2.4. Опис функцій, що автоматизуються (ПЗ). Розділ 3 – Розробка підсистеми управління технологічним процесом. 3.1. Структурна схема комплексу технічних засобів ІАСУ. 3.2. Схема автоматизації. 3.3. Специфікація приладів та засобів автоматизації. 3.4. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління сигналізації та живлення. 3.5. Проектне компонування пункту управління зі

схемою компонування ПЛК та засобів RIO та їх специфікацією. 3.6. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж. Розділ 4 – Спеціальне завдання. Інформаційне забезпечення. 4.1. Перелік вхідних/вихідних сигналів для ПЛК. 4.2. Опис інформаційного забезпечення інтегрованої АСУ виробництвом та АСУТП. 4.3. Масиви вхідних/вихідних даних. 4.4. Система диспетчерського управління і збору даних. Опис спеціального програмного забезпечення для ПЛК. 4.6. Опис алгоритму та програми. 4.7. Підсистема прогнозування на основі моделей машинного навчання.

5. Перелік графічного матеріалу

1) Схема функціональної структури; 2) структурна схема КТС; 3) схема автоматизації; 4) схеми електричні принципів; 5) проектне компонування пункту управління зі схемою компонування ПЛК та RIO; 6) схеми з'єднань та підключень проводок мереж; 7) схема інформаційної структури ІАСУ; 8) зображення мнемосхем; 9) алгоритми та лістинг програми їх реалізації.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розділ 1			
Розділ 2			
Розділ 3			
Розділ 4			

7. Дата видачі завдання _____

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№	Назва етапів виконання кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1.	Розробка функціональної структури	1 тиждень	
2.	Розробка комплексу технічних засобів	2 тиждень	
3.	Розробка схеми автоматизації та вибір технічних засобів	3 тиждень	
4.	Розробка принципів схем	4 тиждень	
5.	Проектне компонування пункту управління зі схемою компонування ПЛК та засобів розподіленої периферії	5 тиждень	
6.	Розробка схем з'єднань і підключень проводок мереж	6 тиждень	
7.	Розробка інформаційного забезпечення	7 тиждень	
8.	Розробка алгоритмів і програм для ПЛК	8 тиждень	
9.	Розробка проекту SCADA/HMI	9 тиждень	

Здобувач

_____ (підпис)

Микола САВЧЕНКО

(прізвище та ініціали)

Керівник роботи

_____ (підпис)

Наталія ЛУЦЬКА

(прізвище та ініціали)

АНОТАЦІЯ

Тема: «Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління технологічної лінії приготування хлібо-булочних виробів з підсистемою прогнозування на основі моделей машинного навчання».

Мета: розробити інтегровану автоматизовану систему управління виробництвом хлібопекарської продукції із застосуванням нової мікропроцесорної техніки та засобів автоматизації, використанням контролерів та ПЕОМ.

У проекті використовувалися найновіші технічні засоби для вимірювання виконавчих механізмів та регулюючого органу.

Крім того, дана відповідь на перелік питань, щодо автоматизації системи управління, серед яких: характеристика об'єкта автоматизації, схема автоматизації, проектне компонування мікропроцесорного контролера та схема підключення датчиків і виконавчих механізмів до нього, відеокадри дисплейних мнемосхем АРМ оператора.

Система керування розроблена на базі одного з розповсюджених сучасних мікропроцесорних контролерів Schneider Electric, а також створена підсистема прогнозування на основі моделей машинного навчання.

Кількість сторінок пояснювальної записки з об'ємом графічного матеріалу становить:

Кількість листів в пояснювальній записці – 88 листів.

Лист 1 – Схема функціональної структури

Лист 2 – Структурна схема КТС

Лист 3 – Схема автоматизації

Лист 4 – Схема компонування ПЛК и RIO

Лист 5 – Схеми електричні принципи

Лист 6 – Схема з'єднань та підключень проводок мереж

Лист 7 – Схема інформаційної структури ІАСУ

Лист 8 – Зображення мнемосхем

Лист 9 – Алгоритми та лістинг програми їх реалізації

ABSTRACT

Topic: «Development of a Computer-Integrated Control System for the Technological Line of Bread and Pastry Production with a Forecasting Subsystem Based on Machine Learning Models».

Objective: To develop an integrated automated control system for the production of bakery products using new microprocessor technology and automation tools, incorporating controllers and PC. The project utilized cutting-edge technical means for measuring executive mechanisms and regulatory devices.

In addition, this response addresses a list of questions regarding the automation of the control system, including: the characteristics of the automation object, the automation scheme, the design layout of the microprocessor controller, and the connection scheme of sensors and executive mechanisms to it, as well as video frames of the operator's ARM display mnemonics.

The control system is developed based on one of the widely used modern microprocessor controllers from Schneider Electric, and a forecasting subsystem based on machine learning models has been implemented. The explanatory note consists of 88 pages, including graphic material:

Letter 1 – Functional structure diagram

Letter 2 – Structural diagram of the control system

Letter 3 – Automation scheme

Letter 4 – Layout scheme of PLC and RIO

Letter 5 – Electrical schematic diagrams

Letter 6 – Connection and wiring diagrams of networks

Letter 7 – Information structure diagram of the SCADA system

Letter 8 – Display mnemonics images

Letter 9 – Algorithms and program listings of their implementation.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
Розділ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА МЕТА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ.....	10
1.1. Загальна характеристика роботи.....	10
1.2. Виділення основних задач і цілей роботи.....	11
1.3. Особливості автоматизації процесу вистоювання.....	12
1.4. Розробка завдання на систему автоматизації.....	17
1.5. Основні параметри, що впливають на дозрівання тіста.....	17
Розділ 2. ЗАГАЛЬНО-СИСТЕМНІ РІШЕННЯ.....	28
2.1. Загальний опис об'єкту та системи.....	28
2.2. Розробка завдання на систему автоматизації.....	31
2.3. Схема функціональної структури.....	32
2.3. Опис функцій, що автоматизуються (ПЗ).....	34
Розділ 3. РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ.....	35
3.1. Структурна схема комплексу технічних засобів ІАСУ.....	35
3.2. Схема автоматизації.....	36
3.3. Специфікація приладів та засобів автоматизації.....	38
3.4. Схеми електричні принципів контурів вимірювання, управління, сигналізації та живлення.....	39
3.5. Проектне компонування пункту управління зі схемою компонування ПЛК та засобів РІО та їх специфікацію.....	40
3.6. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж.....	46
Розділ 4. СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ... ..	47
4.1. Перелік вхідних/вихідних сигналів для ПЛК.....	47
4.2. Опис інформаційного забезпечення інтегрованої АСУ виробництвом та АСУТП.....	49
4.3. Масиви вхідних/вихідних даних.....	50
4.4. Система диспетчерського управління і збору даних.....	52
4.5. Опис спеціального програмного забезпечення для ПЛК.....	53
4.6. Опис алгоритму та програми.....	55
4.7. Підсистема прогнозування на основі моделей машинного навчання.....	57
ВИСНОВКИ.....	78
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	80
ДОДАТКИ.....	87

ВСТУП

Автоматизація виробничих процесів завжди відіграла ключову роль у науково-технічному розвитку сучасної промисловості. З появою швидкісних мікропроцесорів та ПЕОМ (чи інших технічних пристроїв) виникла потреба у розробці більш складних систем керування. Це дозволило інтегрувати управління технологічними процесами усього виробництва в одну основну виробничу систему. Таке об'єднання зазвичай називають інтегрованими системами управління, а під комп'ютерно-інтегрованим виробництвом розуміють єдину систему, яка координує різні підрозділи підприємства для зниження собівартості продукції та максимізації прибутку.

Харчова галузь у контексті економічного росту країни представляє собою складний сегмент національної економіки, що включає численні підприємства та організації, основна задача яких полягає у переробці продукції аграрного сектора. Головна мета цього комплексу – підвищення продуктивності та якості виробленої продукції шляхом швидшого застосування досягнень у науці та техніці, збільшення обсягів та удосконалення загального виробництва. Ключовим напрямком розвитку в харчовій промисловості є неперервне оновлення виробничих ліній, введення агрегатів з вищою продуктивністю, але меншими габаритами, металоємністю та витратами на виробництво одиниці продукції.

Системи автоматизації, що володіють новими характеристиками, включають в себе такі основні напрямки:

- застосування комп'ютерних технологій та удосконалення архітектури багатоярусних систем управління;
- використання передових програмних рішень для нагляду за технологічними процесами та їх архівації;
- реалізація різноманітних функцій із застосуванням елементів штучного інтелекту.

Застосування класичних методів управління в таких системах часто не є ефективним через високий рівень складності процесів, які вони контролюють.

В харчовій промисловості можна виділити наступні особливості:

- велика кількість та складність взаємозв'язків між параметрами станів об'єктів виробництва;
- трудомісткість процесів математичного моделювання та аналізу отриманих результатів для їх практичного застосування;
- висока похибка при вимірюванні параметрів, а іноді й неможливість їх точного визначення;
- необхідність прийняття рішень для управління технологічними процесами та виробничими агрегатами в умовах обмеженої інформації про об'єкт та інші збурюючі фактори.

Цей аспект особливо актуальний для сучасних систем автоматизації, оскільки хлібопекарська галузь є однією з ключових у харчовій промисловості України. Основні напрямки розвитку хлібозаводів включають збільшення їх одиничної потужності та ефективності роботи, підвищення якості продукції, а також удосконалення систем управління через автоматизацію. Крім того, застосування новітніх технологій на хлібозаводах та в мікропроцесорних контрольних системах сприятиме поліпшенню контролю і візуалізації виробничих процесів, що зробить використання робочої сили та роботу операторів більш ефективними.

Зростання продуктивності на хлібозаводах, а також розробка і впровадження нових технологій, які сприяють покращенню якості продукції та ефективності виробництва, вимагають оновлення та удосконалення систем на основі новітніх методів вимірювань та автоматизації.

Ефективна автоматизація виробництва хлібо-булочних виробів можлива лише за умови комплексного підходу до цього процесу. Для цього потрібно адаптувати технологічне обладнання, саму технологію, а також необхідні засоби автоматизації для впровадження як у основні, так і в допоміжні процеси. При автоматизації об'єкту або технологічної ділянки важливо визначити ключові технологічні параметри, які будуть використовуватися для управління процесом. При цьому вибір засобів контролю за цими параметрами має враховувати їх здатність працювати в різних умовах та середовищах.

Розділ 1. АНАЛІТИЧНИЙ ОГЛЯД ЛІТЕРАТУРИ ТА МЕТА МАГІСТЕРСЬКОЇ РОБОТИ

1.1. Загальна характеристика роботи

Актуальність роботи. Хлібопекарське виробництво є одною із провідних галузей у харчовій промисловості, яка вирішує важливі завдання з використання передових технологій і новітнього обладнання для задоволення потреб у хлібі. Основний акцент робиться на підвищення якості продукції, ефективне використання ресурсів і сировини, збільшення продуктивності виробничих ліній. Вирішити ці завдання можливо лише через автоматизацію виробництва, базуючись на сучасних інформаційних технологіях та досягненнях у сфері автоматизованого управління.

Процес виробництва хліба є складною технологічною системою, особливості якої включають високий рівень непередбачуваності, велику кількість змінних, приховані характеристики якості сировини та напівфабрикатів, а також багатоаспектну поведінку, де пріоритетність завдань змінюється в залежності від поточної ситуації на виробництві. Сучасні системи автоматизації в хлібопекарській промисловості часто не здатні швидко адаптуватися до змін у поведінці об'єктів управління, яка зумовлена різними технологічними та організаційними факторами. Покращення ситуації можливе за допомогою впровадження трьохрівневої системи управління для хлібопекарського виробництва, що включає використання сучасних точних датчиків.

Мета і задачі дослідження. Метою даної роботи є вдосконалення технічних та економічних індикаторів у сфері хлібопекарного виробництва. Це планується досягти за допомогою розробки і запровадження інноваційної автоматизованої системи управління, що складається з трьох рівнів та включає застосування найсучасніших датчиків і механізмів для досягнення багатоцільового контролю процесів.

1.2. Виділення основних задач і цілей роботи

В даній магістерській роботі вирішуються наступні задачі:

- 1) розробка комплексної інформаційної системи управління для хлібопекарського виробництва, включаючи підсистему прогнозування на базі машинного навчання;
- 2) збільшення продуктивності та оптимізація використання обладнання;
- 3) підвищення якості продукції за рахунок точного дотримання технологічних процесів;
- 4) створення системи моніторингу та наглядового управління технологічними процесами;
- 5) створення ефективної підсистеми операторського контролю та диспетчеризації на виробництві;
- 6) створення трьохрівневої промислової мережі, яка забезпечує зв'язок між засобами польового рівня, програмованих логічних контролерів відділень виробництва хліба та операторських робочих місць;
- 7) ведення архіву, який відображає технологічну інформацію про стан виробництва;
- 8) застосування механотронних пристроїв у розробці системи пакування хліба;
- 9) використання високоточних датчиків ваги для пакування продукції.

1.3. Особливості автоматизації процесу вистоювання

Зброджене тісто відрізняється капілярно-пористою структурою, де утворюються гази в результаті бродіння. В процесі поділу та формування, тісто випускає майже весь діоксид вуглецю, стає більш щільним і зменшується у об'ємі. Перед процесом вистоювання у тісті зберігається 8-14 % діоксиду вуглецю, накопиченого під час дозрівання. Під час вистоювання формується 86-92 % загального об'єму діоксиду вуглецю, присутнього в тістовій заготівлі перед запіканням. Таким чином, основна частина діоксиду вуглецю, яка впливає на пористість м'якушки та об'єм виробів, утворюється саме під час остаточного вистоювання.

Головна ціль остаточного вистоювання полягає у відновленні структури тіста, яка була частково пошкоджена під час формування. Цей процес передбачає активне бродіння для досягнення максимального розпушення тістової заготовки та її збільшення в об'ємі. Під час остаточного вистоювання важливо створювати оптимальні умови для активності мікрофлори тіста, а також забезпечувати збереження еластичності поверхні, що сприяє зростанню об'єму заготовки. В результаті вистоювання об'єм тістової заготовки збільшується в 1,5-1,7 рази, а її поверхня стає гладенькою.

Оптимальні умови для остаточного вистоювання тістових заготовок включають підтримку температури повітря у вистоювальній шафі на рівні 35-40 °C і відносної вологості в межах 75-85 %. Висока температура сприяє прискоренню бродіння в тісті, тоді як підвищена вологість запобігає утворенню сухої плівки на поверхні заготовок. Якщо така плівка утворюється, це може призвести до тріщин і підривів на поверхні хліба під час випічки через збільшення об'єму тіста. Навпаки, нижчі від оптимальних температура та вологість сповільнюють процес вистоювання. Однак відносну вологість не слід підтримувати вище 85%, оскільки це може призвести до прилипання заготовок до касет колик або дощок для вистоювання, а також до надмірного зволоження поверхні. Коли заготовки вистоюються на дошках чи листах, вони можуть трохи розпливатися.

Тривалість вистоювання тістових заготовок варіюється від 20 до 120 хвилин, залежно від типу хлібобулочних виробів, їхньої маси, рецептури, умов вистоювання, якості використовуваного борошна та інших факторів. Цей період збільшується при використанні сильного борошна, а також у разі, якщо тісто має нижчу вологість і температуру, містить значну кількість цукру і жиру, або в умовах низької температури та відносної вологості у шафі для вистоювання.

Тістові заготовки, які піддавалися інтенсивній механічній обробці, вимагають додаткових 3-5 хвилин для вистоювання. Окиснювачі також сповільнюють цей процес. Здобне тісто вимагає вистоювання від 50 до 90 хвилин, тоді як булочне тісто — 35-50 хвилин. Тісто з вищою вологістю і добре виброджене вистоюється швидше, ніж туге чи недостатньо дозріле. Маломасні заготовки вимагають більш тривалого вистоювання, оскільки вони швидше охолоджуються. Заготовки у формах потребують більш довгого вистоювання, ніж підовий хліб, через те, що стінки форм стримують підйом тіста. Житнє тісто вистоюється швидше, ніж пшеничне, через більшу газоутворювальну і меншу газоутримувальну здатність житнього борошна.

При використанні прискорених методів приготування тіста, вистоювання часто є ключовою фазою, що відповідає за розпушення тіста. Його тривалість визначається згідно з технологічною інструкцією для конкретного виду виробу. Недостатнє вистоювання може призвести до того, що вироби отримають кулясту форму з боковими тріщинами і підривами, а також нееластичну структуру м'якушки. У випадку формового хліба верхня корка буде надто випуклою з боковими підривами, що є результатом інтенсивного бродіння на початку випікання, коли гази, що утворюються в результаті бродіння, розривають скоринку.

При занадто тривалому вистоюванні, через ослаблення клейковинного каркасу під впливом ферментів і кислот, тістові заготовки можуть розпливатися та втрачати форму. Це призводить до того, що подові вироби мають низьке співвідношення висоти до діаметру. У формового хліба може виникнути увігнута верхня скоринка, а фігурні вироби можуть втратити свою рельєфність.

Готовність тістових заготовок під час вистоювання визначається органо-лептично, тобто за допомогою спостережень, що включають оцінку об'єму, форми та структурно-механічних властивостей. До кінця вистоювання об'єм тістових заготовок збільшується на 50-70% від їх початкового об'єму, а їх поверхня стає гладкою.

Один із способів оцінки готовності заготовок полягає у легкому натисканні пальцями на їх поверхню. Якщо при нормальному вистоюванні сліди від натискання зникають повільно, це вказує на правильність процесу. Швидке вирівнювання слідів свідчить про недостатнє вистоювання, тоді як незникаючі сліди вказують на надмірне вистоювання. Ці відмінності у реакції тіста дозволяють випікачам оцінювати його стан і вносити корективи у процес при необхідності.

Остаточне вистоювання тістових заготовок здійснюється у різних видах обладнання, включаючи конвеєрні шафи, вистоювальні вагонетки та спеціалізовані камери. У конвеєрних шафах тривалість вистоювання регулюється шляхом налаштування швидкості руху конвеєра та кількості завантажених колісок.

На сучасних хлібопекарських підприємствах, які оснащені поточними тістоподільними лініями, остаточне вистоювання часто відбувається у конвеєрних шафах різних моделей. В цих шафах можна створювати і підтримувати оптимальні умови температури та вологості, що є критично важливим для якісного процесу вистоювання. Таке обладнання дозволяє точно контролювати умови вистоювання, забезпечуючи високу якість та однорідність готових виробів.

На підприємствах, де використовуються тунельні печі, широко застосовуються конвеєрні шафи вистою різних марок, зокрема Т1-ХРЗ, Т1-ХР-2А, Т1-ХР-2Г, РШВ та інші. Шафа вистою Т1-ХРЗ часто використовується для виробництва круглого подового хліба вагою від 0,8 до 1,0 кг. Ця шафа виробляється у варіантах з 80, 120 або 140 колісками і може бути встановлена з тунельними печами, що мають площу поду 25, 40 або 50 м². Шафи вистою такого типу оснащені механізмами для автоматичного завантаження і розвантаження тістових заготовок з колісок на під печі.

Шафа вистою Т1-ХР-2А є універсальним обладнанням, призначеним для вистоювання широкого асортименту тістових заготовок. Ця модель використовується у виробничих лініях із тунельними печами, які мають площу поду 16, 25 або 40 м², а також із тупиковими колисковими печами. Шафа виготовляється з 80, 120 або 140 колисками, які мають двоповерхову конструкцію та передбачають ручне завантаження та розвантаження. Подові тістові заготовки розміщуються на листах, і ця шафа може також бути використана для виробництва формового хліба, знімаючи верхню полицю колиски.

Шафа Т1-ХР-2Г призначена для використання у лініях з тупиковими колисковими печами. Ця модель випускається з 30 або 48 колисками. У варіанті з 30 колисками шафа використовується для вистоювання формового хліба, круглого подового хліба або батоноподібних виробів. У варіанті з 48 колисками вона призначена для дрібноштучних здобних та бараночних виробів.

Шафи марки РШВ ефективно використовуються для вистоювання батоноподібних виробів на поточних лініях з тунельними печами. Ці шафи оснащені роторно-стрічковим механізмом для розміщення тістових заготовок у колиски та стрічковим механізмом для перенесення заготовок на під печі, що забезпечує високу автоматизацію та ефективність процесу.

Для підприємств малої потужності з ротаційними печами часто використовуються малогабаритні шафи вистою типу Г4-ПКС-1. Ці шафи розраховані на розміщення двох вагонеток з тістовими заготовками. По завершенню вистоювання, вагонетки подаються безпосередньо у пекарню камеру печі. Зволоження повітря в шафі може здійснюватися за допомогою парогенератора або за рахунок лотків із водою, розташованих усередині шафи.

Перед тим як заготовки будуть поміщені в піч, їх поверхню оздоблюють відповідно до виду виробу та згідно з технологічними інструкціями. Оздоблення може включати нанесення різних посипок, застосування різьблення або інших методів декорування, які надають виробам характерний зовнішній вигляд та покращують їхні смакові якості. Такий підхід до оздоблення є важливою частиною процесу виробництва хлібобулочних виробів, оскільки він

не тільки покращує зовнішній вигляд продукції, але й може впливати на її смакові властивості. Різьблення для подових виробів (що включають батони, паляниці, булки, тощо) проводиться вручну змоченім тонким ножем. Механізоване різьблення використовуються на комплексно-механізованих лініях. На різьблення та його глибину також впливає сила борошна, наприклад заготовки з сильного борошна надрізають глибше.

Для оздоблення деяких виробів використовують метод нанесення малюнків за допомогою спеціальних штампів, що дозволяє створювати на поверхні тіста унікальні візерунки або малюнки. Інший підхід до оздоблення включає нанесення на поверхню тістової заготовки різних видів сировини, таких як цукор, кмин, мак тощо, або використання оздоблювальних напівфабрикатів.

Для багатьох видів здобних виробів поверхню тістових заготовок змащують яєчним мастилом, яке зазвичай готують з яєць (80%) та води (20%), або крохмальним клейстером. Таке змащення надає готовим виробам блискучу та апетитну скоринку. Для масових сортів хліба поверхню тістових заготовок зазвичай зволожують водою, використовуючи метод обприскування. Це допомагає утворити кращу скоринку і може сприяти кращому утриманню вологи всередині хліба під час випікання.

При виробництві різних видів хліба використовують спеціальні агрегати з одним конвеєром для вистоювання та випікання. У цих установках тістові заготовки автоматично переміщуються з зони вистоювання до зони випікання. Час, необхідний для вистоювання, контролюється за допомогою спеціальної каретки, яка дозволяє регулювати кількість колісок із заготовками та порожніх колісок, що повертаються з печі. Попереднє вистоювання виконується в основному при виготовленні певних видів хлібобулочних і кондитерських виробів. Головна мета цього процесу – усунути внутрішні напруження в заготівлі, які виникають під час поділу та округлення тіста, та відновити структуру клейковини. Тривалість цього процесу становить від 3 до 12 хвилин. Для попереднього вистоювання використовують стрічкові конвеєри або спеціальні шафи, а при ручній обробці тіста – цей процес відбувається на столах.

1.4. Розробка завдання на систему автоматизації

Таблиця 1

№	Машина, агрегат, установка	Параметр, місце відбору сигналу	Припустиме значення параметра	Вид автоматизації	Характер контролю чи управління	Засоби управління та контролю, реалізації управляючої дії	Додаткові умови
1	Двигун вузла завантаження	Шв. обертів валу мішалки	8 об-хв ± 1 об/хв..	Контроль	Сигналізація	АРМ оператора	Світлова і звукова на щиті оператора
			10 % ± 2 %	Регулювання	Стабілізація	Вплив на ЧПР двигуна	
2	Шафа вистоювання	Температура	35°C ± 3°C	Контроль	Відображення Реєстрація	АРМ оператора Щит управління АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на витрату сухої гріючої пари	
		Вологість	55 % ± 2 %	Контроль	Відображення Реєстрація	АРМ оператора Щит управління АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на витрату сухої гріючої пари	
3	Двигун вузла завантаження	Шв. обертів валу мішалки	5 об-хв ± 1 об/хв.	Контроль	Сигналізація	АРМ оператора	Світлова і звукова на щиті оператора
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на ЧПР двигуна	
4	Двигун вузла вивантаження	Шв. обертів валу мішалки	5 об-хв ± 1 об/хв.	Контроль	Сигналізація	АРМ оператора	Світлова і звукова на щиті оператора
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на ЧПР двигуна	

1.5. Основні параметри, що впливають на дозрівання тіста

Термін «дозрівання тіста» включає в себе комплекс процесів, які забезпечують тісту набуття властивостей, необхідних для ефективної обробки та випікання, після його замішування та визначеного періоду відпочинку. Ці процеси включають біохімічні, мікробіологічні, колоїдні та фізико-хімічні перетворення, які ініціюються під час замішування тіста і продовжують розвиватися та посилюватися протягом періоду його дозрівання.

Дозріле тісто повинно відповідати кільком основним критеріям:

- на початковому етапі вистоювання заготовок з цього тіста має відбуватися достатньо активне газоутворення для забезпечення їхнього ефективного розпушування.
- тісто має мати властивості, які дозволяють здійснювати необхідні операції обробки (такі як поділ та формування), а також зберігати форму під час вистоювання та випікання.
- необхідна достатня кількість цукрів та продуктів гідролітичного розкладу білків для формування нормального кольору скоринки хлібо-булочних виробів.
- тісто має містити достатньо інгредієнтів, які забезпечують приємний смак та аромат готових виробів.

Процеси дозрівання тіста включають важливі мікробіологічні перетворення, які відіграють ключову роль у розвитку потрібних властивостей тіста.

Симбіоз дріжджів і молочнокислих бактерій: в тісті основними мікроорганізмами є дріжджі та молочнокислі бактерії, які існують у стані симбіозу. Під час дозрівання молочнокислі бактерії виробляють молочну кислоту, яка знижує рН середовища. Це не тільки створює сприятливі умови для розвитку дріжджів, але й пригнічує ріст інших мікроорганізмів, чийі продукти життєдіяльності можуть бути токсичними для дріжджів.

Взаємодія дріжджів та бактерій: дріжджі збагачують середовище азотистими речовинами та вітамінами, які необхідні для розвитку бактерій. Це сприяє ефективному біохімічному обміну між цими двома типами мікроорганізмів.

Оптимальні умови для розвитку: для активної життєдіяльності дріжджів та молочнокислих бактерій необхідні певні умови. Оптимальний рН для їх розвитку лежить у межах 4-6, а температура повинна бути в діапазоні 28-35 °С.

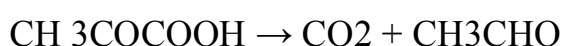
Під час дозрівання тіста відбуваються ключові процеси: алкогольне та молочнокисле бродіння. Ці процеси призводять до наступних змін:

- розпушення тіста діоксидом вуглецю;
- насичення рідкої фази діоксидом вуглецю з утворенням вугільної кислоти;
- кислотність тіста зростає через формування молочної, оцтової та інших кислот;
- знижується рівень рН тіста;
- накопичення ароматичних та смакових речовин.

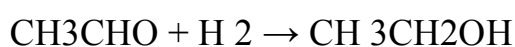
Спиртове бродіння ініціюється дріжджами, зокрема, *Saccharomyces cerevisiae*, відомими як сахароміцети. Цей анаеробний процес включає перетворення глюкози та фруктози за допомогою ферментів, що містяться у дріжджових клітинах. Він проходить через декілька проміжних етапів, в результаті яких утворюються алкоголь та діоксид вуглецю.



В сучасному процесі спиртового бродіння відбувається від 10 до 12 біохімічних фаз, під час яких гексози перетворюються за допомогою ферментів, що містяться у дріжджах. У фінальній фазі цього процесу формується піровиноградна кислота, яка далі трансформується у спирт і діоксид вуглецю.



- піровиноградна кислота оцтовий альдегід.



- оцтовий альдегід етанол.

Окрім етилового спирту і діксиду вуглецю, утворюється низка побічних продуктів спиртового бродіння. Це кислоти, альдегіди, інші сполуки, що утворюються не з цукрів.

Хлібопекарські дріжджі ферментують цукри в такій послідовності: спочатку глюкозу, потім фруктозу, за нею сахарозу та мальтозу. Прямо дріжджі ферментують тільки глюкозу. Для ферментації фруктози спочатку діє фермент

фруктоізомераза, який перетворює її на глюкозу, а діцукри ферментуються після їх розщеплення на моноцукри.

В процесі своєї життєдіяльності, дріжджі асимілюють азотисті речовини, мінеральні солі та вітаміни, що містяться у рідкій фазі тіста. Перші 1-1,5 години після замішування тіста, дріжджі використовують цукри, які містяться у борошні, і харчуються іншими розчинними речовинами тіста. Їх подальша активність залежить від накопичення в тісті мальтози та розчинних азотовмісних сполук, які утворюються в результаті ферментативного гідролізу крохмалю та білків тіста.

Мальтоза служить основним джерелом енергії для дріжджів у тісті. Коли дріжджі переходять до ферментації мальтози, відбувається переструктурування їхнього ферментативного апарату. В цей період газоутворення тимчасово знижується, а потім знову зростає.

Коли в рецептурі тіста міститься сахароза, ферментний комплекс дріжджів розщеплює її на глюкозу та фруктозу, які потім швидко ферментуються дріжджами. У присутності достатньої кількості сахарози мальтоза майже не піддається бродінню, що сповільнює або навіть запобігає затуханню процесу бродіння.

Процес бродіння також супроводжується розмноженням дріжджів. Цікаво, що чим менше дріжджів спочатку додано до тіста, тим активніше вони розмножуються. Згідно з дослідженнями Л.Я. Ауермана, через 6 годин бродіння при додаванні 0,5 % дріжджів їх кількість збільшувалася на 88 %, тоді як при додаванні 2 % дріжджів зростання складало лише 29 %. Це може бути пояснено недостатньою кількістю поживних речовин у рідкій фазі тіста при вищій концентрації дріжджів. Період регенерації дріжджів у борошняному середовищі становить приблизно 2-2,5 години.

Інтенсивність спиртового бродіння залежить від:

- кількості дріжджів, їх підйомної сили, зимазної й мальтазної активності, осмочутливості;
- температури; при підвищенні її з 25 до 35 °С бродильна активність дріжджів зростає майже вдвічі; при 45-50 °С вона затухає;
- рН середовища; оптимальним є рН 5-6;
- вмісту цукрів, азотовмісних сполук, мінеральних солей, вітамінів у рідкій фазі тіста;
- вмісту етанолу в тісті; коли його більше 2 % (за об'ємом), інтенсивність бродіння затухає;
- вмісту CO₂; діоксид вуглецю частково адсорбується на поверхні дріжджової клітини і перешкоджає проникненню поживних речовин у клітину;
- вмісту солі в тісті; сіль пригнічує процес збродження цукрів дріжджами;
- концентрації хліба в рідкій фазі; найбільш інтенсивне бродіння відбувається при концентрації 2,5-3 %. При концентрації понад 10-12 % до маси борошна, бродіння пригнічується через підвищений осмотичний тиск у рідкій фазі тіста.

Витрати на спиртове бродіння є частиною технологічних витрат у процесі виробництва хліба, оскільки це невід'ємний елемент біохімічних та мікробіологічних процесів, які відбуваються в тістових напівфабрикатах. Оцінити ці витрати можна опосередковано, аналізуючи кількість діоксиду вуглецю та спирту, що утворилися в результаті бродіння. Такий підхід часто використовується у контрольних процесах на хлібопекарських виробництвах для оцінки ефективності та оптимізації технологічних процесів.

Молочнокисле бродіння. У сировині для виготовлення тіста присутні різноманітні бактерії, які сприяють виникненню декількох видів кислотного бродіння, серед яких домінує молочнокисле. Після закінчення процесу бродіння, у тісті можна знайти молочну, оцтову, янтарну, мурашину, яблучну, винну, лимонну кислоти та інші кислоти і побічні продукти цього процесу. Їх присут-

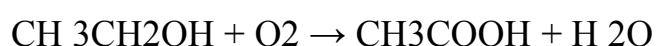
ність і баланс визначають інтенсивність колоїдних і ферментативних реакцій у тісті, а також впливають на формування смаку та аромату готової продукції. Найважливішою у технології випікання хліба є молочна кислота. В пшеничному тісті внаслідок лактобацильного бродіння збільшується вміст молочної кислоти (70-75 %), летких кислот (15-20 %) та інших кислот (10 %).

Компоненти бродіння безпосередньо залежать від активності гомо- та гетероферментативних бактерій.

Оптимальна температура для зростання цих бактерій становить 32-35 °С. Під час гомоферментативного бродіння молочної кислоти вміст молочної кислоти складає 85-90 %, а під час гетероферментативного бродіння – 20-40 %. У житньому тісті переважає гетероферментативне бродіння, яке стимулюється мікрофлорою закваски. У житньому тісті формується приблизно 65 % молочної кислоти і близько 30 % летких кислот, переважно оцтової кислоти.

Швидкість накопичення кислот залежить від складу мікрофлори тіста, температури бродіння, консистенції напівфабрикатів та тривалості бродіння. Для більшості лактобацил оптимальним є рН від 5 до 6. В густому середовищі процес накопичення кислоти відбувається інтенсивніше, ніж у рідкому.

При занадто тривалому бродінні в тісті може збільшуватися вміст оцтової кислоти через окислення спирту в оцтову кислоту та воду.



Розвиток молочнокислих бактерій гальмується при концентрації у живильному середовищі хліба понад 15, а солі – більше 6 %.

Також у тісті зустрічаються термофільні молочнокислі бактерії, на кшталт бактерій Дельбрюка, які мають температурний оптимум 48-54 °С. Ці бактерії важливі для накопичення кислоти на ранніх етапах випікання.

Дріжджі також відіграють роль у збільшенні кислотності тіста. Діоксид вуглецю, що утворюється під час спиртового бродіння, розчиняється у воді, утворюючи вугільну кислоту H_2CO_3 , яка впливає на титровану кислотність тіста.

Підвищення титрованої кислотності тіста також відбувається через розкладання фітину з формуванням кислих фосфатів, а також завдяки жирним та амінокислотам, які утворюються в результаті ферментативного гідролізу жирних кислот і білків. Протягом періоду дозрівання тіста, титрована кислотність зростає на 1-1,5 градуси від початкового рівня. Для тіста з пшеничного борошна першого сорту цей показник становить 3,0-3,5 градусів, для другого сорту – 4,5-5,0 градусів, а для обойного борошна – 5,5-6,5 градусів.

Зі збільшенням кислотності тіста його рН знижується, однак прямої кореляції між титрованою кислотністю та рН не існує. Навіть за однакових показників титрованої кислотності, рН може відрізнятись в залежності від присутності буферних речовин у борошні та від складу рецептури тіста. Це означає, що титрована кислотність не завжди точно відображає реальний рівень кислотності середовища тіста.

Рівень кислотності тіста, або конкретніше – його рН, має значний вплив на декілька аспектів випічки, включаючи:

- активність ферментів: це особливо важливо при виготовленні житнього тіста, де присутня α -амілаза. Різні рівні рН можуть змінювати активність цього та інших ферментів, що впливає на загальний процес бродіння та текстуру тіста.
- смак і аромат продуктів: високий вміст летких кислот призводить до різко кислого смаку виробів, тоді як при низькому вмісті летких кислот смак може бути прісним. Таким чином, регулювання рН допомагає досягти бажаних смакових характеристик.

Кінцева кислотність напівфабрикатів вважається ключовим показником їх зрілості, а кислотність готового хліба регулюється відповідно до стандартів. Це гарантує, що продукт має однорідний і задовільний смак, текстуру та якість.

Біохімічні реакції у тісті викликані ферментативними комплексами дріжджів, молочнокислих бактерій та борошна, а також залежать від стану біополімерів. У результаті цих реакцій відбувається розпад білків, крохмалю, пентозанів та інших компонентів борошна.

У результаті гідролітичних реакцій, які відбуваються під впливом амілаз, мальтоза формується з крохмалю борошна і служить основним джерелом енергії для мікроорганізмів у тісті. Вміст цукрів у тісті зростає порівняно з їхньою кількістю у борошні. Швидкість цього процесу залежить від чутливості крохмалю до амілолізу. Мальтоза піддається бродінню дріжджами лише після бродіння власних цукрів борошна.

Отже, в тісті паралельно протікають два процеси:

- 1) формування мальтози;
- 2) бродіння мальтози мікрофлорою тіста.

Необхідно, щоб формування мальтози передувало її бродінню. У зрілому тісті повинно бути не менше 3 % зброджуваних цукрів. Ця кількість цукрів важлива для процесів бродіння під час витримування тістових заготовок і для реакції утворення меланоїдинів, яка визначає забарвлення скоринки.

Амілоліз крохмалю в тісті є важливим, але надлишок амілолізу є неприпустимим. При надмірному амілолізі утворюється занадто багато декстринів, що негативно впливає на якість м'якушки хліба.

Під час дозрівання тіста відбувається деполімеризація пентозанів під дією ферментів борошна, що призводить до утворення пентоз, які беруть участь у реакції утворення меланоїдинів.

Білки тіста під час дозрівання продовжують поглинати воду, стаючи більш набряклими. Такі набряклі білки легше піддаються протеолізу, що розпочався під час замішування тіста. Цей процес активізується за допомогою глутатіону, який міститься у дріжджах. У дріжджовому тісті окисно-відновний баланс зміщується у бік посилення відновлювальних процесів. В результаті цього активується протеїназа тіста, окислена частина активаторів протеолізу (наприклад, глутатіону і цистеїну) відновлюється, що сприяє дальшому розщепленню білкових молекул у тісті.

Зменшується кількість високомолекулярних фракцій, зокрема глютеніну, і збільшується вміст більш низькомолекулярних білків, як-то гліадину, альбуміну, глобулінів.

Продукти гідролізу білків, що переходять у рідку фазу тіста, служать харчуванням для мікрофлори тіста. Вони також важливі для утворення ароматичних і барвних речовин на етапі випікання хліба.

У результаті протеолізу знижується пружність тіста, поліпшується його еластичність, і формуються певні структурно-механічні властивості. Глибина протеолізу залежить від якості борошна: для слабкого борошна надмірний протеоліз може призвести до надто рідкого тіста.

Дезагрегація білків у тісті спричиняє зниження об'єму відмивної сирової клейковини на 15-18 %, а сухої клейковини – на 5-3,3 %. За час дозрівання вміст водорозчинних білків у тісті збільшується з 12 до 30 % від їх загальної кількості. У тісті формується проміжна фракція білків, яка не може бути відмита як клейковина і не переходить у розчин. Ця фракція розподіляється по всій масі тіста, поліпшуючи його реологічні властивості.

Біохімічні процеси в тісті активізуються при збільшенні механічної обробки та підвищенні температури тіста. На їх активність також впливає рН середовища, наявність активаторів та інгібіторів протеолізу, а також рецептура тіста.

Колоїдні процеси при дозріванні тіста. Під час дозрівання тіста продовжують відбуватися процеси осмотичного зв'язування води білками, їх набухання та збільшення в об'ємі. Деяка частина білків набухає необмежено, пептизується і переходить у розчин, що призводить до збільшення вмісту рідкої фази в тісті, внаслідок чого тісто стає рідшим. Білки, які набухають обмежено, абсорбують певну кількість рідкої фази, що позитивно впливає на структуру тіста.

Необмежене набухання та пептизація особливо характерні для білків житнього тіста. Структура тіста залежить від співвідношення між процесами обмеженого та необмеженого набухання білків, а також їх дезагрегації.

Колоїдні процеси в тісті активізуються при підвищенні структурно-механічного оброблення під час замішування, зростанні кислотності в процесі бродіння, а також при підвищенні температури бродіння. Ці фактори сприяють інтенсифікації процесів дозрівання тіста.

Обминання тіста під час його дозрівання є ефективним способом інтенсифікації цього процесу. Перемішування тіста протягом 1,5-2,5 хвилин сприяє покращенню його якостей. Основні наслідки обминання тіста включають:

- реконструкцію клейковинного каркасу, що покращує структуру тіста.
- часткове видалення CO₂, яке може пригнічувати активність дріжджів.
- рівномірний розподіл дріжджових клітин по тістовій масі, що покращує їхнє живлення.
- часткове видалення та подрібнення надто великих кульок CO₂, їх розподіл по тісту, що сприяє однорідності тіста.
- додаткове насичення тіста повітрям, що забезпечує окислювальний вплив на компоненти білково-протеїнозного комплексу та поліпшує реологічні властивості тіста.

Процес обминання сприяє покращенню газоутримувальних та формозберігаючих властивостей тіста під час його дозрівання. Тісто з м'якого борошна варто обминати лише один раз, а тісто з більш міцного борошна можна обминати один або два рази.

При однофазному приготуванні ця операція проводиться після проходження двох третин часу бродіння тіста. При двофазному приготуванні це роблять за 20 хвилин до завершення бродіння.

Регулювання процесів дозрівання тіста.

Інтенсифікації дозрівання тіста сприяє:

- збільшення кількості дріжджів;
- активізація роботи дріжджів;
- інтенсивна механічна обробка тіста під час його замісу;
- підняття температури бродіння тіста до 32-35 °С;
- додавання до тіста при замісі дозрілих напівфабрикатів, наприклад, стиглого тіста чи мезофільних заквасок з активними мікроорганізмами;
- включення в склад тіста під час замісу органічних кислот (молочної, лимонної, оцтової);

- додавання мінеральних солей, які необхідні для харчування мікроорганізмів в тісті;
- використання ферментних препаратів та інших харчових добавок.

Для уповільнення процесу дозрівання тіста можна застосовувати:

- зниження температури тіста до 24-26 °С;
- зменшення кількості дріжджів або використання дріжджів нижчої якості;
- додавання солі на початковому етапі замісу;
- використання великої кількості хліба та жиру.

На жаль, не існує універсальних методів визначення готовності тіста. За науковими дослідженнями, ідеальний момент закінчення бродіння тіста – коли швидкість газоутворення стабільно знижується після другого піку. Для цього вимірюють параметри, такі як в'язкість, еластичність і консистенція, користуючись приладами, такими як реотест, екстенсограф і фаринограф.

У виробничих умовах готовність тіста часто оцінюється за титрованою кислотністю та органолептичними характеристиками, такими як:

- збільшенням об'єму,
- пружністю,
- розпушеністю,
- сильним спиртовим запахом.

Виброджене тісто має випуклу форму та виражений спиртовий аромат. Тісто, яке не дозріло, вологе на дотик і має недостатній об'єм. Переброджене тісто має плоску поверхню та сильний кислий запах. Основним показником готовності тіста є титрована кислотність, яка повинна забезпечити стандартну кислотність у випускаємих продуктах. Різниця між кислотністю дозрілого тіста та кислотністю продуктів становить 0,5-1,0 градусів.

Розділ 2. ЗАГАЛЬНО-СИСТЕМНІ РІШЕННЯ

2.1. Загальний опис об'єкту та системи

Розглянемо пристрій (рис. 1.1), що застосовується у випічці хліба та кондитерських виробів, яке спрямоване на полегшення процесу завантаження та розвантаження тістових заготовок, розташованих на листах. Цей апарат для доведення тістових заготовок до готовності складається з теплоізоляційної рами 1, що включає вертикальні 3 та горизонтальні 4 секції, кріплені шарнірно до двох паралельних ланцюгів 8 колісок 9. Кожна коліска має центральну довгу балку з поперечними полицями, а також вузли для завантаження 10 і розвантаження 14, створені у формі ланцюгового транспортера з опорами 12 і паралельними направляючими 13. Вертикальні секції 3 оснащені стаціонарними полицями, вмонтованими між ланцюговим транспортером над колісками 9 на рівні вузлів завантаження та розвантаження, розташованими на протилежних зовнішніх сторонах вертикальної секції 3. Кінці направляючих 13 розміщені всередині цієї секції з зазором відносно стаціонарних полиць 15, а поперечні полиці 9 знаходяться в цьому зазорі між стаціонарними полицями 15 і направляючими 13. Крайні полиці оснащені засобами кріплення 18. Обладнання призначене для випічки хлібобулочних виробів на листах і включає в себе раму 1, повністю обшиту теплоізоляційними панелями 2 з вертикальними 3 і горизонтальними 4 секціями, а також встановлені керуючі зірочки 5, натяжні зірочки 6, поворотні зірочки 7 і розтягнуті між ними дві тягові паралельні ланцюги 8 з підвішеними до них колісками 9.

По обидва боки вертикальної секції 3 конвеєра розміщені вузли: вузол 10 для завантаження, який складається з ланцюгового транспортера 11, оснащеного опорами 12 і паралельними направляючими 13, та вузол 14 для розвантаження, також утворений ланцюговим транспортером 11 з упорами 12 і паралельними направляючими 13. В середині конвеєра знаходяться стаціонарні полиці 15, які кріпляться до каркасу 1. Додатково, вузол 10 оснащений кінцевим вимикачем 16 для контролю процесу завантаження.

Цей пристрій функціонує таким чином: листи 19, на які попередньо розміщені тістові заготовки 20, потрапляють у вузол 10 завантаження через кінцевий вимикач. Потім активується привід 4. Листи 19, розташовані на направляючих 13 і підтримувані упорами 12, переміщуються до внутрішньої частини вертикальної секції 3, де наступний упор 12 фіксує їх на стаціонарних полицях 15.

Кінцевий вимикач 16 зупиняє роботу вузла 10 і включає привід тягового ланцюга 8. Люлька 9 піднімається на один рівень вгору, захоплюючи листи 19. Тим часом, люльки 9 на протилежній стороні опускаються вниз, і якщо на них є листи 19, вони розміщують їх на стаціонарних полицях 15 і направляючих 13 вузла 14 розвантаження.

Під час безперервної роботи, ланцюг транспортера 11 з упорами 12 захоплює лист 19 і переміщає його з вертикальної секції 3 до печі. Листи 19 залишаються на консольно розміщених напрямних 13, які знаходяться над піччю.

У наступному циклі, листи 19 зсуваються в напрямку до печі. Фіксатори 18 регулюють положення люльок для захоплення і зняття листів 19 зі стаціонарних полиць 15.

Використання цього пристрою дозволяє автоматизувати процес завантаження та розвантаження на конвеєрі для доведення тістових заготовок до готовності, а також розміщення листів у піч, забезпечуючи повну механізацію цих процесів.

Отже, апарат для вистоювання тістових заготовок на листах складається з рами з теплоізоляційним покриттям, яка містить вертикальні та горизонтальні секції. Ці секції шарнірно прикріплені до двох паралельних ланцюгів, на яких розташовані коліски. Кожна коліска має центральну довгу балку з поперечними полицями. Також пристрій включає вузли завантаження та вивантаження, що складаються з ланцюгових транспортерів з упорами та паралельними напрямними. Цей пристрій унікальний тим, що для спрощення процесу завантаження та вивантаження заготовок на листах, вертикальні секції оснащені стаціонарними паралельними полицями, розташованими між гілками ланцюгового транспортера з колісками на рівні вузлів завантаження та вивантаження. Ці полиці розміщені з протилежних зовнішніх сторін вертикальної секції, а кінці направляючих знаходяться всередині секції з відступом від стаціонарних полиць. При цьому поперечні полиці колісок розташовані між стаціонарними полицями та направляючими вузлів завантаження та вивантаження.

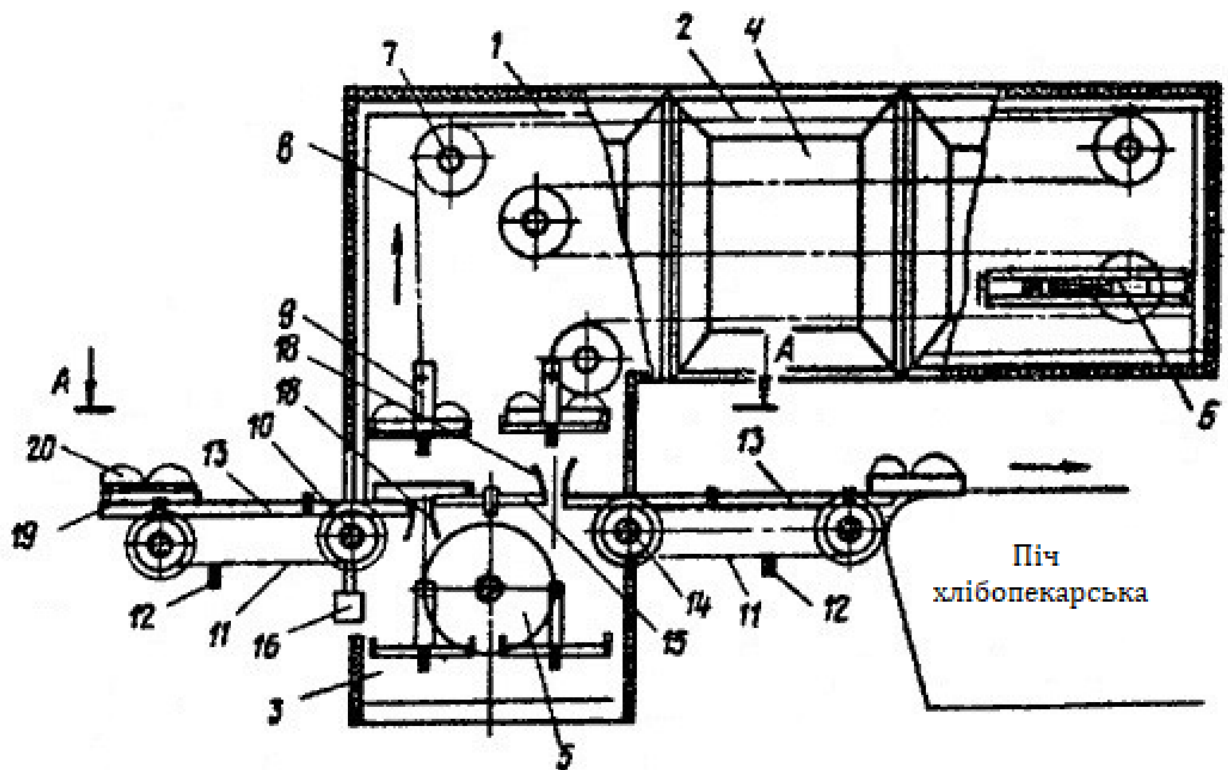


Рис. 1.1. Пристрій для вистоювання тістових заготовок

2.2. Розробка завдання на систему автоматизації

Таблиця 2

№	Машина, агрегат, установка	Параметр, місце відбору сигналу	Припустиме значення параметра	Вид автоматизації	Характер контролю чи управління	Засоби управління та контролю, реалізації управляючої дії	Додаткові умови
1	Двигун вузла завантаження	Шв. обертів валу мішалки	8 об-хв. ± 1 об/хв..	Контроль	Сигналізація	АРМ оператора	Світлова і звукова на щиті оператора
			10 % ± 2 %	Регулювання	Стабілізація	Вплив на ЧПР двигуна	
2	Шафа вистоювання	Температура	35°C ± 3°C	Контроль	Відображення Реєстрація	АРМ оператора Щит управління АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на витрату сухої гріючої пари	
		Вологість	55 % ± 2 %	Контроль	Відображення Реєстрація	АРМ оператора Щит управління АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на витрату сухої гріючої пари	
3	Двигун вузла завантаження	Шв. обертів валу мішалки	5 об-хв. ± 1 об/хв..	Контроль	Сигналізація	АРМ оператора	Світлова і звукова на щиті оператора
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на ЧПР двигуна	
4	Двигун вузла вивантаження	Шв. обертів валу мішалки	5 об-хв. ± 1 об/хв..	Контроль	Сигналізація	АРМ оператора	Світлова і звукова на щиті оператора
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на ЧПР двигуна	

2.3. Схема функціональної структури

Схема функціональної структури комплексної інформаційної системи управління (КІСУ) виробництвом хліба представлена у графічній частині роботи (аркуш 1). Ця система має бути розроблена з урахуванням 4-рівневої структури:

- *Рівень датчиків.* Цей рівень містить датчики, частотні перетворювачі (PDS) та розподілені засоби вводу/виводу (RIO).
- *Рівень контролерів.* На цьому рівні розміщуються контролери, які керують безпосередньо технічними процесами.
- *Рівень SCADA/HMI.* Система SCADA/HMI забезпечує візуалізацію та управління процесами.
- *Рівень управління виробництвом.* Цей рівень включає робочу станцію головного технолога (диспетчерсько-координуючу станцію) для контролю за основними виробничими параметрами та технологічний сервер (ТС) для ведення архіву виробничих параметрів.

Система повинна бути функціонально та технічно розподіленою, щоб забезпечити незалежну роботу підсистем у випадку відсутності зв'язку між ними. Персональний комп'ютер виробничої автоматизації (ПК ВАП) з функціями SCADA/HMI виступає як координуюча станція для всієї лінії виробництва.

Таблиця 3

Позначення	Найменування
Польові ТЗА	технічні засоби автоматизації, які відносяться до польового рівня
ПЛК ВТ	мікропроцесорний контролер для відділення тістоприготування
ПЛК ВХ	мікропроцесорний контролер для пічного відділення
ПЛК ПС	мікропроцесорний контролер для відділення підготовки сировини
ПЛК РЗ	мікропроцесорний контролер для розстоювального відділення
ОП ВТ	операторська панель для відділення тістоприготування

Позначення	Найменування
ОП ПС	операторська панель для відділення підготовки сировини
ПК ВХ	АРМ оператора пічного відділення (на базі комп'ютера)
ПК РЗ	АРМ оператора розстоювального відділення (на базі комп'ютера)
ПК ГТЕХ	АРМ головного технолога (на базі комп'ютера)
ТС	технологічний сервер виробництва хлібо-булочних виробів - сервер архівів основних виробничих параметрів
Е1.0, Е2.0, Е3.0, Е4.0	вимірювальне перетворення
V1.0, V2.0, V3.0, V4.0	управління технологічним обладнанням та виконавчими механізмами
У	перетворення та обробка інформації
C1.1, C2.1, C3.1, C4.1	автоматизоване регулювання, управління технологічним процесом
S1.1, S2.1, S3.1, S4.1	автоматизоване включення, відключення, блокування задач.
C1.2, C2.2, C3.2, C4.2, C2.3, C4.3	дистанційне управління, формування завдання, настройка регуляторів
S1.2, S2.2, S3.2, S4.2	дистанційне включення, відключення, переключення, блокування, запуск задач, зміна режимів роботи регуляторів
I1.2, I2.2, I3.2, I4.2	відображення для контролю за технологічним процесом
R2.2, R4.2	реєстрація параметрів технологічного процесу
R2.4, R4.4	реєстрація основних виробничих параметрів
A1.2, A2.2, A3.2, A4.2	контроль стану обладнання, технологічна сигналізація
A2.3, A4.3	контроль виробничих параметрів, контроль якості виробництва

2.3. Опис функцій, що автоматизуються (ПЗ)

Таблиця 4

Найменування функції/ сигналу	Польові ТЗА ВХ		ПЛК ТХП (Y2.1)		ОП ВХ (Y2.2)				ТС
	Е	V	С	S	I	С	S	A	R
Витрата пари зволожуючої	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Витрата пари зволожуючої	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Витрата пари зволожуючої	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Витрата пари зволожуючої	+	-	-	-	+	-	-	+	+
Температура в першій зоні шафи	+	-	-	-	+	+	-	+	+
Температура в другій зоні шафи	+	-	-	-	+	+	-	+	+
Температура в третій зоні шафи	+	-	-	-	+	+	-	+	+
Вологість в першій зоні шафи	+	-	-	-	+	+	-	+	+
Вологість в другій зоні шафи	+	-	-	-	+	+	-	+	+
Вологість в третій зоні шафи	+	-	-	-	+	+	-	+	+
Загальний пуск	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Загальний стоп	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Кнопка «Пуск» для двигуна конвеєра	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Кнопка «Стоп» для двигуна конвеєра	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Кнопка «Пуск» для двигуна завантажуючого конвеєра	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Кнопка «Стоп» для двигуна завантажуючого конвеєра	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Кнопка «Пуск» для двигуна вивантажуючого конвеєра	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Кнопка «Стоп» для двигуна вивантажуючого конвеєра	-	-	-	+	+	-	+	+	+
Сигнальна лампа двигуна конвеєра 1	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Сигнальна лампа двигуна конвеєра 2	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Сигнальна лампа двигуна конвеєра 3	-	-	-	-	+	-	-	+	+
Стан клапану подачі пари на зволоження	-	-	-	+	+	-	+	+	-
Стан клапану подачі пари на підігрів	+	+	+	-	+	+	-	-	+

Розділ 3. РОЗРОБКА ПІДСИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИМ ПРОЦЕСОМ

3.1. Структурна схема комплексу технічних засобів ІАСУ

На аркуші №2 графічного додатку розташовано структурну схему КТЗ, яка ілюструє взаємозв'язок технічних засобів чотирьох відділень, що займаються виробництвом хлібопекарської продукції. Нижче подано таблицю, яка містить перелік основних компонентів цієї структурної схеми КТЗ.

Таблиця 5

Умовні позначення до структурної схеми КТЗ

Позначення	Найменування
ПЛК ВТ	мікропроцесорний контролер для відділення тістоприготування
ПЛК ВХ	мікропроцесорний контролер для пічного відділення
ПЛК ПС	мікропроцесорний контролер для відділення підготовки сировини
ПЛК РЗ	мікропроцесорний контролер для розстоювального відділення
ОП ВТ	операторська панель для відділення тістоприготування
ОП ПС	операторська панель для відділення підготовки сировини
ПК ВХ	АРМ оператора пічного відділення (на базі комп'ютера)
ПК РЗ	АРМ оператора розстоювального відділення (на базі комп'ютера)
ПК ГТЕХ	АРМ головного технолога (на базі комп'ютера)
ТС	технологічний сервер виробництва хлібо-булочних виробів – сервер архівів основних виробничих параметрів
RIO1, RIO2, RIO3, RIO4	пристрої віддаленого вводу/виводу
PDS1-PDS6	магнітні пускачі
switch	промисловий комутатор

3.2. Схема автоматизації

Після того як тістові заготовки вистояли, їх переносять на черинь печі та зволожують паром. Після цього вони проходять через зону обжарювання і, нарешті, зону випікання. Зволоження здійснюється за допомогою пневматичного клапану, позиція 3в, і температура контролюється за допомогою датчиків температури, позиції 2а, 11а і 12а. Для активації сітчатого поду пічі використовується електродвигун М6.

Для забезпечення правильного теплового режиму в пекарні використовується система датчиків температури. Позиції 2а, 11а і 12а – це датчики температури, розташовані в зоні обжарювання, а 7а - в пекарній камері. Ці датчики використовують терморпари як чутливі елементи, і сигнал від терморпари передається на вторинний вимірювальний перетворювач. Крім температури, контролюється також вологість в пекарній камері за допомогою датчика відносної вологості типу НН, позиція 3а.

Для обліку кількості газу використовується магніто-індуктивний витратомір KOBOLD RCD 12, позиції 1б і 13б. Контроль тиску в трубопроводі газу здійснюється за допомогою датчика тиску KOBOLD SEN-87, позиція 14а, з вихідним сигналом 4-20 мА.

У даній схемі автоматизації можна виділити два основних контури регулювання: регулювання температури та регулювання подачі газу до перших та других пальників в хлібопекарській печі.

Контур регулювання температури в хлібопекарській печі:

- вимірювач температури: терморпара ТПЗ/500 типу ТХА (2а) з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА;
- введення сигналу: сигнал з терморпари передається на модуль аналогових входів контролера;
- регулятор: система регулювання включає ПЛК, який програмно реалізує ПІ-регулятор для контролю температури;

- виведення сигналу: виведений сигнал в діапазоні 4-20 мА впливає на пневматичний клапан Danfoss HP220 (5г, 9г), який регулює подачу газу до печі;
- відображення: значення температури відображаються на екрані оператора.

Контур регулювання подачі газу до перших та других пальників хлібопекарської печі:

- вимірювач витрати газу: витратомір KOBOLD RCD 12 (1a);
- введення сигналу: сигнал витратоміра подається на модуль аналогових входів контролера;
- регулятор: ПЛК програмно реалізує ПІ-регулятор для контролю подачі газу;
- виведення сигналу: виведений сигнал в діапазоні 4-20 мА передається через електропневмоперетворювач МТМ-810 (5в, 9в) на пневматичний клапан Danfoss HP220 (5г, 9г), який регулює подачу газу до пальників.

У схемі автоматизації пекарні можна виділити ще один контур регулювання, який відповідає за керування вологістю в пекарній камері:

Контур регулювання вологості в пекарній камері:

- вимірювач вологості: датчик для вимірювання відносної вологості емнісного типу НН (3а) з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА;
- введення сигналу: сигнал від датчика вологості подається на модуль аналогових входів контролера;
- регулятор: ПЛК програмно реалізує ПІ-регулятор для контролю рівня вологості в пекарній камері;
- виведення сигналу: виведений сигнал в діапазоні 4-20 мА через електропневмоперетворювач МТМ-810 (3б) впливає на пневматичний клапан Danfoss HP220 (3в), який регулює подачу пари в пекарну камеру.

3.3. Специфікація приладів та засобів автоматизації

Таблиця 6

Позиція	Найменування	К-сть	Примітка
2а, 7а, 11а, 12а	Високотемпературний термоперетворювач ТПЗ/500 типу ТХА Робочий діапазон: -40...+1000 С Вимірюване середовище: повітря, газу, продукти згорання, в т.ч. містять сірку Вихідний сигнал. 4-20 mA або 0-5 VDC або 0-10 VDC	4	4...20 mA
4а, 6а, 8а, 10а, 14а	Датчик тиску KOBOLD SEN-87 Діапазон тиску: 0..6 бар Клас точності. +0,5 або 1,0% Діапазон температур. . . -40 ... +100 ° С Живлення 15-32 VDC Вихідний сигнал. 4-20mA або 0-5 VDC або 0-10 VDC	5	4...20 mA
1а, 13а	Витратомір KOBOLD RCD 12 Вихідний сигнал: 4-20mA Вимірюваний діапазон: 300-2300 л/хв (вода); 500 ... 2800 m ³ /h (повітря) pmax: PN40, tmax: 100 °С Матеріал: алюміній, бронза	2	4...20 mA
3а	Датчик вологості ємнісний типу НІН Робочий діапазон, %: 0..100 Робочий діапазон, °С: 0..80 Температура експлуатації вимірювальної плати: 0...60 °С (вихід 4-20 mA) 0...80 °С (вихід RS485)	1	4...20 mA
3б, 5в, 9в	Перетворювач електропневматичний МТМ-810 Споживана потужність, не більше 0.8 Вт Для трьохпровідної схеми включення напруга живлення DC 16 ... 32 В Пневматичне живлення – тиск повітря 140 КПа Діапазон робочих температур +5 ... +50 °С -30 ... +50 °С	5	4...20 mA
3в, 5г, 9г	Пневматичний клапан Danfoss HP220 Перепад тиску: 0 -10 бар Пружинний або пневматичний повернення	3	4...20 mA
15в, 16а-20а	Перетворювач частоти Lenze 8200 SMD Аналоговий вхід (0-10В, 0-20mA, 4-20mA); Напруга живлення: 180...264 V AC; Діапазон вихідної частоти: 0...240 Гц; Робоча температура: 0...55 °С	6	U _{упр} 24...190
15а	Індукційний датчик швидкості обертів валу двигуна. Діапазон виміру: 0-6000 об/хв. Діапазон допустимих робочих температур: 0-60 С	ДКС -02	Шт.
5а, 9а	Іонізаційний датчик наявності полум'я. Вихідний сигнал: 4-20 mA Температура навк. Середовища: -40...+300 °С	ДПЗ- 01	Шт.

3.4. Схеми електричні принципові контурів вимірювання, управління, сигналізації та живлення

Принципова схема регулювання описує процес вимірювання технологічних параметрів, обробку сигналів і видачу керуючих команд відповідно до встановленого алгоритму для зміни положення регулюючого пристрою. Мета полягає в здійсненні цільового контролю та регулювання відповідного параметра згідно з технологічними вимогами виробництва.

Всі вхідні сигнали від датчиків спочатку подаються на вхідні модулі аналогових входів (ПЗО). Після цього, вони піддаються програмній обробці та подаються на вихідні модулі аналогових виходів (ПЗО), а також на виконавчі механізми та двигуни насосів.

Для контурів регулювання в даному випадку використовуються наступні модулі:

- вхідні модулі аналогових входів: вони приймають сигнали від датчиків і перетворюють їх з уніфікованого сигналу 4-20 мА у цифровий сигнал, який може бути оброблений контролером. Кожен з цих модулів має 8 каналів і в даному випадку використовується модуль TSX AEY 800;
- вихідні модулі аналогових виходів: вони відправляють оброблені сигнали від контролера до виконавчих механізмів або двигунів насосів для керування. Як зазначено, використовується модуль TSX ASY 800, який має 8 каналів для виведення сигналів.

Аналоговий сигнал спочатку підключається через клемну колодку до сигнального модуля аналогових входів. Після цього, цей сигнал обробляється в центральному процесорі контролера TSX Premium 153M, де за алгоритмом робочої програми формується керуючий сигнал. Цей керуючий сигнал подається на сигнальний модуль аналогових виходів, і після цього він здійснює керуючу дію на виконавчий механізм з використанням необхідного обладнання, такого як частотні та електропневматичні перетворювачі.

Розглянемо контур регулювання для системи автоматизації тунельної печі, який відповідає за регулювання рівня вологості в печі. Процес включає наступні кроки:

- вимірювання вологості: для вимірювання вологості використовуються датчики типу НІН (3а), які генерують уніфікований сигнал в діапазоні від 4 до 20 мА в залежності від рівня вологості;
- обробка сигналу: отриманий сигнал подається на 8-канальний сигнальний модуль аналогових входів, де він піддається обробці і перетворенню в цифровий сигнал;
- керування центральним процесором: цифровий сигнал передається до центрального процесора контролера, де за алгоритмом програми користувача створюється керуюча дія;
- масштабування сигналу: керуюча дія масштабує сигнал контролера в межах від 4 до 20 мА, що відповідає уніфікованому сигналу для вологості;
- пневматичний вплив: за допомогою електропневматичного перетворювача (3б), сигнал перетворюється у пневматичний сигнал з діапазоном 20-100 кПа;
- керування клапаном: пневматичний сигнал впливає на роботу пневматичного клапана (3в), який регулює рівень вологості в печі.

3.5. Проектне компонування пункту управління зі схемою компонування ПЛК та засобів РІО та їх специфікацію

Вибір місця розміщення пунктів управління залежить від кількох факторів, таких як особливості технологічного процесу, вимоги до протипожежної безпеки, будівельний проект та зручність управління автоматизованим об'єктом.

При проектуванні щитових приміщень (аркуш 5) дотримуються наступних вимог, які розглянуті нижче.

Щитові приміщення не повинні бути розміщені в приміщеннях з надлишковим тепловиділенням, наявністю шкідливих газів, технологічними процесами, що видають вологу, або під вентиляційними камерами загальної вентиляції.

Пункти управління мають бути розташовані так, щоб їм не була властива вібрація та не піддавалися впливу магнітних полів, які виникають від електротехнічного обладнання та установок. Присутність магнітних полів в місці розташування щитового приміщення може призвести до додаткових помилок у вимірюваннях приладів.

Між виробничими приміщеннями та пунктами управління необхідно забезпечити доступні шляхи сполучення. Коридори, що ведуть до щитового приміщення управління, повинні бути розраховані таким чином, щоб не ускладнювати перевезення щитів та іншого обладнання, яке в них встановлюється.

При цьому важливо враховувати, що через щитові приміщення не слід прокладати транзитні трубопроводи опалення, водопостачання, каналізації, вентиляції, технологічні трубопроводи або газові трубопроводи.

Оточуюче середовище в пунктах управління повинно відповідати таким параметрам для створення комфортних умов для роботи оператора:

- температура: 19-20°C;
- відносна вологість: 40-60%;
- рівень шуму: не більше 70 децибел (дБ);
- вентиляція: Забезпечення п'ятикратного обміну очищеного повітря за годину;
- природне освітлення: не менше 100% (площа вікон повинна складати 12-18% від площі підлоги);
- освітленість: 100-150 люкс.

Для забезпечення безпеки в пунктах управління також слід використовувати засоби пожежогасіння, такі як вуглекислотні та порошкові вогнегасники, а також матеріали, такі як пісок та інші засоби для гасіння пожежі.

У пунктах управління важливо дотримуватися таких правил щодо проводки і обладнання:

- електрична і трубна проводка повинні бути прокладені закритим способом; для цього можуть використовуватись спеціальні канали, подвійні поли, кабельні поверхи, короби або захисні труби;
- підлога в щитових приміщеннях має бути неелектропровідною, що підвищує електробезпеку; вона не повинна допускати проникнення вологи і шкідливих газів;
- вихід з щитового приміщення в виробниче приміщення з хімічно активним середовищем повинен бути реалізований через коридор;
- приміщення пунктів управління повинні мати вікна, які забезпечують достатнє природне освітлення;
- у приміщеннях щитів управління необхідно передбачити робоче та аварійне освітлення, як від загальної мережі, так і від мережі аварійного освітлення об'єкта, який автоматизується; електропроводка при цьому повинна бути прокладена захованим способом; це забезпечує безпеку та можливість роботи в умовах низької освітленості або аварійних ситуацій.

При установці щитів у щитових приміщеннях важливо дотримуватися вимог чинних правил щодо допустимої ширини проходів між рядами щитів та відстаней між струмоведучими частинами приладів і апаратів, які розташовані на протилежно встановлених рядах щитів. Це необхідно для забезпечення безпеки та зручності обслуговування та доступу до обладнання.

Компонування пункту управління даного проекту зображено на графічному матеріалі (аркуш 5) у масштабі 1:10.

При установці щитів в щитових приміщеннях необхідно виконувати вимоги діючих правил про допустиму ширину проходів між рядами щитів, відстанями між струмоведучими частинами приладів і апаратів розташованих на протилежно встановлених рядах щитів.

Схема компоновання ПЛК та засобів РІО

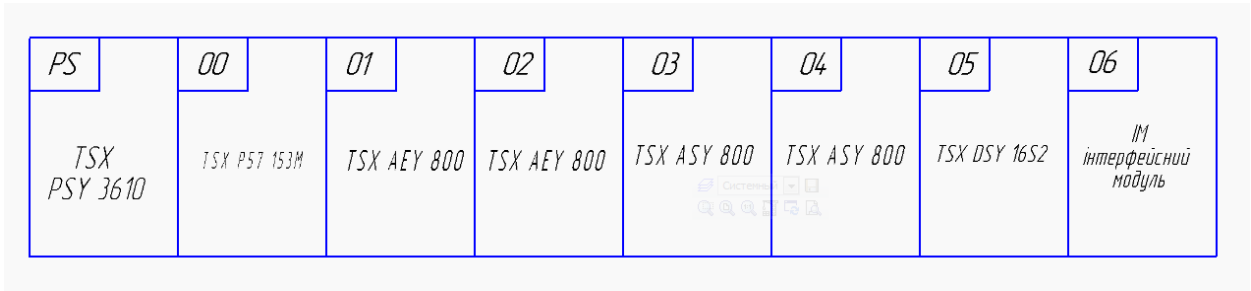


Рис. 2. Компоновання віддалених засобів воду/виводу

Таблиця 7

Специфікація модулів РІО

Позиція	Найменування	Шифр для замовлення	Виробник	Одиниця виміру	Кількість
1.	Блок живлення (PS)	TSX PSY 3610	Schneider Electric	шт.	1
2.	Процесорний модуль	TSX P57 453 M	Schneider Electric	шт.	1
3.	Модуль вхідних аналогових сигналів	TSX AEY 800	Schneider Electric	шт.	2
4.	Модуль вихідних аналогових сигналів	TSX ASY 800	Schneider Electric	шт.	2
5.	Модуль вихідних дискретних сигналів	TSX DSY 16S2	Schneider Electric	шт.	1
6.	Комунікаційний модуль зв'язку по мережі Modbus RTU	SCY 11601	Schneider Electric	шт.	1

Документація для замовлення мікропроцесорного контролера (МПК) має важливе значення і є тісно пов'язаною з завданням на виготовлення щитів і пультів, оскільки сам МПК та його блоки живлення розміщуються в щитових конструкціях.

Основним документом при замовленні МПК є замовна специфікація в якій вказується модель, кількість модулів та їх опис.

Конфігурування МПК MODICON TSX Premium

Для управління об'єктом необхідно сконфігурувати МПК, який забезпечує підключення:

Таблиця 8

Конфігурування МПК

Вимоги	Кількість або наявність
Живлення ПЛК (24 VDC або 24 VAC)	24
Кількість аналогових входів 4-20 mA	12
Кількість аналогових виходів 4-20 mA	9
Кількість дискретних виходів 4-20 mA	9

Вибір процесорного модуля

Кількість аналогових, дискретних входів і виходів: 30. Враховуючи кількість каналів ввідів/виводів, кількість пам'яті під програму користувача і наявність комунікацій обираємо процесорний модуль TSX P57 2023M.

Вибір модулів вводу/виводу:

4 ВА 4-20 mA – TSX AEY 800 – 2 шт.

4 АВ 4-20 mA – TSX ASY 800 – 2 шт.

16 ДВ 24 VDC – TSX DSY 16T2 – 1 шт.

Вибір шасі, додаткових модулів та аксесуарів для шасі:

Загальна кількість модулів разом з процесором:

1 CPU + 2AI + 2AO + 1ДВ + 1БЖ = 7.

Таким чином потрібне лише одне шасі на 8 місць (TSX RKY 8EX).

Специфікація на замовлення контролера та комплектуючих

Модулі вводу/виводу		Характеристики
Найменування	Кількість	
TSX RKY 8EX Шасі	1	Шасі для встановлення блоку живлення, процесора та модулів розширення на 12 місць
TSX PSY 2600M Блок живлення	1	Напруга живлення 100...240 VAC Потужність, Вт: загальна: 26 по напрузі ± 24 В : 25 по напрузі ± 5 В : 15 зовнішньої напруги ± 24 В : 12 Формат: стандартний
TSX P57 2023M Центральний процесор	1	Кількість шасі: - на 4,6,8 місць: 16 - на 12 місць: 8 Кількість входів/виходів у шасі: - дискретних: 1024 - аналогових: 80 Кількість спеціальних модулів: 24 Кількість мереж: 1 Кількість конфігурованих контурів регулювання: 10 Пам'ять: - вбудоване ОЗУ: 48 - розширення ОЗУ: 160
TSX AEY 800 Модуль аналогових входів	2	Кількість каналів: 8 Діапазон сигналу: ± 10 В, 0...10 В, 0...5 В, 1...5 В, 0-20 мА, 4-20 мА, терморезистори, термометри опоры Характеристики каналів: Високий рівень ізоляції між каналами, розрядність АЦП 16 біт Під'єднання: під гвинт
TSX ASY 800 Модуль аналогових виходів	2	Діапазон сигналу ± 10 В, 0...20мА, 4...20 мА Характеристики каналів: Ізоляція між каналами, розрядність ЦАП 11 біт + знак Під'єднання: під гвинт
TSX DSY 16T2 Модуль дискретних виходів	1	Кількість каналів: 16 Характеристика каналів: 24 VDC/0.5A, захищені, транзисторні Під'єднання: під гвинт
TSX BLY 01	1	20 контактна з'ємна клемна колодка з гвинтовими затискачами
TSX BLY 02	4	25 контактна з'ємна клемна колодка з гвинтовими затискачами

3.6. Схеми з'єднань та підключень проводок промислових мереж

Схема з'єднань та підключень проводок промислових мереж наведена в графічному додатку до дипломного проекту (лист № 6).

Таблиця 10

Перелік елементів до схеми з'єднань

Позначення	Найменування	К-ть	Примітка
<i>Комунікаційні адаптери та карти</i>			
КМ ВТ	КМ ВТ – SCY 11601, комунікаційний модуль RS-485 для Modicon TSX Premium з підключенням через RJ-45 конектор (COM PORT 0 RS-485, COM PORT 1 RS-485)	1	
КМ ВХ	КМ ВТ – SCY 11601, комунікаційний модуль RS-485 для Modicon TSX Premium з підключенням через RJ-45 конектор (COM PORT 0 RS-485, COM PORT 1 RS-485)	1	
Switch	Промисловий комутатор	1	
RIO1, RIO2, RIO3	Пристрої віддаленого вводу/виводу	3	
<i>Комунікаційна апаратура та з'єднувальні коробки</i>			
MH1	MH1 – Modbus концентратор (hub) LU9 GC3 на 10 мережних з'єднувачів типу RJ-45 і 1 клемну колоду	1	Використовується також як перехідник від витої пари до кабелю TWD XCA RJ030
<i>Мережні з'єднувачі</i>			
XS1	XS1 – неекранований RJ-45 конектор типу вилка	13	
XS2	Конектор MiniDin plug		
XS3	RJ-45 конектор		
<i>Мережні кабелі</i>			
	XBTZ 9780 – кабель RS-485 для підключення ОП ТХП Magelis XBTN400 (RJ-45) до ПЛК TSX Premium (mini-DIN)	1	Довжина кабелю – 2,5 м
	XBTZ 9980 – кабель RS-485 для підключення ОП ТХП Magelis XBTN400 (RJ-45) до ПЛК ТХП Modicon M340 (RJ-45)	1	Довжина кабелю – 2,5 м
	XCA RJ030 – кабель з RJ-45 конектором на одному кінці і mini-DIN конектором на другому	1	Довжина кабелю – 3 м
КМ1-КМ15	UTP кабель CAT 5e 0,5 мм	7	Загальна довжина кабелів - 205 м

Розділ 4. СПЕЦІАЛЬНЕ ЗАВДАННЯ. ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ

4.1. Перелік вхідних/вихідних сигналів для ПЛК

Таблиця 11

Аналогові вхідні сигнали для ПЛК

Поз. вимір. перетв.	Найменування вимірювальної величини	Одиниці та діапазон виміру	Тип та діапазон вимір. сигналу	Періодичність, с	Точність виміру, %	Примітка
1а	Витрата газу	0-60 м ³ /год	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик KOBOLD RCD 12
13а	Витрата пари	0-100 м ³ /год	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик KOBOLD RCD 12
2а	Температура в першій зоні пекарної камери	0-600 °С	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик ТПЗ/500
11а	Температура в другій зоні пекарної камери	0-600 °С	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик ТПЗ/500
12а	Температура в третій зоні пекарної камери	0-600 °С	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик ТПЗ/500
3а	Вологість в першій зоні пекарної камери	0-100 %	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик типу НН
4а	Тиск в топочній пальника 2	0-3 МПа	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик KOBOLD SEN-87
6а	Тиск біля пальника 2	0-3 МПа	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик KOBOLD SEN-87
8а	Тиск в топочній пальника 1	0-3 МПа	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик KOBOLD SEN-87
10а	Тиск біля пальника 1	0-3 МПа	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик KOBOLD SEN-87
14а	Тиск в трубопроводі подачі газу в топочну	0-3 МПа	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик KOBOLD SEN-87
15а	Швидкість обертів валу двигуна конвеєра	0-100 об/хв	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик ДКС-02
7а	Температура в пальнику 1	0-600 °С	4-20 мА	0.1	0.5	Датчик ТПЗ/500

Таблиця 12

Аналогові вихідні сигнали для ПЛК

Поз. перетв.	Найменування вихідної величини	Одиниці та діапазон виходу	Тип та діапазон вихідного сигналу	Період опитування, с	Точність формування, %	Споживана потужність, ВА	Примітка
5г	Подача газу в топку 1	0-100% ХРО	4-20 мА	0.1	0.1	1	ВМ клапану подачі газу
9г	Подача газу в топку 2	0-100% ХРО	4-20 мА	0.1	0.1	1	ВМ клапану подачі газу
М2, М3	Подача повітря в топку 1	0-100% ХРО	4-20 мА	0.1	0.1	1	Частотний перетворювач двигуна М2, М3 вентилятора подачі повітря в топку 1
М4, М5	Подача повітря в топку 2	0-100% ХРО	4-20 мА	0.1	0.1	1	Частотний перетворювач двигуна М4, М5 вентилятора подачі повітря в топку 1
3в	Подача пари в першу зону печарної камери	0-100% ХРО	4-20 мА	0.1	0.1	1	ВМ клапану подачі пари

Таблиця 13

Мережні вхідні сигнали від польових ТЗА для ПЛК

Поз. вим. перетв.	Найменування вимірювальної величини	Одиниці та діапазон виміру	Тип та діапазон вимір сигналу	Періодичність, с	Точність виміру, %	Примітка
RIO1, RIO2	Статус вкл. /викл.	-	11 біт	0.1	0.5	
	Вихідна частота	0-400 Гц	11 біт	0.1	0.5	
	Швидкість обертання	1-9998 об/хв	11 біт	0.1	0.5	Крок = 0,1 %
	Струм	0-500 А	11 біт	0.1	0.5	
	Напруга живлення	480 В	11 біт	0.1	0.5	

Таблиця 14

Мережні вихідні сигнали на польові ТЗА від ПЛК

Поз. вим. перетв.	Найменування вимірювальної величини	Одиниці та діапазон виміру	Тип та діапазон вимір сигналу	Періодичність, с	Точність виміру, %	Примітка
RIO1	Команда вкл. / викл.	-	11 біт	0.1	0.2	
	Задана частота	0-400 Гц	11 біт	0.1	0.2	

4.2. Опис інформаційного забезпечення інтегрованої АСУ виробництвом та АСУТП

Для відображення реалізації інформаційних потоків у програмному забезпеченні в рамках дипломного проекту була створена інформаційна структура ІАСУ. Ця структура наведена у графічному додатку до дипломного проекту на листі №7. Схема інформаційної структури ІАСУ виконує наступні завдання.

Надає уявлення про обмін даними в мережі, дозволяючи краще розуміти процес передачі інформації. Слугує інструментом для виявлення конфліктних ситуацій та визначення оптимальної стратегії комунікації, що допомагає зменшити надлишкові потоки даних і оптимізувати роботу системи.

Виступає технічним завданням для програмістів, які відповідають за певну частину проекту, визначаючи їхні обов'язки та вимоги до реалізації конкретної функціональності. Графічне зображення допомагає краще розуміти процеси обміну, які функціонують у системі, і, отже, важливо не завантажувати його надто великою кількістю інформації. З цієї схеми можна почати розподіл адрес між пристроями, виділення ресурсів (змінних), визначення клієнта та сервера і інші супутні процеси.

Таблиця 15

Умовні позначення до схеми інформаційної структури ІАСУ

Позначення	Найменування
ПЛК ВТ	мікропроцесорний контролер для відділення тістоприготування
ПЛК ВХ	мікропроцесорний контролер для пічного відділення
ПЛК ПС	мікропроцесорний контролер для відділення підготовки сировини
ПЛК РЗ	мікропроцесорний контролер для розстоювального відділення
ОП ВТ	операторська панель для відділення тістоприготування
ОП ПС	операторська панель для відділення підготовки сировини
ПК ВХ	АРМ оператора пічного відділення (на базі комп'ютера)
ПК РЗ	АРМ оператора розстоювального відділення (на базі комп'ютера)
ПК ГТЕХ	АРМ головного технолога (на базі комп'ютера)
ТС	технологічний сервер виробництва хлібо-булочних виробів – сервер архівів основних виробничих параметрів
РІО ВХ	пристрої віддаленого вводу/виводу пічного відділення

4.3. Масиви вхідних/вихідних даних

У таблиці 16 міститься інформація у вигляді масивів B6 (вхідні дані) та B8 (вихідні дані), які містять перелік мережних змінних, що відносяться до інтегрованої автоматизованої системи управління виробництвом хлібобулочних виробів. Змінюючи значення в цих масивах, оператор може зробити висновки щодо роботи окремих підрозділів і взагалі всієї системи. Для створення цих масивів використовується програмне забезпечення MS SQL Server. Забезпечення передачі та архівування даних в реальному часі здійснюється за допомогою програмного забезпечення Unity Pro XL та OPC OFS Server. Отримані дані зберігаються на технологічному сервері.

Таблиця 16

Мережні змінні ІАСУ виробництвом хлібопекарської продукції

Призначення	ПЛК ГТЕХ (SCADA)	ПЛК ВХ	Коментар
Витрата газу в топку 1	Vytrata_gazu_1_topka	%MW10 0	
Витрата газу в топку 2	Vytrata_gazu_2_topka	%MW10 1	
Витрата повітря в топку 1	Vytrata_povitrya_1_topka	%MW10 2	
Витрата повітря в топку 2	Vytrata_povitrya_2_topka	%MW10 3	
Температура в першій зоні пекарної камери	Temperatura_1_zona	%MW10 4	
Температура в другій зоні пекарної камери	Temperatura_2_zona	%MW10 5	
Температура в третій зоні пекарної камери	Temperatura_3_zona	%MW10 6	
Вологість в першій зоні пекарної камери	Vologist	%MW10 7	
Подача газу в топку 1	Klapan_pod_gazu_1	%MW10 8	
Подача газу в топку 2	Klapan_pod_gazu_2	%MW10 9	
Подача повітря в топку 1	Klapan_pod_pov_1	%MW11 0	
Подача повітря в топку 2	Klapan_pod_pov_2	%MW11 1	
Подача пари в першу зону пекарної камери	Klapan_pod_pary	%MW11 2	
МТШН Вихідна частота (двигун конвеєра)	Mtsh_Dv_Konv_OutFreq	%MW20 0	Output frequency
МТШН Вихідний струм (двигун конвеєра)	Mtsh_Dv_Konv_OutCur	%MW20 1	Output current
МТШН Вихідна напруга (двигун конвеєра)	Mtsh_Dv_Konv_OutVolt	%MW20 2	Output voltage
МТШН Крутний момент (двигун конвеєра)	Mtsh_Dv_Konv_MotTorq	%MW20 3	Motor torque
МТШН Статус вкл. /викл (двигун конвеєра)	Mtsh_Dv_Konv_Status	%MW20 4	Inverter status
МТШН Швидкість обертання (двигун конвеєра)	Mtsh_Dv_Konv_MotSpeed	%MW20 5	Running speed
МТШН Перезапуск двигуна (двигун конвеєра)	Mtsh_Dv_Konv_Inv_Res	%MW20 6	Inverter reset
МТШН Командний реєстр (двигун конвеєра)	Mtsh_Dv_Konv_ComReg	%MW20 7	Command register
МТШН Вихідна частота (двигун вентилятора 1)	Mtsh_Dv_Vent_1_OutFreq	%MW20 8	Output frequency
МТШН Вихідний струм (двигун вентилятора 1)	Mtsh_Dv_Vent_1_OutCur	%MW20 9	Output current
МТШН Вихідна напруга (двигун вентилятора 1)	Mtsh_Dv_Vent_1_OutVolt	%MW21 0	Output voltage
МТШН Крутний момент (двигун вентилятора 1)	Mtsh_Dv_Vent_1_MotTorq	%MW21 1	Motor torque

Призначення	ПК ГТЕХ (SCADA)	ПЛК ВХ	Коментар
МТSH Статус вкл./викл. (двигун вентилятора 1)	Mtsh_Dv_Vent_1_Status	%MW21 2	Inverter status
МТSH Швидкість обертання (двигун вентилятора 1)	Mtsh_Dv_Vent_1_MotSpeed	%MW21 3	Running speed
МТSH Перезапуск ЧПР (двигун вентилятора 1)	Mtsh_Dv_Vent_1_Inv_Res	%MW21 4	Inverter reset
МТSH Командний реєстр (двигун вентилятора 1)	Mtsh_Dv_Vent_1_ComReg	%MW21 5	Command register
МТSH Вихідна частота (двигун вентилятора 2)	Mtsh_Dv_Vent_2_OutFreq	%MW21 6	Output frequency
МТSH Вихідний струм (двигун вентилятора 2)	Mtsh_Dv_Vent_2_OutCur	%MW21 7	Output current
МТSH Вихідна напруга (двигун вентилятора 2)	Mtsh_Dv_Vent_2_OutVolt	%MW21 8	Output voltage
МТSH Крутний момент (двигун вентилятора 2)	Mtsh_Dv_Vent_2_MotTorq	%MW21 9	Motor torque
МТSH Статус вкл. /викл (двигун вентилятора 2)	Mtsh_Dv_Vent_2_Status	%MW22 0	Inverter status
МТSH Швидкість обертання (двигун вентилятора 2)	Mtsh_Dv_Vent_2_MotSpeed	%MW22 1	Running speed
МТSH Перезапуск ЧПР (двигун вентилятора 2)	Mtsh_Dv_Vent_2_Inv_Res	%MW22 3	Inverter reset
МТSH Командний реєстр (двигун вентилятора 2)	Mtsh_Dv_Vent_2_ComReg	%MW22 4	Command register

4.4. Система диспетчерського управління і збору даних

Система управління виробництвом хлібопекарської продукції представлена у графічних схемах функціональної структури (лист №1 графічного додатку) та схемі інформаційної структури ІАСУ (лист №7 графічного додатку). Ці схеми відображають взаємодію операторів з чотирьох виробничих відділень (ОП ВТ, ПК ВХ, ОП ПС, ПК РЗ) із технологічним сервером (ТС) і робочим місцем головного технолога (ПК ГТЕХ). Оператори взаємодіють між собою на рівні SCADA/HMI за допомогою мережі Modbus RTU, в той час як зв'язок між технологічним сервером та АРМ головного технолога здійснюється через мережу Ethernet на рівні управління виробництвом.

Робоче місце оператора пічного відділення містить: стіл, крісло, ПК Pentium 1.8 GHz (512mb RAM), кондиціонер, що достатньо для комфортної роботи. Комп'ютер оснащений необхідним програмним забезпеченням для максимальної продуктивності та функціональності роботи, а саме – SCADA/HMI Zenon v. 6.5, MS SQL Server, Unity Pro XL, OFS Server.

Робоче місце оператора пічного відділення обладнане стандартними зручностями, такими як стіл, крісло і комп'ютер. Комп'ютер має наступні характеристики: процесор Pentium з тактовою частотою 1.8 GHz і обсягом оперативної пам'яті 512 MB. Для забезпечення комфортної роботи встановлено кондиціонер.

На цьому комп'ютері встановлено необхідне програмне забезпечення для забезпечення максимальної продуктивності та функціональності роботи. До цього програмного забезпечення входять:

1. SCADA/HMI Zenon версії 6.5, яке використовується для системи візуалізації та керування процесами.
2. MS SQL Server, який використовується для управління базами даних і забезпечення доступу до інформації.
3. Unity Pro XL, що використовується для програмування і контролю обладнання.

4. OFS Server, який використовується для забезпечення передачі та архівування даних в реальному часі.

Це програмне забезпечення допомагає оператору виконувати свої обов'язки з максимальною ефективністю та точністю.

4.5. Опис спеціального програмного забезпечення для ПЛК

Для програмування ПЛК Modicon TSX Premium використовується програмне забезпечення UnityPro, яке постійно еволюціонує і має численні версії. Отже, дуже важливо враховувати, що версія операційної системи, яка записана в пам'ять контролера, повинна відповідати версії програмного забезпечення, яке використовується для програмування ПЛК.

Процес розробки прикладної програми складається з декількох етапів. Перший етап передбачає визначення структури програми користувача, яка може бути простою або складною, і може включати підпрограми та обробку подій. Кожна з цих задач програмується окремо. Програмування кожної задачі може виконуватися за допомогою мов програмування, підтримуваних ПЛК. В контролерах Modicon доступні 4 мови програмування.

Таким чином, важливо враховувати сумісність версій операційної системи та програмного забезпечення, а також ретельно планувати структуру програми користувача на етапі розробки прикладного програмного забезпечення.

Для розробки прикладної програми необхідно виконати процедуру конфігурування контролера і налаштування окремих модулів.

Під час роботи зі змінними можна не лише використовувати їх адресну форму представлення, але й присвоювати змінним символні імена. Ці символні імена можна використовувати як під час програмування, так і при відлагодженні програми. Можливий наступний порядок розробки:

- Конфігурування контролера виконується першим кроком.
- Потім визначається структура програми користувача.

- Якщо структура програми складна, то вхідні та вихідні сигнали групуються за завданнями.
- Змінні отримують символічні імена.
- Востаннє готується та налагоджується програма для окремих підзадач програми.

Під час конфігурації контролера враховують два типи налаштувань: програмну та апаратну конфігурацію. Для програмної конфігурації встановлюють кількість функціональних блоків, а також визначають обсяг пам'яті і константи, які будуть використовуватися в програмі користувача.

Апаратна конфігурація проходить кілька етапів. Спершу, з використанням спеціального редактора, в графічному вигляді задається розташування модулів у шасі контролера, що повинно відповідати реальному фізичному розташуванню модулів у ПЛК. Ця дія є важливою, оскільки контролери цього типу використовують географічну адресацію змінних. У разі змін складу або розташування модулів у ПЛК, буде потрібно виконати переадресацію змінних.

Другим етапом є налаштування окремих модулів, де, відповідно до типу модуля, встановлюються його параметри.

Для даного проекту використовується мова структурованого тексту (Structured Text). Програма на цій мові подібна до алгоритмічних мов і складається з програмних рядків, що відповідають правилам побудови, інструкцій, стандартних процедур, зарезервованих слів та мнемонічних значень для обробки змінних різних типів.

Текст програми на мові структурованого тексту організований у послідовності рядків, що починається з знаку оклику, що генерується автоматично, і може містити мітки, коментарі та одну або більше інструкцій і команд, розділених символом ";".

Для розробки інтерфейсу SCADA/HMI у даному проекті були використані програми Zenon v6.5, Unity Pro XL та OFS Server. Для забезпечення зв'язку між розробленою програмою та мнемосхемою використовувався OFS Server, який був налаштований для створення нової мережі та прив'язки змін, створених в Unity Pro, до нових тегів в Zenon.

Програмне забезпечення Zenon використовувалось для створення мнемосхеми управління пічним відділенням з метою полегшення контролю процесу випікання. Усі технологічні параметри відображалися на головній мнемосхемі. Для реєстрації, архівування та зберігання технологічних даних у програмному забезпеченні Zenon були створені три вікна для відображення трендів, які використовувалися для запису змінних технологічних параметрів. Також було створено вікно для відображення подій, тривог та аварій. Зображення мнемосхем та трендів можна знайти у графічному додатку до дипломного проекту, лист № 8.

4.6. Опис алгоритму та програми

У графічному додатку до дипломного проекту (лист №9) наведено алгоритм процесу управління пічним відділенням разом з відповідним програмним кодом, написаним на мові структурованого тексту (ST). Алгоритм складається з 11 блоків, із яких 6 є блоками умов, де проводиться перевірка відповідності технологічних параметрів. Якщо параметри відповідають умові, то виконується перехід до наступного блоку. У випадку, коли умова не виконується, запускається процес регулювання для досягнення заданого значення технологічної змінної. Після перевірки всіх умов і виконання всіх дій, проводиться перевірка умови завершення процесу. У разі невиконання цієї умови, алгоритм повертається на початок і циклічно виконується знову. Кожному блоку регулювання відповідає відповідний блок програмного коду, написаний на мові структурованого тексту (ST).

Дані блоки написані з використанням системних змінних функціонального блоку PID, системи Unity Pro, та, блоку SERVO – блок управління SERVO двигунами, використаний для програмної реалізації управління двигуном конвеєру та виконавчими механізмами типу МЕО.

Нижче приведений фрагмент програми що застосовується в даному проекті.

Регулювання температури у першій камері печі:

```
IF%IW0.2.0>0 THEN
PID(", ", %IW0.2.0, %MW1, %M1, %MW100:43)
%MW100=1260  %MW107=0% MW101=0    %MW108=10000
%MW102=250  %MW109=10000% MW103=100  %MW110=0
%MW104=0    %MW111=0
%MW106=10000
SERVO(%MW1, %MW2, %Q0.4.0, %q0.4.1, %MW100:43, %MW150:9)
END_IF;
```

Регулювання температури у другій камері печі:

```
IF%IW0.2.1>0 THEN
PID(", ", %IW2.1, %MW3, %M2, %MW200:43)
%MW200=2835  %MW107=0
%MW101=0    %MW108=10000
%MW102=250  %MW109=10000
%MW103=100  %MW110=0
%MW104=0    %MW111=0  %MW106=10000 SERVO(%MW1, %MW2,
%Q0.4.0, %q0.4.1, %MW100:43, %MW150:9); END_IF;
```

4.7. Підсистема прогнозування на основі моделей машинного навчання

Штучний інтелект (ШІ) та *машинне навчання (МН)* відіграють ключову роль у різноманітних аспектах сучасного життя, від персоналізованих рекомендацій у соціальних мережах до автоматизації складних промислових процесів, зокрема, в управлінні технологічними лініями приготування хлібобулочних виробів.

Штучний інтелект бере свій початок у 1950-х роках, з Дартмутської конференції 1956 року, яка була першою конференцією, що об'єднала дослідників з різних галузей дослідження — інформатики, математики, фізики та інших, з метою дослідити потенціал синтетичного інтелекту (терміну ШІ ще не існувало). Ця конференція вважається визначальною подією в історії ШІ, оскільки тоді зародилась галузь та поняття «Штучний інтелект». Завдяки конференції також створили дослідницькі лабораторії штучного інтелекту в декількох університетах та інститутах, включно з MIT, Carnegie Mellon та Stanford.

Однією з найважливіших спадщин Дартмутської конференції є розробка *тесту Тюрінга*, який використовується для вимірювання здатності машини думати, що є важливим поняттям у філософії штучного розуму. Тест буде вважатися пройденим у тому випадку, якщо при спілкуванні з комп'ютером, живі люди не зможуть зрозуміти, що з ними веде бесіду не людина, а машина.

Поштовхом до підходу, натхненного мозком, де науковці створюють системи штучного інтелекту, щоб імітувати людський мозок стала архітектура штучної нейронної мережі – *Перцептрон* — це двійковий класифікатор, який може навчитися класифікувати вхідні шаблони на дві категорії. Він продемонстрував потенціал алгоритмів машинного навчання імітувати людський інтелект. Він показав, що машини можуть навчатися на досвіді та покращувати свою роботу так само, як і люди. Відтоді ШІ пройшов шлях від простих алгоритмів до складних систем, здатних до навчання та адаптації. Машинне навчання, як підгалузь ШІ, сфокусоване на розробці алгоритмів, які можуть навчатися та робити прогнози або приймати рішення, базуючись на даних.

МН використовує різноманітні методи, включаючи навчання з учителем, без учителя, та навчання з підкріпленням. Для машинного навчання використовують різні технології та алгоритми. Зокрема, можуть застосовуватися дискримінантний аналіз, байєсовські класифікатори та багато інших математичних методів. Але в кінці ХХ століття все більше уваги почали приділяти *штучним нейронним мережам*.

За допомогою систем штучного інтелекту промисловість стає не тільки високофункціональною але й розумною, здатною до навчання і ситуативного реагування на будь-які зміни виробничого процесу. Наприклад, у виробництві хлібобулочних виробів, ШІ може бути використаний для прогнозування попиту, оптимізації рецептур, контролю якості продукції та розвиватися, щоб забезпечити виробництво всіма можливостями використовуючи самонавчання.

Роль «головного мозку» промислової системи штучного інтелекту виконують промислові комп'ютери та сервери, які наразі мають не тільки високі обчислювальні потужності, але й механізми самонавчання на основі збору та обробки отриманих даних. За допомогою аналізу великих даних моделі МН можуть виявляти закономірності та прогнозувати тенденції, що дозволяє виробникам більш ефективно планувати виробництво та управляти запасами.

Незважаючи на значний потенціал, впровадження ШІ та МН у промисловості супроводжується викликами, зокрема забезпеченням достатньої кількості якісних даних, інтеграцією з існуючими системами та забезпеченням безпеки даних. Так нестача інфраструктури або неточності із законодавством можуть заморозити розвиток штучного інтелекту та машинного навчання. Також важливим є етичний аспект використання ШІ, включаючи питання приватності та автономії рішень.

Машинне навчання є фундаментальною технологією в сфері ШІ, яка надає комп'ютерам здатність вчитися та вдосконалюватися без явного програмування. Розглянемо різні типи моделей МН, їх алгоритми та застосування у контексті управління технологічними лініями виробництва хлібобулочних виробів.

МН поділяється на кілька основних категорій, залежно від способу навчання та характеру даних.

Навчання з учителем. Моделі навчаються на попередньо анотованих даних, де кожен приклад має відомий вихідний результат. Це включає задачі класифікації та регресії.

Навчання без учителя. Моделі працюють з непозначеними даними, намагаючись виявити приховані шаблони або групи (кластери).

Навчання з підкріпленням. Моделі навчаються шляхом взаємодії з середовищем, отримуючи позитивні чи негативні сигнали як відповідь на свої дії.

Розглядаються ключові три групи алгоритмів для кожного типу машинного навчання: для навчання з учителем, для навчання без учителя та для навчання з підкріпленням.

Для навчання з учителем використовуються наступні алгоритми:

1. *Лінійна регресія* – це алгоритм, що використовується для передбачення або візуалізації та зв'язок між двома різними ознаками чи змінними. В задачах лінійної регресії досліджуються два типи змінних: *залежна змінна і незалежна змінна*. *Незалежна змінна* – це змінна, яка є самостійною, на яку не впливає інша змінна. Коли незалежна змінна коригується, рівні залежної змінної будуть коливатися. *Залежна змінна* – це змінна, яка вивчається, і це те, що регресійна модель розв'язує / намагається передбачити. У задачах лінійної регресії кожне спостереження / випадок складається як зі значення залежної змінної, так і зі значення незалежної змінної.

2. *Логістична регресія* (або логіт-регресія) – статистичний регресійний метод, що застосовують у випадку, коли залежна змінна є бінарною, тобто може набувати тільки двох значень (0 або 1). При запровадженні порогового значення може знаходити застосування у класифікації.

3. *Нейромережа* (Штучна нейронна мережа) — це математична модель, яка імітує структуру та функціонування біологічних нейронних мереж з метою вирішення різноманітних задач, таких як класифікація, регресія, прогнозування

та генерація. В основі нейромереж лежать штучні нейрони, які об'єднуються в графові структури і передають сигнали один одному через ваги зв'язків. Завдяки процесу навчання, під час якого ваги та зміщення між нейронами оптимізуються, нейромережі стають здатними до виявлення закономірностей та залежностей у вхідних даних.

4. *Машини опорних векторів* — це тип класифікатора машинного навчання, особливо корисний для числового прогнозування, класифікації та задач розпізнавання образів. Машини опорних векторів працюють, малюючи межі рішень між точками даних, прагнучи до межі рішень, яка найкраще розділяє точки даних на класи (або є найбільш узагальненою). Мета під час використання машини опорних векторів полягає в тому, щоб межа рішення між точками була якомога більшою, щоб відстань між будь-якою заданою точкою даних і лінією кордону була максимальною.

Для навчання без учителя використовуються такі алгоритми:

1. *Кластеризація методом k -середніх* — популярний метод кластеризації, — впорядкування множини об'єктів у порівняно однорідні групи. Винайдений в 1950-х роках математиком Гуго Штайнгаузом і майже одночасно Стюартом Ллойдом, особливу популярність отримав після виходу роботи Мак Квіна (1967).

Мета методу — розділити n спостережень на k кластерів, так щоб кожне спостереження належало до кластера з найближчим до нього середнім значенням. Метод базується на мінімізації суми квадратів відстаней між кожним спостереженням та центром його кластера.

2. *Ієрархічна кластеризація* в добуванні даних та статистиці — метод кластерного аналізу, який намагається побудувати ієрархію кластерів. Стратегії побудови ієрархічної кластеризації діляться на два типи: 1) *агломеративні (об'єднувальні)* — це підхід «знизу-вгору». Спочатку кожна точка має власний кластер, а далі пари кластерів об'єднуються при підйомі по ієрархії. 2) *розділювальні* — це підхід «згори-вниз». Спочатку всі точки знаходяться у

єдиному кластері, потім відбувається рекурсивне розбиття при русі вниз по ієрархії.

Стандартний алгоритм ієрархічної кластеризації має часову складність та потребує пам'яті, що занадто повільно навіть для наборів даних середнього розміру. Великі витрати пам'яті для багатьох мов програмування роблять цей підхід неможливим для реалізації.

3. *Метод головних компонент (МГК)* — метод факторного аналізу в статистиці, який використовує ортогональне перетворення множини спостережень з можливо пов'язаними змінними (сутностями, кожна з яких набуває різних числових значень) у множину змінних без лінійної кореляції, які називаються головними компонентами.

Метод головних компонент — один з основних способів зменшити розмірність даних, втративши найменшу кількість інформації. Обчислення головних компонент може бути зведене до обчислення сингулярного розкладу матриці даних або до обчислення власних векторів і власних чисел коваріаційної матриці початкових даних.

Для навчання з підкріпленням використовуються такі алгоритми:

1. *Q-навчання* — це алгоритм безмодельного навчання з підкріпленням. Метою Q-навчання є навчитися стратегії, яка каже агентові, до якої дії вдаватися за яких обставин. Воно не вимагає моделі середовища (звідси уточнення «безмодельного»), і може розв'язувати задачі зі стохастичними переходами та винагородами, не вимагаючи пристосувань.

Для будь-якого скінченного марковського процесу вирішення Q-навчання знаходить стратегію, яка є оптимальною в тому сенсі, що вона максимізує очікуване значення повної винагороди над будь-якими та усіма послідовними кроками, починаючи з поточного стану. Q-навчання може визначати оптимальну стратегію обирання дій для довільного СМПВ за умови нескінченного часу на розвідування та частково випадкової стратегії. Символом Q позначають функцію, яка повертає винагороду, що використовують для забезпечення підкріп-

лення, і про яку можливо сказати, що вона відповідає «якості» дії, обраної в поточному стані.

2. *Глибоке навчання* є підмножиною навчання за допомогою машини у якому ми використовуємо нейронні мережі для розпізнавання шаблонів у наданих даних для прогнозного моделювання на невидимих даних. Дані можуть бути табличними, текстовими, графічними або мовними.

Нейронна мережа є будівельним блоком глибокого навчання. Людський мозок надихає нейронну мережу, він містить вузли (нейрони), які передають інформацію. Нейронна мережа має три рівні:

- *Вхідний шар* – отримує дані, надані користувачем, і передає їх на прихований рівень.
- *Прихований шар* – виконує нелінійне перетворення даних, а вихідний рівень відображає результати.
- *Вихідний рівень*.

Помилка між прогнозом на вихідному рівні та фактичним значенням обчислюється за допомогою функції втрат. Процес продовжується ітеративно, доки втрати не будуть мінімізовані.

У контексті управління технологічними лініями хлібобулочного виробництва, моделі МН можуть використовуватися для:

- Прогнозування попиту та планування виробництва.
- Оптимізації рецептур та параметрів випікання.
- Автоматизації контролю якості продукції.
- Моніторингу та діагностики обладнання.
- Виклики та перспективи.

Реалізація моделей МН в промисловому виробництві включає виклики, такі як забезпечення якості даних, інтеграція з фізичними системами, та інтерпретація результатів. Розвиток технологій, зокрема глибокого навчання та автоматизованих систем управління, відкриває нові можливості для оптимізації виробничих процесів.

Розробка та інтеграція підсистеми прогнозування

1. Збір та обробка даних

Технологія експертного прогнозування вирішує багато проблем, які виникають при розробці прогнозів для стратегічного управління. Основні етапи експертного прогнозування зображені на рис. 4.1.



Рис. 4.1. Структурна схема основних етапів прогнозування

Розглянемо технології, застосовувані на різних етапах розробки експертного прогнозу.

1. На етапі *підготовки до розробки* експертного прогнозу вирішуються наступні завдання:

- ✓ Організаційне забезпечення розробки прогнозу.
- ✓ Формулювання завдань для прогнозу.
- ✓ Створення робочих та аналітичних груп.
- ✓ Формування експертної комісії.
- ✓ Підготовка методичного забезпечення.
- ✓ Створення інформаційної бази для прогнозу.
- ✓ Комп'ютерний супровід розробки прогнозу.

Розробка якісного прогнозу вимагає застосування сучасних технологій експертного оцінювання та інформаційних технологій.

Формулювання завдань на розробку прогнозу повинно бути чітким і однозначно розумітися як експертами, так і фахівцями, що супроводжують розробку. У деяких випадках може виникнути необхідність уточнення завдання в процесі його розробки.

Експертна комісія, що розробляє прогноз, повинна складатися з фахівців, знайомих з об'єктом експертизи. Для комплексної оцінки управлінської ситуації комісія повинна включати фахівців, що охоплюють всі ключові аспекти управлінської ситуації, для якої розробляється прогноз.

Розробка прогнозу вимагає чіткого регламентування. Завдання робочої групи полягає в підготовці документації, яка включає рішення щодо проведення прогнозу, склад експертної комісії, графік розробки прогнозу, контракти з залученими фахівцями та інше. Фахівці повинні мати повну інформацію про об'єкт прогнозування. При розробці прогнозу, особливо у випадку багатоваріантного, обробка великого обсягу інформації є необхідною. Тому взаємикористання сучасних інформаційних технологій є необхідним для ефективної роботи над прогнозом.

2. Управлінська ситуація, яку прогнозують, аналізується за допомогою кількісної та якісної інформації. Кількісна інформація використовується для розрахунків, екстраполяції динаміки змін прогнозованих параметрів та визначення найбільш ймовірних тенденцій.

Якісна інформація класифікується та систематизується, а також служить основою для оцінок експертів, а разом з кількісною інформацією використовується для розробки експертних прогнозів. Крім того, проводиться аналіз наявної кількісної інформації, що описує внутрішні умови об'єкта прогнозування. Якщо розроблені математичні, імітаційні, аналогові та інші моделі функціонування об'єкта прогнозування та його внутрішніх умов, то вони враховують необхідні дані і використовуються для розрахунків, що дозволяють оцінити ймовірні зміни внутрішніх умов.

Серед внутрішніх умов, що характеризують розвиток управлінської ситуації, може враховуватися внутрішня середовище об'єкта управління, включаючи структуру, внутрішньоорганізаційні процеси, технології, кадри, організаційну культуру та управління функціональними процесами.

Якщо об'єктом прогнозування є організація, то зовнішні умови можуть характеризувати її загальне зовнішнє і безпосереднє ділове оточення. Загальне зовнішнє оточення відображає стан суспільства, економіки та природного середовища. Безпосереднє ділове оточення включає споживачів, постачальників, ділових партнерів, конкурентів, адміністративні органи, ділові об'єднання та асоціації тощо. Головна мета аналізу внутрішніх і зовнішніх умов функціонування об'єкта управління полягає в ідентифікації основних дійових сил і механізмів, що впливають на його розвиток у прогнозований період.

3. Визначення найбільш ймовірних варіантів розвитку внутрішніх і зовнішніх умов є ключовим завданням розробки прогнозу. Від правильності оцінки цих варіантів залежить точність прогнозу та ефективність прийнятих на його основі рішень. На даному етапі розробки прогнозу, з використанням аналізу отриманої інформації, експертна комісія складає попередній перелік можливих альтернативних варіантів зміни внутрішніх і зовнішніх умов. Після попередньої оцінки виключаються ті альтернативи, що сумнівна їх реалізованість в прогнозований період.

Решта альтернативних варіантів проходять більш глибокий аналіз з метою визначення найбільш ймовірних з них. Кожен відібраний альтернативний варіант детально опрацьовується та представляється для розробки альтернативних варіантів прогнозу розвитку управлінської ситуації.

4. На цьому етапі передбачається визначення та оцінка ключових подій експертами, які очікуються в прогнозованому проміжку часу. Попередній етап розробки прогнозу забезпечує експертів необхідною інформацією для проведення експертизи. Дані про найбільш ймовірні зміни внутрішніх і зовнішніх умов представляються експертам, формулюються ключові питання, на які

потрібно отримати відповіді в результаті експертизи, і визначаються найбільш ймовірні сценарії розвитку подій.

Процедури організації та проведення експертиз вже детально розроблені. Різні формати експертиз можуть бути використані, включаючи одно- і багатотурові, анонімні та відкриті обговорення, обмін інформацією в процесі експертизи та інші.

Для порівняльної оцінки об'єктів і прогнозу кількісних і якісних параметрів можуть використовуватися різноманітні технології, включаючи метод Делфі, метод «мозкової атаки» та інші. Ці технології допомагають систематизувати та враховувати експертні думки для отримання найбільш обґрунтованих прогнозів.

Для складних, комплексних та багатоаспектних об'єктів управління рекомендується використовувати комплексні методи організації та проведення експертизи. В залежності від технологічного рівня, анкети можуть бути підготовлені на паперовому або машинному носії. Використання інформаційних технологій дозволяє проводити експертне оцінювання безпосередньо на моніторі комп'ютера. У діалоговому режимі експертам по черзі виводяться питання, на які вони повинні відповісти.

Також експертну інформацію можна отримати шляхом інтерв'ювання. Це може бути вільне інтерв'ю, але за попередньо визначеним планом, де експерт висловлює свої оцінки та судження, необхідні для розробки прогнозу. При цьому можливий відхід від заздалегідь визначеного плану для отримання більш обґрунтованих оцінок.

Додатково, може застосовуватися метод змішаного анкетування, де в роботі з експертом використовуються як елементи анкетування, так і елементи інтерв'ювання. Такий підхід дозволяє отримати різноманітні та комплексні дані від експертів для розробки прогнозу.

5. Підготовлена інформація, зокрема та, яку надали експерти на попередніх етапах, використовується безпосередньо при розробці прогнозу.

При прийнятті важливих стратегічних рішень рекомендується розглядати як сприятливі, так і несприятливі альтернативні варіанти розвитку подій.

Для прикладу, гітлерівське керівництво перед нападом на СРСР обмежувало себе розглядом лише одного можливого сприятливого сценарію. Відмова враховувати можливість несприятливого розвитку подій призвела до відсутності готовності і резервів, що визначило одну з причин поразки.

На попередніх етапах вже виявлені найбільш ймовірні зміни в основних внутрішніх і зовнішніх умовах, що визначають розвиток подій. Для цих можливих альтернативних варіантів розробляються найбільш ймовірні сценарії розвитку прогнозованих подій. Такий підхід дозволяє підготуватися до різних сценаріїв і враховувати ризики при ухваленні стратегічних рішень.

У процесі розробки прогнозу, коли потрібно оцінити динаміку розвитку кількісних показників і параметрів, використовують отриману на попередніх етапах інформацію та відповідні методи екстраполяції для розрахунку кривих їх змін в прогнозованому проміжку часу.

Але іноді виникає ситуація, коли не вистачає необхідної інформації для застосування кількісних методів екстраполяції, так як може бути відсутність статистичних даних.

У таких випадках єдиним засобом екстраполяції може залишитися метод побудови експертних кривих. Експертні криві відображають оцінку динаміки змін прогнозованих значень показників і параметрів, яку дають експерти. Фахівці в процесі формування експертних кривих визначають критичні точки, де тенденція змін може змінитися під впливом різних факторів. Потім в кожній критичній точці на осі часу оцінюються очікувані значення прогнозованих показників і параметрів, а також характер їх зміни в інтервалі між двома сусідніми критичними точками.

При розробці варіантного прогнозу необхідно здійснити екстраполяцію прогнозованих значень показників і параметрів для різних варіантів вихідних умов та різних можливих альтернативних варіантів динаміки їх змін. Крім екстраполяції прогнозованих значень, особливо при використанні технологій

експертного прогнозування, кожен альтернативний варіант розробленого прогнозу може бути супроводжений детальним описом очікуваного розвитку подій.

6. Щодо оцінки якості прогнозу, це є ключовою проблемою у процесі управлінського прийняття рішень. Ступінь довіри до розробленого прогнозу суттєво впливає на ефективність управлінських рішень. Оцінка якості прогнозу представляє собою складне завдання, яке включає апріорну оцінку в момент розробки прогнозу і апостеріорну оцінку після того, як прогнозована подія вже відбулася.

Якщо керівництво організації не має великого впливу на хід розвитку подій і призначене тільки для спостереження, то після завершення прогнозованого періоду є можливість порівняти спрогнозовані показники і параметри з реальними. Це дозволяє апостеріорно оцінити якість розробленого прогнозу.

У випадку, коли управлінець може впливати на розвиток подій, більш ефективним може бути використання результатів прогнозу. Управлінець може коригувати стратегії впливу на основі очікуваних спрогнозованих значень показників і параметрів, що називається «активним прогнозом». Важливо враховувати, що якщо управлінець змінює управляючі дії після аналізу спрогнозованих значень і впливає на хід подій, це не обов'язково вказує на неточність розробленого прогнозу, а може свідчити про вплив самого управління на ситуацію.

Отже, розглянемо процес розробки підсистеми прогнозування на основі моделей машинного навчання технологічної лінії приготування хлібо-булочних виробів.

Для тренування моделі використовується набір даних, що складається з фотографій хлібобулочних виробів, класифікованих як «хороші» та «погані». Ці фотографії включають різні види виробів, їх зовнішній вигляд, текстуру, та інші характеристики, які необхідно контролювати. Фотографії були розбиті на категорії з метою позначення ключових особливостей чи дефектів зображення.

Це може включати визначення областей, де присутні дефекти (наприклад, пліснява, нерівномірне випікання і т. д.), а також оцінку якості.

При цьому, дані були попередньо оброблені, включаючи масштабування зображень, приведення їх до єдиного розміру, аугментацію даних (генерацію додаткових зображень шляхом зміни освітлення, кутів огляду для збільшення вхідних даних), та поділ на навчальну та тестову вибірки.

На фото зображені хлібобулочні вироби, на яких навчався штучний інтелект. Класифікувались вони за «хорошими» – 1, та «поганими» – 0.



Рис. 4.2. Вхідні данні

2. Навчання та оцінка моделей

Оскільки задача полягає у класифікації зображень, використовуються алгоритми глибокого навчання, такі як конволюційні нейронні мережі (CNN).

Конволюційні, або згорткові, нейронні мережі є модифікацією багатошарових перцептронів, які успішно застосовуються для роботи з зображенням: класифікації, кластеризації та проведення ідентифікації об'єктів на зображенні.

Алгоритм роботи описаний нижче.

1. **Введення зображення.** На вхід мережі подається зображення. Зображення представлено у вигляді масиву пікселів.

2. **Згорткові шари.** Основою ЗНМ є згорткові шари. Вони використовують фільтри, які «проходять» по зображенню, виконуючи операцію згортки. Це означає, що вони агрегують інформацію з різних областей зображення, виділяючи важливі особливості, такі як краї, кути, текстури.

3. **Функція активації.** Після згортки до результатів часто застосовується активаційна функція, наприклад ReLU (Rectified Linear Unit), яка додає необхідну нелінійність у модель, дозволяючи їй вчитися складніші патерни.

4. **Pooling (зведення).** Цей шар використовується для зменшення розмірності вихідних даних з попередніх шарів, що допомагає зменшити кількість параметрів і обчислювальну складність, а також контролює перенавчання. Найпопулярніші типи пулінгу – це max pooling і average pooling.

5. **Повнозв'язні шари.** Після декількох згорткових та пулінгових шарів, архітектура ЗНМ зазвичай включає один або декілька повнозв'язних шарів (аналогічних до традиційних нейронних мереж), де всі нейрони з попереднього шару з'єднані з кожним нейроном цього шару. Ці шари використовуються для класифікації або регресії на основі виявлених особливостей.

6. **Вихід.** На виході мережі зазвичай знаходиться Dense шари для класифікації та регресії. У контексті глибокого навчання вони використовуються після послідовності інших типів шарів для синтезу вивчених ознак у корисні передбачення або класифікації.

Основна мета конволюційних нейронних мереж – це перетворення зображень на більш просту для аналізу форму без втрати важливих деталей, необхідних для точного прогнозування. При цьому, хоча вони працюють з зображеннями великого розміру, такі мережі мають відносно малу кількість параметрів, які потребують налаштування.

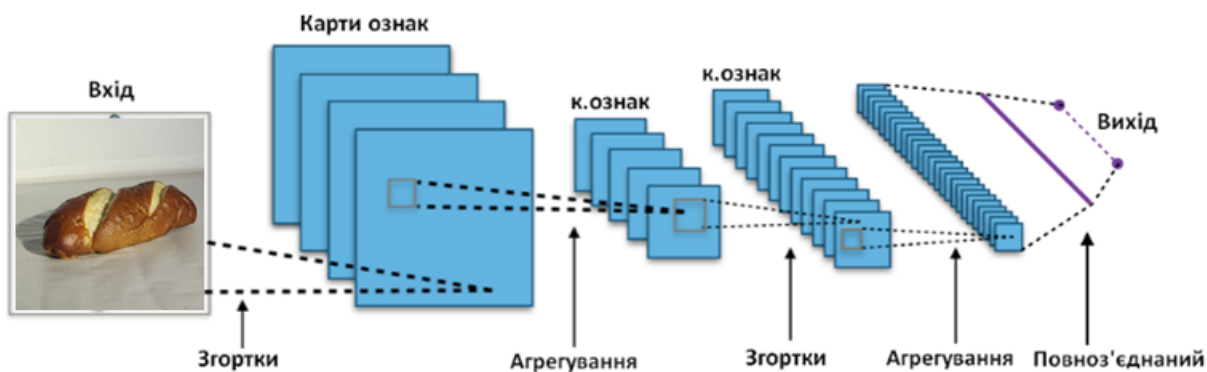


Рис. 4.3. Архітектура згорткової нейронної мережі

Для тренування було створено модель згорткової нейронної мережі (СНР) з використанням TensorFlow та Keras. Модель призначена для роботи із зображеннями розміром 180x180 пікселів та 3 каналами кольору (RGB). У цій моделі були використані наступні шари:

1. **Rescaling**. Цей шар нормалізує вхідні пікселі зображення, ділячи їх на 255. Це перетворює значення пікселів із діапазону $[0, 255]$ у діапазон $[0, 1]$, що зазвичай сприяє більш ефективному навчанню моделі.

2. **RandomFlip**. Цей шар застосовує випадкове горизонтальне перевертання (зеркальне відображення) до зображень. Це форма аугментації даних, яка допомагає зменшити перенавчання, оскільки модель навчається на трохи різних версіях кожного зображення.

3. **Згорткові шари (Conv2D)**. У моделі є три згорткові шари з 16, 32 та 64 фільтрами відповідно, кожен розміром 3x3. `padding='same'` означає, що розмір виходу буде однаковим, як і розмір входу, додаючи падінги, якщо це необхідно. Функція активації 'relu' використовується для введення нелінійності в модель.

4. **MaxPooling2D**. Кожен із згорткових шарів слідує за шаром максимального пулінгу, який зменшує просторовий розмір вихідних даних, допомагаючи зменшити обчислювальну складність та перенавчання.

5. **Flatten**. Цей шар перетворює двовимірні вихідні дані згорткових та пулінгових шарів у одновимірний вектор. Це необхідно для подачі даних у повнозв'язні (Dense) шари.

6. **Повнозв'язні шари (Dense).** Після Flatten шару є повнозв'язний шар з 128 нейронами (з активаційною функцією 'relu'), за яким слідує вихідний повнозв'язний шар, кількість нейронів якого відповідає кількості класів.

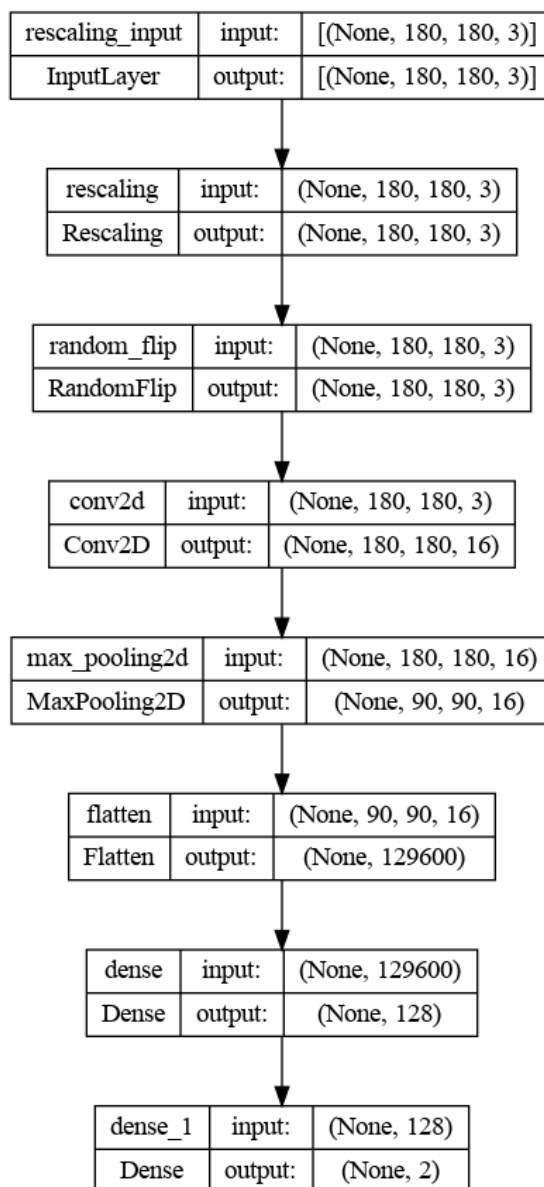


Рис. 4.4. Архітектура нейромережі

Для візуалізації, трансформації вхідних даних під час проходження через модель було взято випадкове зображення з навчального набору, та згенеровано фігуру, де кожен рядок є результатом шару, а кожне зображення в рядку є спеціальним фільтром у цій вихідній карті функцій.

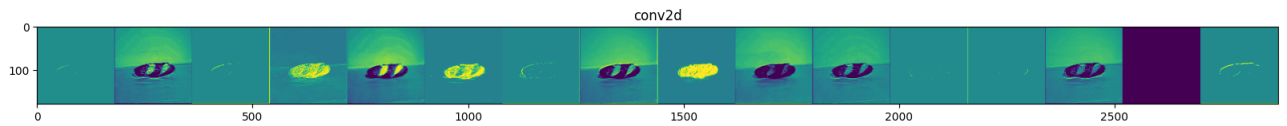


Рис. 4.5. Шар conv2d

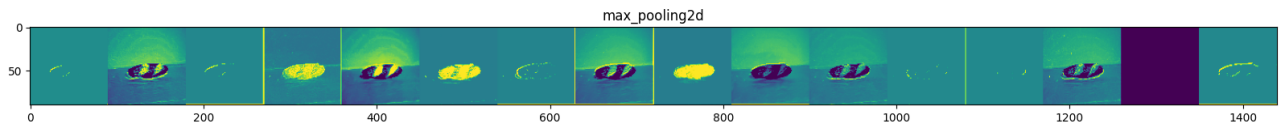


Рис. 4.6. Шар max_pooling2d

Графік результату навчання показано на рис. 4.7, де позначено, що синій критерій відповідає за точність тренування, а помаранчевий – точність валідації.

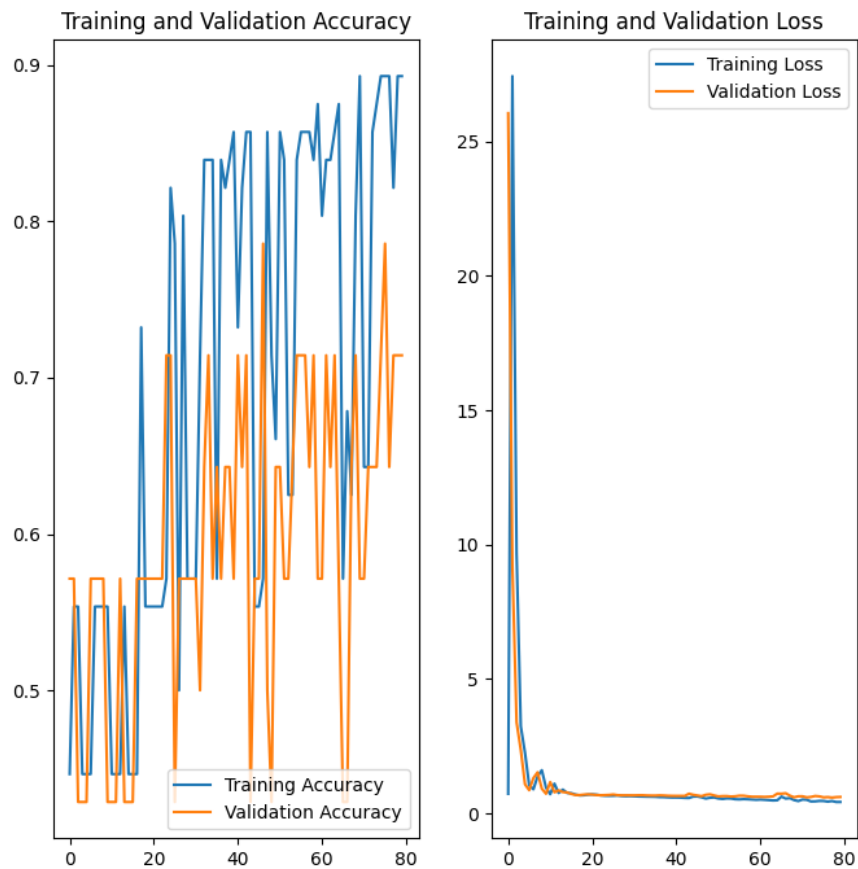


Рис. 4.7. Результат навчання

Ефективність моделі на тестовому наборі даних становить менше 80% точності. Ця продуктивність є недостатньою, тому будемо вдосконалити архітектуру нейронної мережі, щоб досягти кращих показників.

Спробуємо додати більше шарів з більшою кількістю фільтрів, та змінимо значення Dense.

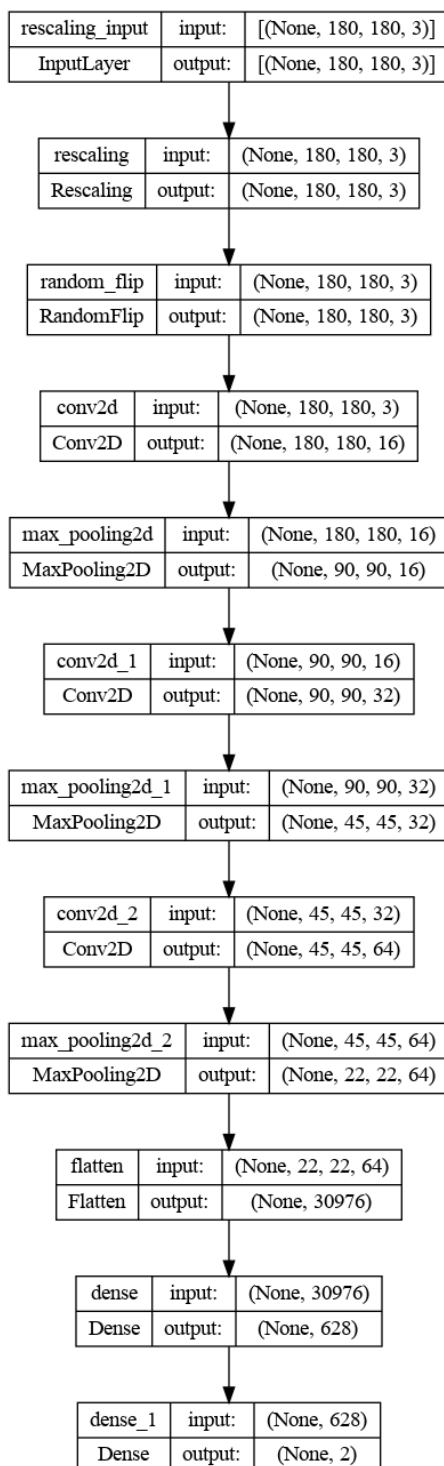


Рис. 4.8. Нова архітектура нейромережі

Після змін, внесених у нейромережу, її точність на тестових даних складає 93%, тоді як на тренувальному наборі – 95%. Модель демонструє кращі результати на тренувальному наборі порівняно з тестовим. Проте, відстань між цими двома показниками значно зменшилася.

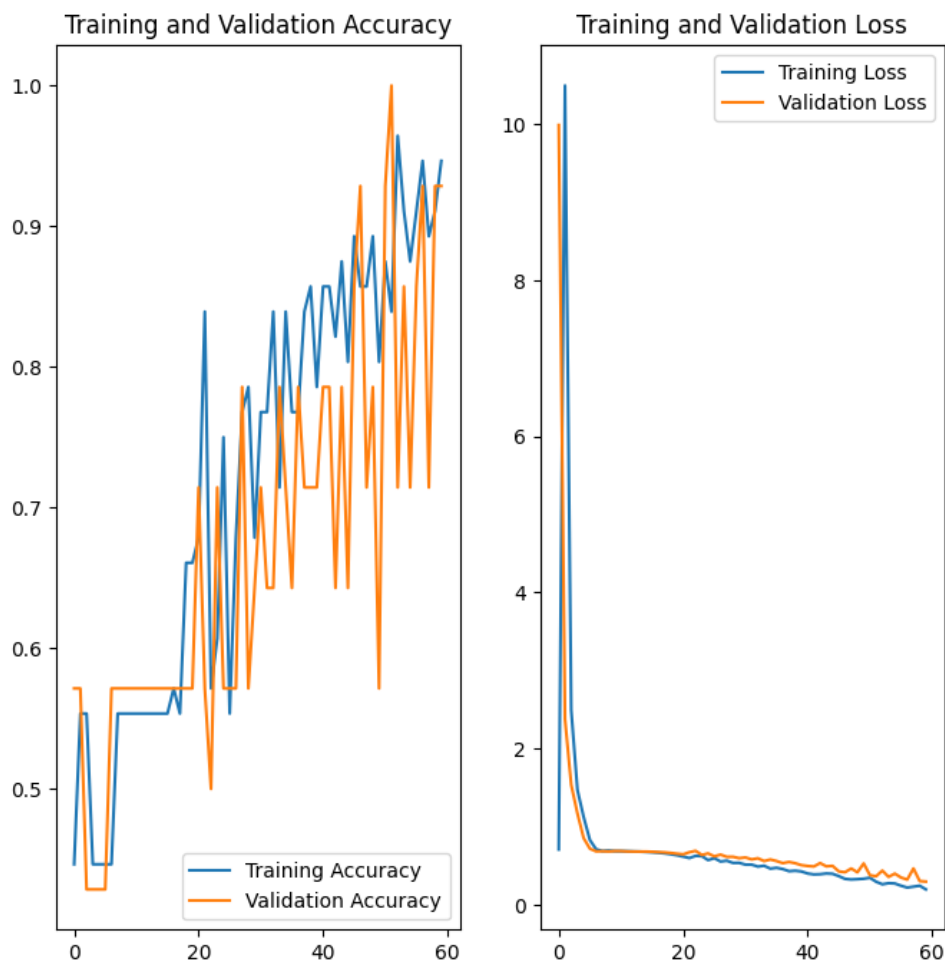


Рис. 4.9. Новий графік навчання

На рис 4.10 зображено графік зі збільшеною кількістю епох тренування до 150, щоб визначити оптимальну кількість ітерацій для тренування моделі. Згідно з графіком, модель з часом демонструє покращення результатів на тренувальному наборі даних. Однак, після 80 епохи на тестовому наборі не спостерігається значних покращень, що вказує на посилення перенавчання моделі. Тому можна зробити висновок, що оптимальне значення — 60 епох.

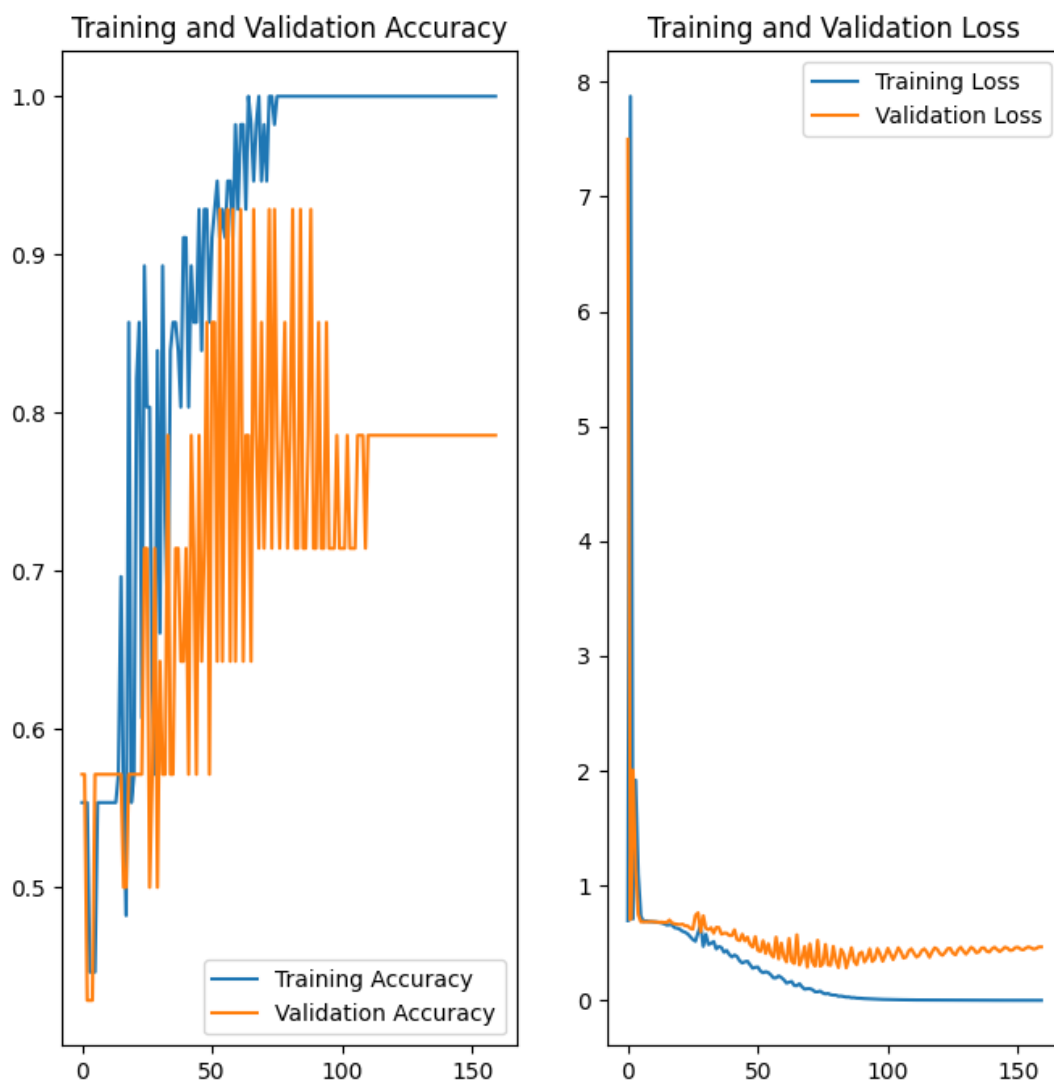


Рис. 4.10. Графік навчання (150 epoch)

3. Валідація та тестування моделі

Після тренування модель піддається валідації та тестуванню за допомогою незалежних даних, щоб оцінити її точність, чутливість та специфічність.

4. Впровадження моделей на виробництві

Після успішного навчання та оцінки моделей вони будуть впроваджені на виробництві для автоматичного контролю якості хлібо-булочних виробів. Це може включати використання камер і обладнання для захоплення зображень в реальному часі і аналізу за допомогою навчених моделей. Система може бути налаштована на автоматичне відхилення продукції низької якості або надання сповіщень операторам.

Важливим етапом є моніторинг роботи моделей на виробництві та їх обслуговування. Це включає періодичну перевірку та оновлення моделей, щоб вони залишалися актуальними та ефективними.

Машинне навчання на основі фотографій хлібобулочних виробів може значно покращити контроль якості на виробництві, автоматизувати процеси та зменшити ймовірність поганої продукції.

При розробці та впровадженні систем на основі штучного інтелекту важливо звертати увагу на етичні аспекти, включаючи прозорість використання даних та забезпечення приватності. Також важливо враховувати можливість помилкових класифікацій та забезпечувати наявність контролю над критичними рішеннями.

Отже, в роботі було розроблено штучну нейронну мережу на основі мови програмування Python, з використанням бібліотеки машинного навчання TensorFlow та Keras. Крім того, проведено дослідження роботи моделі з різними параметрами та вибрані найкращі за ознакою точності показників мережі на тестових даних. Кінцева ефективність роботи дорівнює 93%.

Розробка та інтеграція підсистеми прогнозування на основі моделей машинного навчання для класифікації хлібобулочних виробів є важливим кроком у підвищенні ефективності та якості виробництва. Використання штучного інтелекту в цьому контексті не лише оптимізує виробничі процеси, але й відкриває нові можливості для подальших інновацій у галузі.

ВИСНОВКИ

В процесі дослідження в роботі була розроблена інтегрована система автоматизованого управління, яка використовує новітні технології мікропроцесорів та засоби автоматизації, такі як контролери та ПЕОМ. Впровадження передових технічних засобів дозволило вимірювати параметри виконавчих механізмів та регулюючого органу з високою точністю.

Також пошук відповідей на питання стосовно автоматизації системи дало можливість створити докладну характеристику об'єкта, побудувати ефективну схему автоматизації та розробити проектне компонування мікропроцесорного контролера разом із схемою підключення датчиків та виконавчих механізмів.

Система управління пічним відділенням, реалізована з використанням програмного забезпечення SCADA/HMI, забезпечує зручний та ефективний інтерфейс для спостереження та керування процесами у чотирьох відділеннях.

Використання популярного мікропроцесорного контролера Schneider Electric у системі гарантує надійний зв'язок між контролерами відділень та взаємодію технологічних параметрів. Загальною метою цього проекту є підвищення ефективності та автоматизації виробничих процесів, що в сукупності сприяє покращенню якості та продуктивності системи управління.

Подальший аналіз та розвиток цієї інтегрованої системи управління можуть спрямовуватися на пошук можливостей для оптимізації роботи відділень. Вдосконалення алгоритмів регулювання та взаємодії між контролерами може підвищити точність та швидкість реакції системи на зміни параметрів виробничого процесу.

Додатково, важливо розглядати можливості розширення функціоналу системи, такого як впровадження системи моніторингу та прогнозування для передбачення можливих проблем та вдосконалення обслуговування. Застосування штучного інтелекту та аналізу даних може покращити прогностичні можливості та ефективність управління ресурсами.

Крім того, забезпечення додаткових заходів безпеки та захисту даних може стати актуальним, особливо в контексті зростання кількості зв'язку між відділеннями та обміну важливою інформацією між контролерами.

Загалом, продовження розробки та вдосконалення інтегрованої системи управління відкриває широкі можливості для підвищення продуктивності, надійності та гнучкості виробничих процесів. Постійний моніторинг та апгрейди дозволяють системі залишатися відповідною до вимог і забезпечувати оптимальну функціональність у змінних умовах виробництва.

У роботі успішно розроблено штучну нейронну мережу, яка базується на мові програмування Python та використовує бібліотеки машинного навчання, такі як TensorFlow та Keras. Проведено детальне дослідження роботи моделі з різними параметрами, в результаті чого відібрані оптимальні параметри, призначені для досягнення максимальної точності на тестових даних. Зафіксована кінцева ефективність системи на рівні 93%.

Реалізація та інтеграція підсистеми прогнозування, що базується на моделях машинного навчання для класифікації хлібобулочних виробів, представляє значущий крок у поліпшенні якості та ефективності виробництва. Використання штучного інтелекту в цьому контексті не тільки оптимізує процеси виробництва, але також відкриває перспективи для подальших інновацій у цій галузі. Цей підхід сприяє не лише оптимізації існуючих процесів, але й відкриває двері для розвитку нових технологій та підходів у сфері виробництва хлібобулочних виробів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Бабіченко А.К. Промислові засоби автоматизації / А.К. Бабіченко. – Харків.: НТУ «ХПІ», 2001. – 470 с.
2. Барало О.В., Самойленко П.Г., Гранат С.Є. Автоматизація технологічних процесів і системи автоматичного керування. – Київ.: Навчальний посібник, Аграрна освіта, 2010. – 245 с.
3. Береза А.М. Основи створення інформаційних систем: навч. посіб. / А.М. Береза. – 2 вид., перероб. і доп. – К.: КНЕУ, 2001. – 214 с.
4. Благовіщенська М.М. Інформаційні технології систем керування технологічними процесами: Навч. посіб. / Благовіщенська М.М., Злобін Л.А. – К.: Вища школа, 2005. – 768 с.
5. Братушка С.М. Системи підтримки прийняття рішень : навчальний посібник для самостійного вивчення дисципліни / уклад.: С.М. Братушка, С.М. Новак, С.О. Хайлук; Державний вищий навчальний заклад «Українська академія банківської справи Національного банку України». – Суми : ДВНЗ «УАБС НБУ», 2010. – 265 с.
6. Бухкало С.І. Загальна технологія харчової промисловості у прикладах і задачах. К. : Центр навчальної літератури, 2018. – 108 с.
7. Вовк В.М. Моделювання інноваційного розвитку потенціалу економіко-виробничих систем : монографія / В.М. Вовк, В.Б. Антонів, Н.І. Камінська. – Львів : ЛНУ імені Івана Франка, 2014. – 388 с.
8. Вовк В.М. Оптимізаційні методи і моделі : навч. посібник / В.М. Вовк, Л.М. Зомчак. – Львів : ВЦ ЛНУ імені Івана Франка, 2013. – 318 с.
9. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів: підручник для студ. ВНЗ / Б.М. Гончаренко, С.І. Осадчий, Л.Г. Віхрова, В.М. Каліч, О.К. Дідик. – Кіровоград : Лисенко В.Ф., 2016. – 352 с.
10. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій : підручник / Б.М. Гончаренко, А.П. Ладанюк. – К. : НУХТ, 2014. – 530 с.

11. Демиденко М.А. Системи підтримки прийняття рішень : навч. посіб. / М.А. Демиденко; Нац. гірн. ун-т. – Електрон. текст. дані. – Д. : 2016. – 104 с.
12. Домарецький В.А., Остапчук М.В., Українець А.І. Технологія харчових продуктів: підручник / за ред. д.т.н., проф. А.І.Українця.– К.: НУХТ, 2003.– 572 с.
13. Ельперін І.В. Автоматизація виробничих процесів: підручник / І.В. Ельперін, О.М. Пупена, В.М. Сідлецький, С.М. Швед. — К. : Видавництво Ліра-К, 2015. — 378 с.
14. Ельперін І.В. Промислові контролери : навч. посіб. / І.В.Ельперін – К.: НУХТ, 2003. – 320 с.
15. Зайченко Ю.П. Основи проектування інтелектуальних систем / Ю.П. Зайченко – К.: Видавничий дім «Слово», 2004. – 352 с.
16. Зігунов О.М. Технологічний моніторинг під час сценарного управління виробничими процесами / Зігунов О.М., Кишенько В.Д. // Вісник НТУ «ХП». Серія «Нові рішення у сучасних технологіях». – Харків: НТУ «ХП», 2012. – № 44(950). – С. 25 – 36.
17. Кишенько В.Д. Задачі технологічного моніторингу в системах керування виробничими процесами технологічних комплексів // Автоматизація виробничих процесів, 2006.- №2(23) – С 48-52.
18. Козлов Г.Ф. Системний аналіз технологічних процесів на підприємствах харчової промисловості / Г.Ф. Козлов, Н.В. Остапчук, В.В. Щербатенко; Техніка. – К.: Техніка, 1977. – 199 с.
19. Контролери та їх програмне забезпечення: Метод. вказівки до виконання курс. проекту для студ. спец. 6.092500 «Автоматизоване управління технологічними процесами» і «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси і виробництва» ден. та заоч. форм навчання /Уклад.: І.В. Ельперін, О.М. Пупена, М.Д. Місюра, С.М. Швед – К.: НУХТ, 2008. – 36 с.

20. Коротиков С.В. Застосування кольорових ієрархічних мереж Петрі для верифікації UML – діаграм на етапі аналізу вимог до системи дистанційного контролю та управління / С.В. Коротиков // Збірник наукових праць НДТУ, 2007. – № 1(47). – С. 81–92.

21. Ладанюк А.П. Методи сучасної теорії управління: Навч. посіб. / А.П. Ладанюк, В.Д. Кишенько, Н.М. Луцька, В.В. Івашук. – К., НУХТ, 2010. – 196 с.

22. Ладанюк А.П. Системний аналіз складних систем керування: Навч. посіб. / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць, І.В. Ельперін. – К.: НУХТ, 2013. – 274 с. – URL: <https://dspace.nuft.edu.ua/items/80aa2cec-be68-473f-9588-90bad450ef8f>

23. Ладанюк А.П. Системний аналіз складних систем управління. Практикум: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Я.В. Смітюх, Л.О. Власенко, Н.А. Заєць, І.В., Ельперін. – К.: НУХТ, 2014. – 157 с.

24. 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.: Вид-во Ліра-К, 2016. – 312 с.

25. Ладанюк А.П. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами: навчальний посібник / А.П. Ладанюк, Архангельська К.С., Власенко Л.О. – К.: НУХТ, 2014. – 274 с.

26. Ладанюк А.П., Кишенько В.Д. Математичне моделювання нестационарних режимів технологічних комплексів// Харчова промисловість, 2004, № 3. – С. 160-162.

27. Ладанюк, А.П. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості : підручник / А. П. Ладанюк, Трегуб В.Г., Ельперін І.В. – К. : Аграрна освіта, 2001. – 224 с.

28. Линьов К.О. Теорія і практика прийняття управлінських рішень / К.О. Линьов, А.С. Крупник / Навч. посіб. – К. : Виданичий дім «ПРОСТІР», 2007. – 156 с.

29. Літнарівич Р.М. Побудова і дослідження математичної моделі за джерелами експериментальних даних методами регресійного аналізу. Навчальний посібник / Р. М. Літнарівич. – Рівне: МЕНУ. – 2011. – 140 с.

30. Лукінюк М.В. Автоматизація типових технологічних процесів: технологічний об'єкти керування та схеми автоматизації: навч. посіб. для студ. вищ. навч. закл., які навчаються за напрямом «Автоматизація і комп'ютер.-інтегр. технології» / М.В. Лукінюк. – К.: НТУУ «КПІ», 2008. – 236 с.

31. Луцька Н.М. Дослідження та синтез оптимальних регуляторів для систем автоматизації технологічних комплексів неперервного типу: автореф. дис. – К.: НУХТ, 2006. – 16 с.

32. Луцька Н.М. Оптимальні та робастні системи керування технологічними об'єктами: монографія / Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. – Київ: Видавництво Ліра-К. 2016. – 288 с.

33. Луцька Н.М. Сучасні технології проектування інтелектуальних систем керування конспект лекцій для здобувачів освітнього ступеня «Магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньо-професійної програми «Інтелектуальні комп'ютерні системи керування» денної та заоч. форм навчання / Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк К.: НУХТ, 2019. – 117 с.

34. Людино-машинні інтерфейси: Метод. вказ. до викон. курсової роботи для студ. напряму 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. форм навч. / Уклад.: В.М. Кушков. – К.: НУХТ, 2010. – 15 с.

35. Майборода Р.Є. Аналіз даних за допомогою пакета R: Навчальний посібник / Р.Є. Майборода, О.В. Сугакова. – Київ: СамВидав, 2015. – 65 с.

36. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Комп'ютерні технології та програмування в автоматизованих системах управління» денної та заочної форм навчання / Уклад.: О.М. Пупена, І.В. Ельперін, В.Г. Трегуб. – К. : НУХТ, 2019. – 37 с.

37. Методичні рекомендації до виконання магістерської роботи зі спец. 8.05020201 «Автоматизоване управління технологічними процесами» та 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. – 15 с.

38. Мірошник В.О. Оптимізація процесів переробки сільськогосподарської сировини: монографія / В.О. Мірошник, М.А. Гачковська, В.Д.Кишенько, О.В. Грабовська.– К.:ЦП “Компринт”, 2019.– 479 с.

39. Нестеренко О.В. Інтелектуальні системи підтримки прийняття рішень: навч. посібн./ О.В. Нестеренко, О.І. Савенков, О.О. Фаловський. За ред. П.І. Бідюка. – Київ: Національна академія управління. - 2016. – 188 с.

40. Основи проектування систем автоматизації з елементами САПР. Метод. вказівки до практичних занять для студ. напряму «Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. форм навч./ Уклад.: В.Г. Трегуб. – К.: НУХТ, 2008. – 67 с.

41. Петруня Ю.Є. Прийняття управлінських рішень : навчальний посібник / Ю.Є. Петруня, Б.В. Літовченко, Т.О. Пасічник та ін.; за ред. Ю.Є. Петруні. –Дніпропетровськ: Університет митної справи та фінансів, 2015. – 209 с.

42. Присенко Г.В. Прогнозування соціально-економічних процесів / Г.В. Присенко, Є.І. Равікович / Навч. Посіб. – К. : КНЕУ, 2005. – 378 с.

43. Про КРІ та ОЕЕ. Загальні розрахунки згідно ISO 22400-2. – URL: Режим доступу: <http://www.slideshare.net/pupenasan/kpi-oee>.

44. Проектування комп'ютерно-інтегрованих систем: Метод. вказівки до викон. курс. проекту для студ. спец. 7.05020202 «Комп'ютерно-інтегровані технологічні процеси та виробництва» ден. та заоч. форм навч./ Уклад.: О.М. Пупена – К.: НУХТ, 2011. – 45 с.

45. Пупена О.М. Інтеграція систем управління / О.М. Пупена, І.В. Ельперін. //Харчова і переробна промисловість. – 2005. – №1. – С. 9-11.

46. Пупена О.М. Програмування промислових контролерів у середовищі UnityPro: навчальний посібник / О.М. Пупена, І. В. Ельперін. — Київ : Ліра К, 2015. — 376 с.

47. Пупена О.М. Промислові мережі та інтеграційні технології в автоматизованих системах: Навч. посібник / О.М. Пупена, І.В. Ельперін, Н.М. Луцька, А.П. Ладанюк. — К.: Ліра-К, 2011. — 552 с.

48. Пупена О.М.: Автоматизовані системи управління виробництвом (MES-рівень): курс лекцій для студ. освіт. ст. «магістр» спец. «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. — 135 с.

49. Пушкар О.І. Системи підтримки прийняття рішень: навч. посібник / О.І. Пушкар, В.М. Гіковатий, О.С. Євсєєв, Л.В. Потрашкова; ред. О.І. Пушкар. — Харків : Інжек, 2006. — 304 с.

50. Романов М.С. Синергетичні основи сталого інноваційного розвитку харчової промисловості: концептуальний підхід, наукове видання / М.С. Романов. — К.: НУХТ, 2019. — 71 с.

51. Ситник В.Ф. Системи підтримки прийняття рішень: Навч. посіб. — К.: КНЕУ, 2003. — 624 с.

52. Ситник В.Ф. Основи інформаційних систем: Навч. посібник. — Вид. 2-ге, перероб. і доп. / В.Ф. Ситник, Т.А. Писаревська, Н.В. Єрьоміна, О.С. Краєва; за ред. В.Ф. Ситника. — К.: КНЕУ, 2001. — 420 с.

53. Сявавко М. Інформаційна система «Нечіткий експерт» / М. Сявавко. — Львів : Вид. центр ЛНУ ім. Івана Франка, 2007. — 318 с.

54. Томашевський О.М. Інформаційні технології та моделювання бізнес-процесів: навч. посібн. / О.М. Томашевський, Г.Г. Цегелик, М.Б. Вітер, В.І. Дудук. — К. : Центр учбової літератури, 2015. — 296 с.

55. Трегуб В.Г. Проектування, монтаж та експлуатація систем автоматизації: Навч. посібник – К.: НМК ВО, 1990. – 80 с.
56. Трегуб В.Г. Автоматизація об'єктів періодичної дії: Підручник / В.Г. Трегуб. – К.: Ліра-К, 2016. – 136 с.
57. Трегуб В.Г. Основи комп'ютерно-інтегрованого управління: Навч. пос. / В.Г. Трегуб – К.: НУХТ, 2006. – 175 с.
58. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації галузі: Метод. рекомендації до викон. курс. проекту для студ. освітнього ступеня «магістр» спец. 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» спеціалізації «Інтелектуальні комп'ютерні системи керування» ден. форм навч. / уклад.: Трегуб В.Г., Луцька Н.М., А.П. Ладанюк. – К.: НУХТ, 2017. – 48 с.
59. Трегуб В.Г. Проектування систем автоматизації: Навч. посібник / В.Г. Трегуб. – К.: Ліра-К, 2014. – 344 с.
60. Ямпольський Л.С. Нейротехнології та нейросистеми: монографія / Л.С. Ямпольський. – К. : Дорадо-Друк, 2015. 508 с.

ДОДАТКИ

Код програми для навчання моделі розпізнавання образів

```
import tensorflow as tf,os
from tensorflow import keras
from tensorflow.keras import layers
from tensorflow.keras.models import Sequential
import matplotlib.pyplot as plt
import numpy as np
import random
from tensorflow.keras.utils import img_to_array, load_img

image_size = (180, 180)
batch_size = 128
datasetf="bulka"

train_ds_fd, val_ds_fd = tf.keras.utils.image_dataset_from_directory(
    datasetf,
    validation_split=0.2,
    subset="both",
    seed=1337,
    image_size=image_size,
    batch_size=batch_size,
)

train_ds = train_ds_fd.cache().shuffle(1000).prefetch(tf.data.AUTOTUNE)
val_ds = val_ds_fd.cache().prefetch(tf.data.AUTOTUNE)

def make_model(input_shape, num_classes):
    return Sequential([
        layers.Rescaling(1./255, input_shape=input_shape),
        layers.RandomFlip("horizontal", input_shape=input_shape),
        layers.Conv2D(16, 3, padding='same', activation='relu'),
        layers.MaxPooling2D(),
        layers.Conv2D(32, 3, padding='same', activation='relu'),
        layers.MaxPooling2D(),
        layers.Conv2D(64, 3, padding='same', activation='relu'),
        layers.MaxPooling2D(),
        layers.Flatten(),
```

```

layers.Dense(628, activation='relu'),
layers.Dense(num_classes),
])

model = make_model(input_shape=image_size + (3,), num_classes=2)
# model.summary()
successive_outputs = [layer.output for layer in model.layers]
visualization_model = tf.keras.models.Model(inputs = model.input, outputs = successive_outputs)
img_path = random.choice(train_ds_fd.file_paths)
img = load_img(img_path, target_size=image_size)
x = img_to_array(img)
x = x.reshape((1,) + x.shape)

x /= 255.0

successive_feature_maps = visualization_model.predict(x)

layer_names = [layer.name for layer in model.layers]

for layer_name, feature_map in zip(layer_names, successive_feature_maps):
    if len(feature_map.shape) == 4:
        n_features = feature_map.shape[-1]
        size = feature_map.shape[1]

        display_grid = np.zeros((size, size * n_features))

        for i in range(n_features):
            x = feature_map[0, :, :, i]
            x -= x.mean()
            x /= x.std ()
            x *= 64
            x += 128
            x = np.clip(x, 0, 255).astype('uint8')
            display_grid[:, i * size : (i + 1) * size] = x # Tile each filter

scale = 20. / n_features
plt.figure(figsize=(scale * n_features, scale) )
plt.title ( layer_name )
plt.grid ( False )

```

```

plt.imshow( display_grid, aspect='auto', cmap='viridis' )
plt.savefig(layer_name+'.png', bbox_inches='tight')

keras.utils.plot_model(model, show_shapes=True)

epochs = 80
model.compile(optimizer='adam',
              loss=tf.keras.losses.SparseCategoricalCrossentropy(from_logits=True),
              metrics=['accuracy'])
# exit()
history=model.fit(
    train_ds,
    epochs=epochs,
    validation_data=val_ds,
)
model.save('my_model.keras')
acc = history.history['accuracy']
val_acc = history.history['val_accuracy']

loss = history.history['loss']
val_loss = history.history['val_loss']

epochs_range = range(epochs)

plt.figure(figsize=(8, 8))
plt.subplot(1, 2, 1)
plt.plot(epochs_range, acc, label='Training Accuracy')
plt.plot(epochs_range, val_acc, label='Validation Accuracy')
plt.legend(loc='lower right')
plt.title('Training and Validation Accuracy')

plt.subplot(1, 2, 2)
plt.plot(epochs_range, loss, label='Training Loss')
plt.plot(epochs_range, val_loss, label='Validation Loss')
plt.legend(loc='upper right')
plt.title('Training and Validation Loss')
plt.savefig('traingraf.png', bbox_inches='tight')

```

Перв. примен.

Справ. №

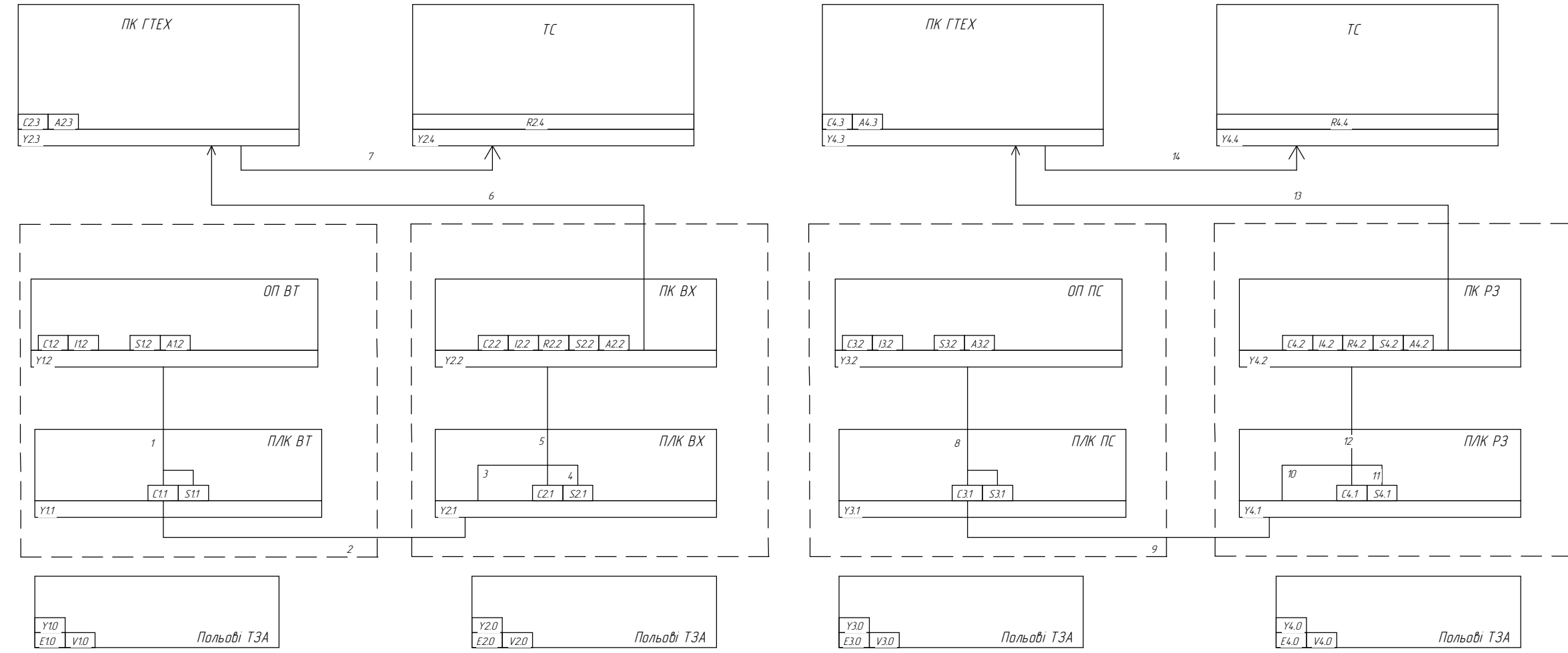
Подп. и дата

Инв. № д-д-д-д

Взам. инв. №

Подп. и дата

Инв. № подл.



3-ий рівень управління виробництвом

2-ий рівень SCADA/HMI

1-ий рівень контролерів

0-ий рівень польових засобів

ВІДДІЛЕННЯ ТІСТОПРИГОТУВАННЯ	ВІДДІЛЕННЯ ВИПІЧКИ (ПІЧ)	ВІДДІЛЕННЯ ПІДГОТОВКИ СИРОВИНИ	ВІДДІЛЕННЯ РОЗСТОЮВАННЯ (ВИСТОЮВАННЯ)
Виробництво хліба			

Позначення	Найменування
Польові ТЗА	технічні засоби автоматизації, які відносяться до польового рівня
ПК ГТЕХ	персональний комп'ютер головного технолога
ТС	технологічний сервер виробництва хліба
ПЛК ВТ	мікропроцесорний контролер відділення тістопріготування
ПЛК ВХ	мікропроцесорний контролер відділення випікання
ПЛК ПС	мікропроцесорний контролер відділення підготовки сировини
ПЛК РЗ	мікропроцесорний контролер відділення розстойки
ОП ВТ	операторська панель у тістопріготувальному відділенні
ОП ПС	операторська панель у розстоювальному відділенні
ПК ВХ	АРМ оператора пічного відділення (на базі комп'ютера)
ПК РЗ	АРМ оператора розстоювального відділення (на базі комп'ютера)
E1.0, E2.0, E3.0, E4.0	вимірвальне перетворення
V1.0, V2.0, V3.0, V4.0	управління технологічним обладнанням та виконавчими механізмами
Y1.0, Y1.1, Y1.2, Y2.0, Y2.1, Y2.2, Y3.0, Y3.1, Y3.2, Y4.0, Y4.1, Y4.2, Y2.3, Y2.4, Y4.3, Y4.4	перетворення та обробка інформації
C1.1, C2.1, C3.1, C4.1	автоматизоване регулювання, управління технологічним процесом
C1.2, C2.2, C3.2, C4.2, C2.3, C4.3	дистанційне управління, формування завдань, настройка регуляторів
S1.1, S2.1, S3.1, S4.1	автоматизоване включення, відключення, переключення, блокування, запуск задач
S1.2, S2.2, S3.2, S4.2	дистанційне включення, відключення, переключення, блокування, запуск задач, зміна режимів роботи регуляторів
I1.2, I2.2, I3.2, I4.2	відображення для контролю за технологічним процесом
R2.2, R4.2	реєстрація параметрів технологічного процесу
R2.4, R4.4	реєстрація основних виробничих параметрів
A1.2, A2.2, A3.2, A4.2	контроль стану обладнання, технологічна сигналізація
A2.3, A4.3	контроль виробничих параметрів, контроль якості виробництва

Кваліфікаційна робота			
Спеціальність 151 "Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології"			
Изм. / Лист	№ док-м.	Подп.	Дата
Розроб.	Савченко М.О.		
Керівник	Луцька Н.М.		
Забкафедри	Смітюх Я.В.		
Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління технологічної лінії приготування хліба-булочних виробів з з підсистемою прогнозування на основі моделей машинного навчання			Лит. / Масса / Масштаб
			Лист 1 / Листов 9
Схема функціональної структури (С1)			НУХТ ІА 2-2М
Копіювал			Формат А3

Перв. примен.
Справ. №

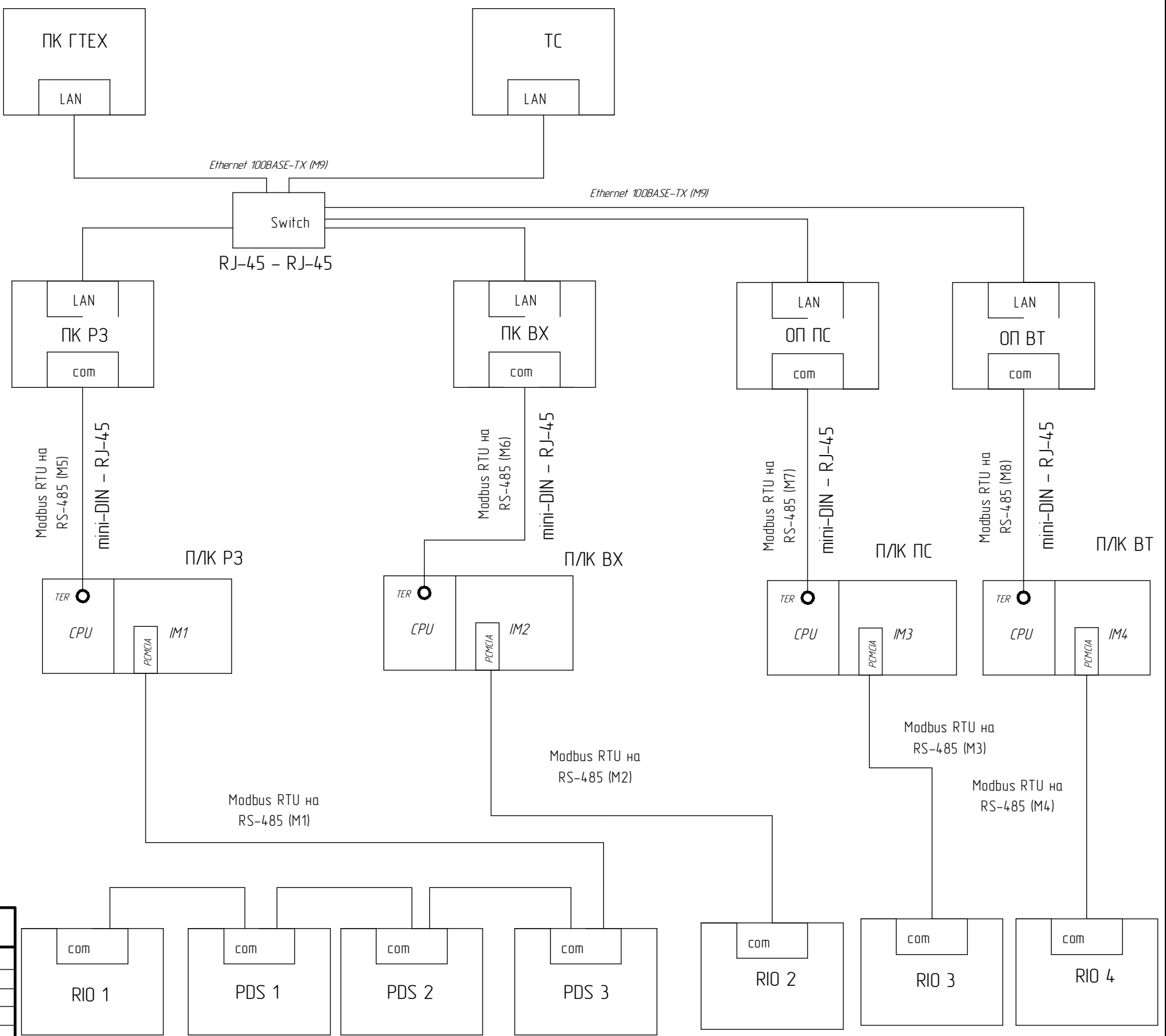
Подп. и дата

Инв. № дцкл.

Взам. инв. №

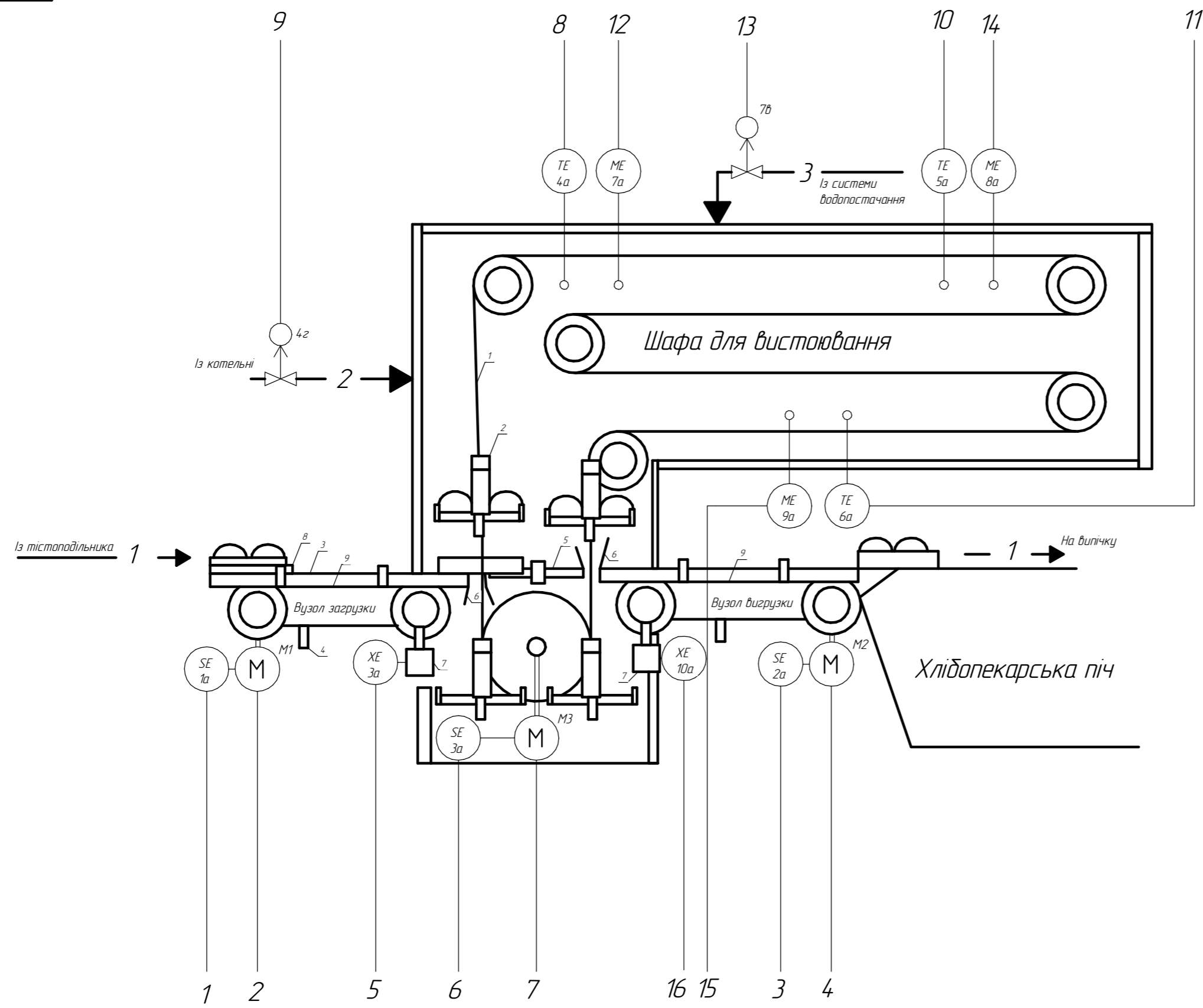
Подп. и дата

Инв. № подл.



Позиция, позначення	Найменування	К-ть	Примітка
ПК ГТЕХ	ПК головного технолога	1	Офісного виконання
ТС	технологічний сервер хлібопекарського виробництва	1	Офісного виконання
ПЛК ВХ	мікропроцесорний контролер пічного відділення	1	TSX P57 3634M
ПЛК ВТ	мікропроцесорний контролер відділення тітоприготування	1	TSX P57 3634M
ПЛК ПС	мікропроцесорний контролер відділення підготовки сировини	1	TSX P57 3634M
ПЛК РЗ	мікропроцесорний контролер розставляльного відділення	1	TSX P57 3634M
ОП ВТ	операторська панель відділення тітоприготування	1	MAGELIS XBT N-400
ОП ПС	операторська панель відділення підготовки сировини	1	MAGELIS XBT N-400
ПК ВХ	ПК оператора пічного відділення	1	Pentium 1,8 GHz, RAM 512Mb
ПК РЗ	ПК оператора розставляльного відділення	1	Pentium 1,8 GHz, RAM 512Mb
RIO1,RIO,RIO3, RIO4,RIO5	пристрої віддаленого вводу/виводу	5	VIPA 115SER 6BL32
Switch	промисловий комутатор	1	Ethernet 100 Base-TX
IM1-IM4	Комунікаційний модуль	4	TSX SCY 21601

Кваліфікаційна робота			
Спеціальність 151 "Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології"			
Розроб. № док.:	Савченко М.О.	Лист	Масса
Керівник:	Луцька Н.М.	Масштаб	
Забкафедри:	Смітюх Я.В.	Лист 1	Листов 9
Структурна схема КТС (С2)			НУХТ ІА 2-2М
Копировал			Формат А3



Позначення	Найменування
1	Паралельний ланцюг
2	Лялька
3	Паралельні напрямлячі
4	Опори
5	Нерухомі полиці
6	Фіксатори
7	Кінцевий датчик
8	Листи транспортера
9	Ланцюговий транспортер

Лист. примеч.

Справ. №
Підп. і дата
Инв. № дідл.
Взам. інв. №
Підп. і дата
Инв. № подл.

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	5
Позначення	ST 1a		ST 2a		XI 3a	ST 3b		TI 4b		TI 5b	TI 6b	MI 7b		MI 8b	MI 9b	XI 10a
Вид передавача		SIC 1b		SIC 2b			SIC 3b		TY 4b E/P			HS 7z		MY 7b E/P		
ПКР ТСУ Промит	Y	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	C	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	S	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	oo	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
ГЕСМ	oo	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	I	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	R	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
	C	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
S	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•
A	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•	•

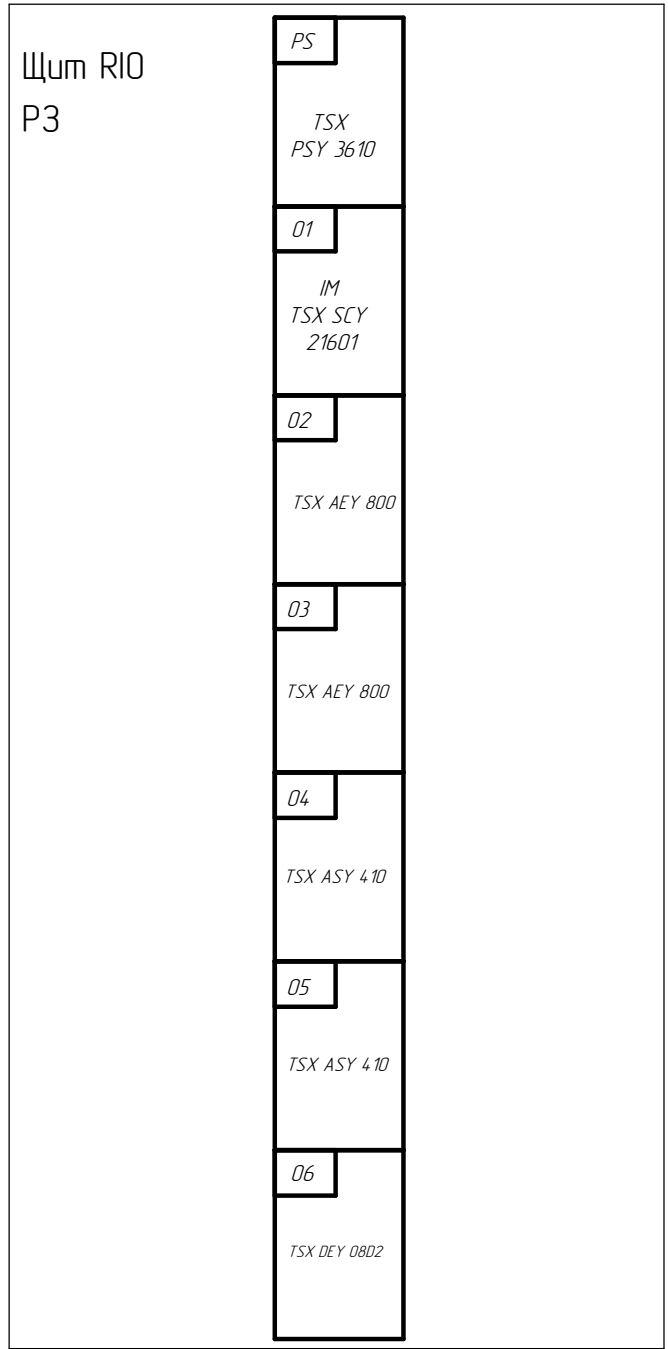
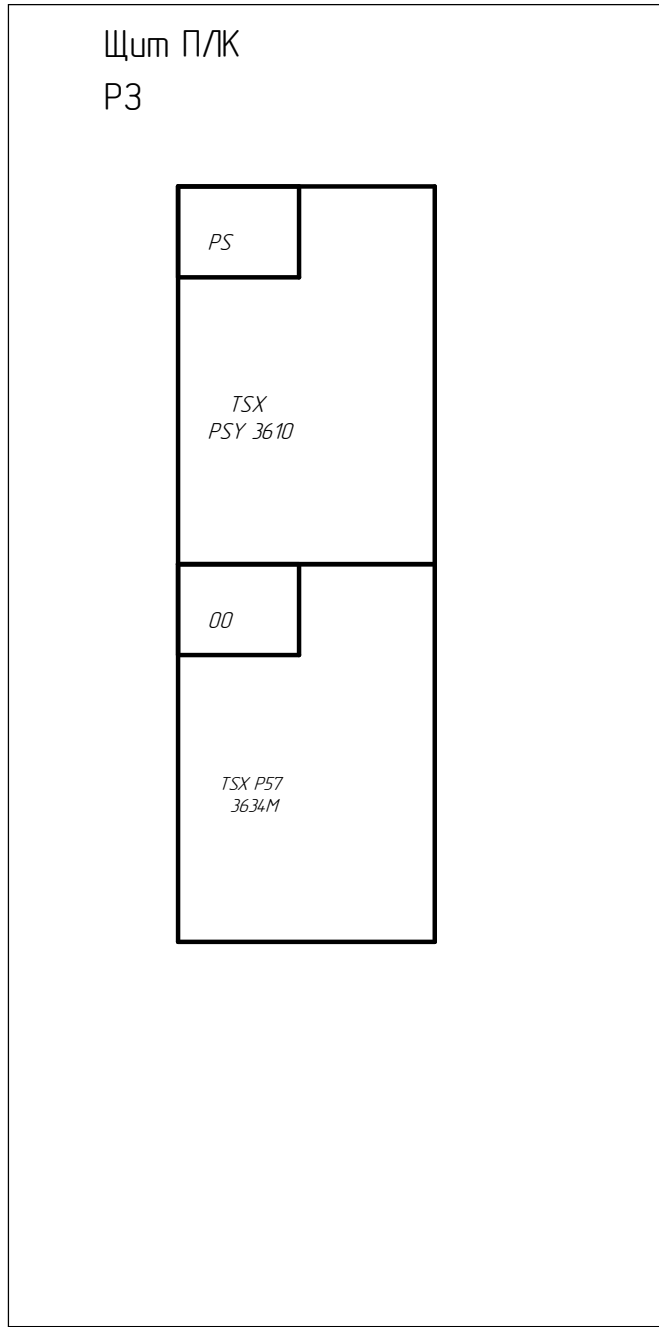
Позначення	Найменування
— 1 —	Тїстові заготовки
— 2 —	Суша гриюча апар
— 3 —	Водно-дисперсна суміш на зволоження

Кваліфікаційна робота			
Спеціальність 151 "Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології"			
Ізм.	Лист	№ док.	Подп.
Розроб.	Савченко М.О.		
Керівник	Луцька Н.М.		
Задкафедри	Смітюх Я.В.		
Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління технологічної лінії приготування хлібо-булочних виробів з з підсистемою прогнозування на основі моделей машинного навчання			
Лит.			Масштаб
Лист 3			Листов 9
Схема автоматизації (СЗ)			НУХТ ІА 2-2М

Перв. примен.
Справ. №

Подп. и дата
И-в. № дцдл.
Взам. инв. №

Подп. и дата
И-в. № подл.



Изм.	Лист	№ док-м.	Подп.	Дата
Разр-б.		Савченко М.О.		
Перевірів		Луцька Н.М.		
Завкафедри		Смітюх Я.В.		

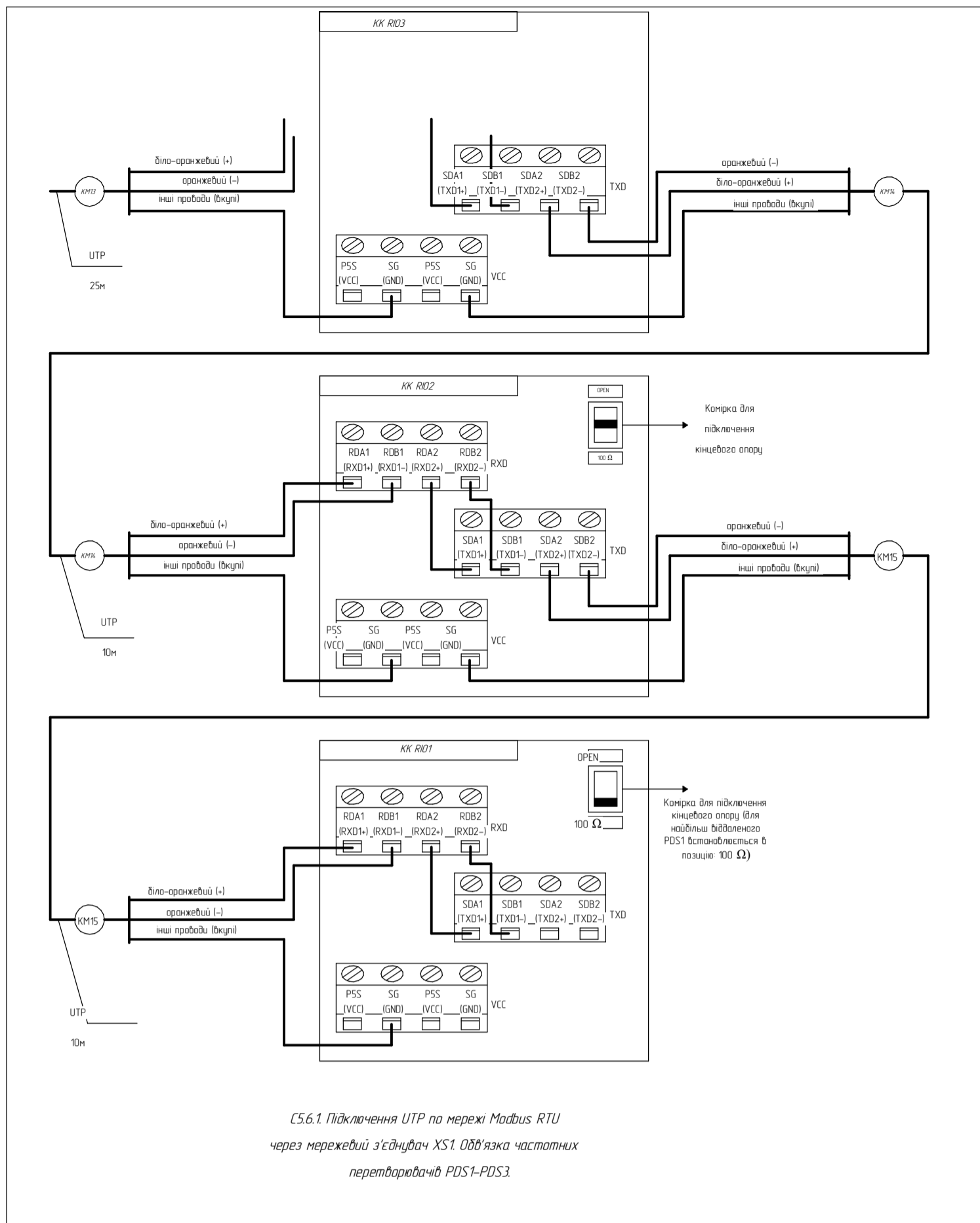
Кваліфікаційна робота
 Спеціальність 151 "Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології"

Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління технологічної лінії приготування хлібо-булочних виробів з з підсистемою прогнозування на основі моделей машинного навчання

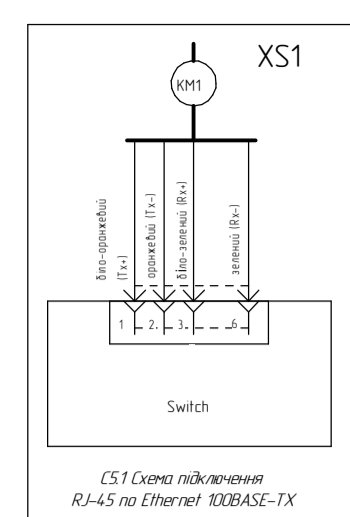
Лит.	Масса	Масштаб
Лист	5	Листов
		10

Схема компоновки ПЛК та RIO

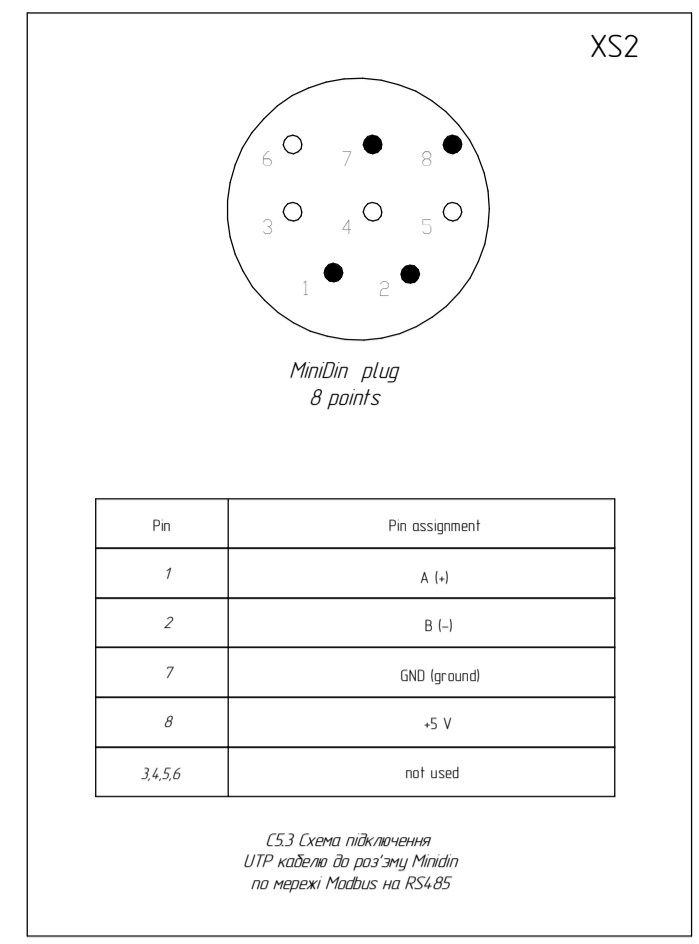
НУХТ ІА 2-2М



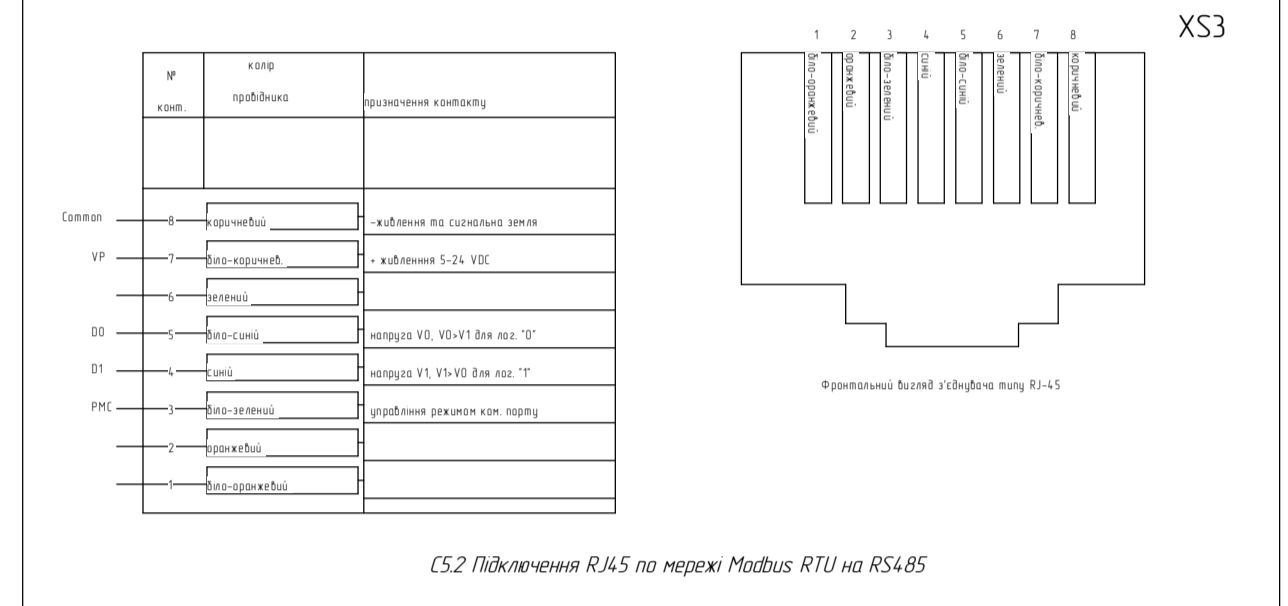
С5.6.1 Підключення UTP на мережі Modbus RTU через мережі з'єднувач XS1. Об'єкти частотних перетворювачів PDS1-PDS3.



С5.1 Схема підключення RJ-45 на Ethernet 100BASE-TX

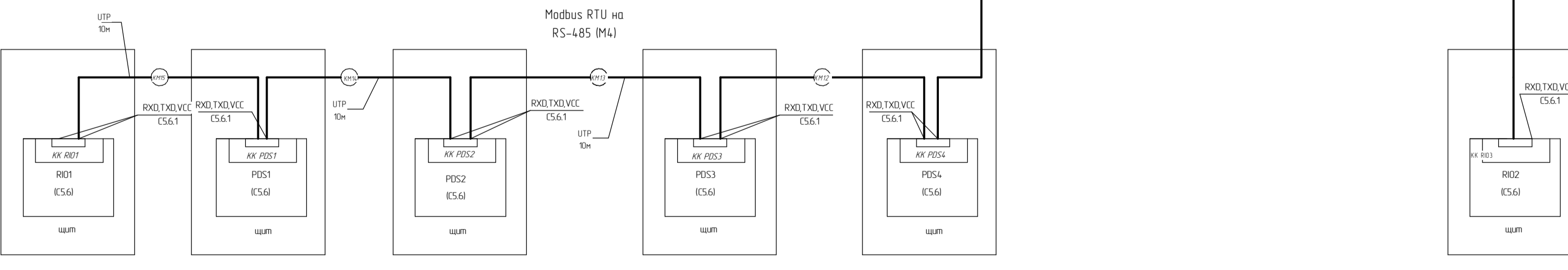
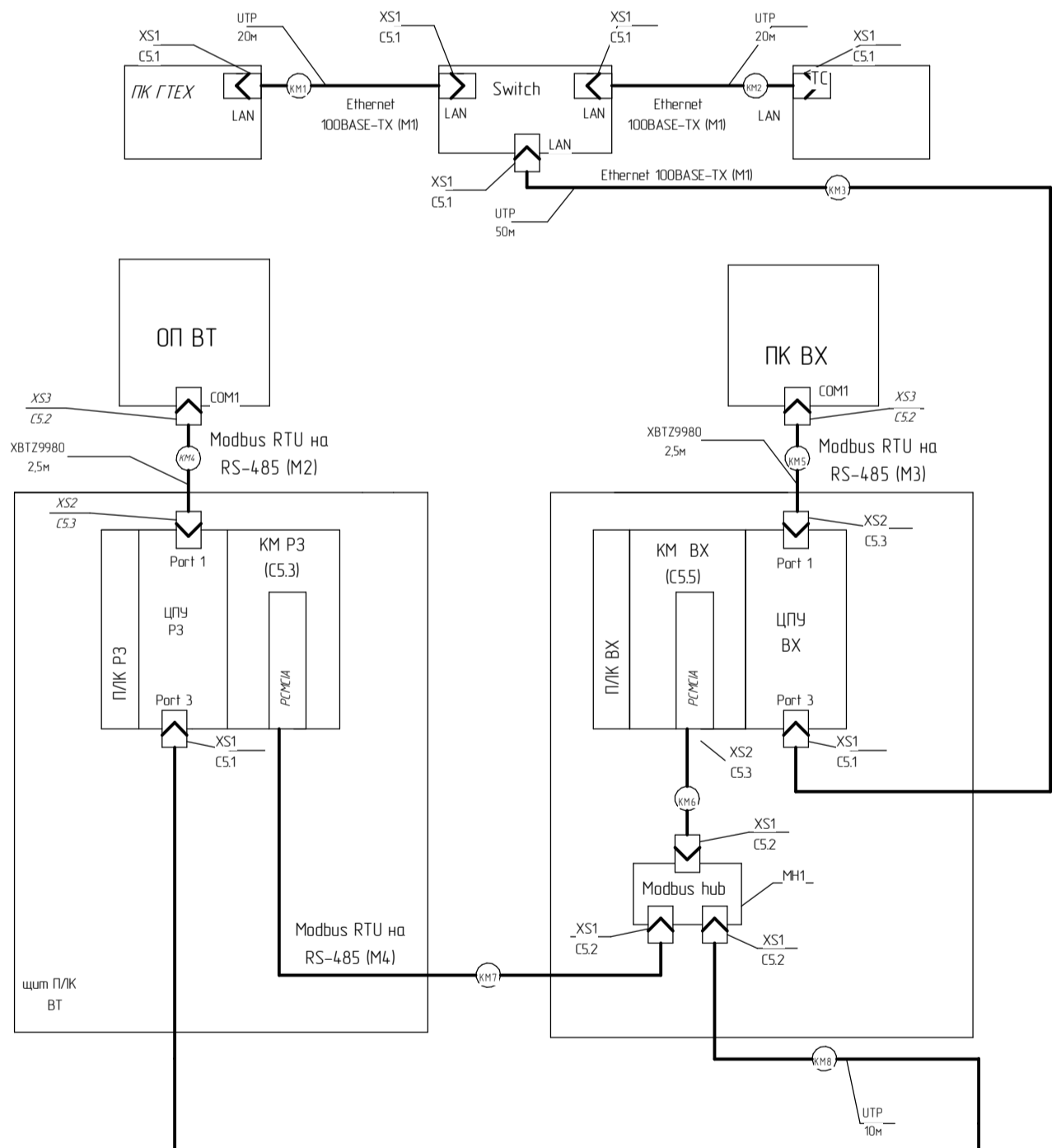


С5.2 Схема підключення UTP кабелю до роз'єму MiniDin на мережі Modbus на RS485



С5.2 Підключення RJ45 на мережі Modbus RTU на RS485

Позиція, позначення	Найменування	К-ть	Примітка
ПК ГТЕХ	ПК головного технолога	1	Офісного виконання
ТС	технологічний сервер хлібопекарського виробництва	1	Офісного виконання
ПЛК ВХ	мікропроцесорний контролер пічного відділення	1	Modicon TSX Premium
ПЛК РЗ	мікропроцесорний контролер відділення розстоювання	1	Modicon TSX Premium
ПК ВХ	ПК оператора пічного відділення	1	Pentium 1,8 GHz, RAM 512Mb
ОП РЗ	операторська панель відділення розстоювання	1	MAGELIS XBT N-400
РІО1, РІО2	пристрої віддаленого вводу виводу	2	VIPA 15SER 68L32
Мережні кабелі			
КМ1 - КМ15	UTP кабель	15	CAT 5e, 0,5mm
Комунікаційна апаратура			
Switch	промисловий комутатор	1	Ethernet 100 Base-TX
XS1	коннектор типу вилок	13	RJ-45
Комунікаційні адаптери та карти			
КМ ВХ	комунікаційний модуль пічного відділення (по мережі Modbus RTU)	1	SCY 11601
КМ РЗ	комунікаційний модуль відділення тістопрігартування (по мережі Modbus RTU)	1	SCY 11601



Перв. примен. / Справ. № / Подп. и дата / Инв. № дубл. / Взам. инв. № / Подп. и дата / Инв. № подл.

Квалифікаційна робота				Лит.	Масштаб
Спеціальність 151 "Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології"					
Розроб.	Савченко М.О.	Лит.	Масштаб		
Керівник	Луцька Н.М.	Лист	6	Листов	9
Заб. кафедри	Смітюх Я.В.	Схема з'єднань проводок промислових мереж (С4). Схема підключень проводок мереж (С5).			
НУХТ ІА 2-2М				Формат А2	

Перв. позначен.

Стор. №

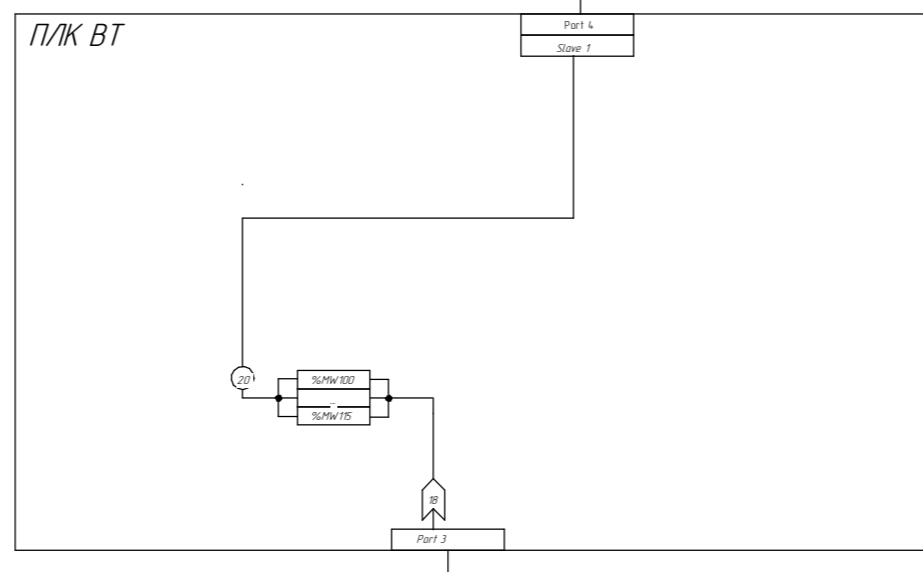
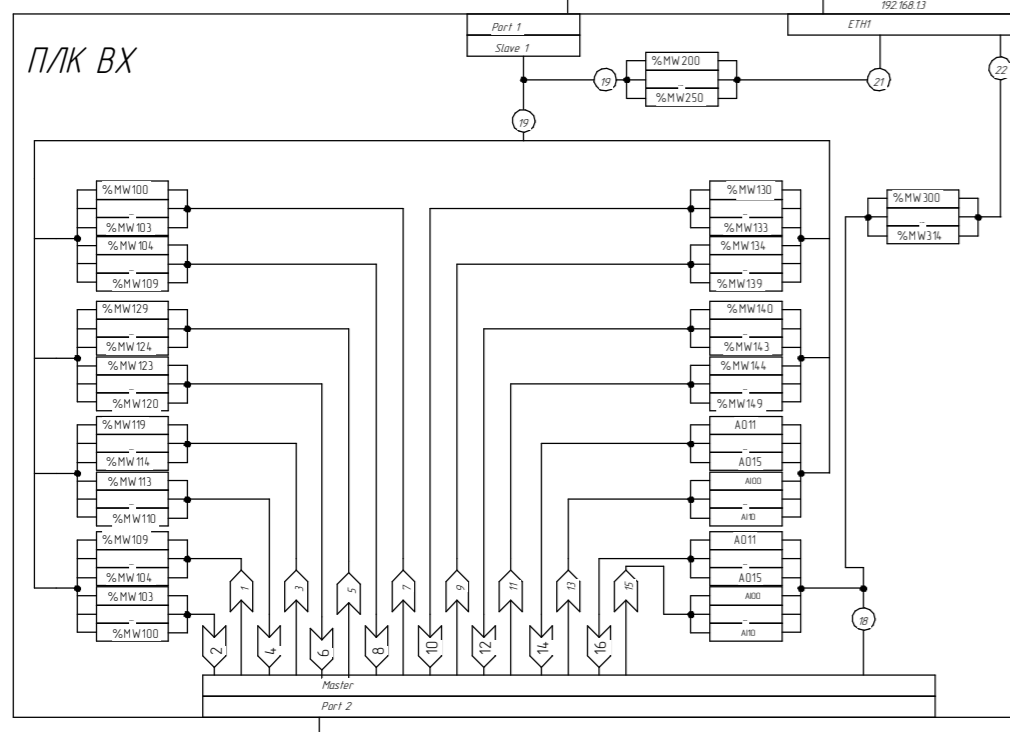
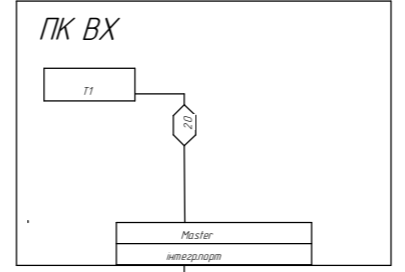
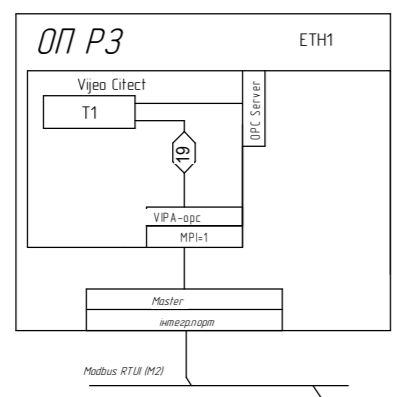
Підп. і дата

И-в. № відп.

Взам. и-в. №

Підп. і дата

И-в. № подл.



COM Slave 1

Частотний перетворювач двигуна M1	
Output frequency	40201
Output current	40202
Output voltage	40203
Motor torque	40207
Inverter status	40261
Running speed	40206
Inverter reset	
Command register	30009
Frequency com. (RAM value)	30014
Frequency com. (EEPROM value)	30015

COM Slave 2

Частотний перетворювач двигуна M2	
Output frequency	40201
Output current	40202
Output voltage	40203
Motor torque	40207
Inverter status	40261
Running speed	40206
Inverter reset	
Command register	30009
Frequency com. (RAM value)	30014
Frequency com. (EEPROM value)	30015

COM Slave 3

Частотний перетворювач двигуна M3	
Output frequency	40201
Output current	40202
Output voltage	40203
Motor torque	40207
Inverter status	40261
Running speed	40206
Inverter reset	
Command register	30009
Frequency com. (RAM value)	30014
Frequency com. (EEPROM value)	30015

COM Slave 4

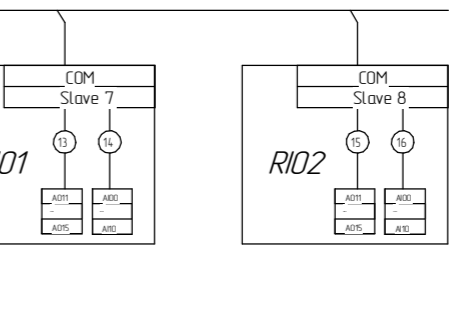
Частотний перетворювач двигуна M4	
Output frequency	40201
Output current	40202
Output voltage	40203
Motor torque	40207
Inverter status	40261
Running speed	40206
Inverter reset	
Command register	30009
Frequency com. (RAM value)	30014
Frequency com. (EEPROM value)	30015

COM Slave 5

Частотний перетворювач двигуна M5	
Output frequency	40201
Output current	40202
Output voltage	40203
Motor torque	40207
Inverter status	40261
Running speed	40206
Inverter reset	
Command register	30009
Frequency com. (RAM value)	30014
Frequency com. (EEPROM value)	30015

COM Slave 6

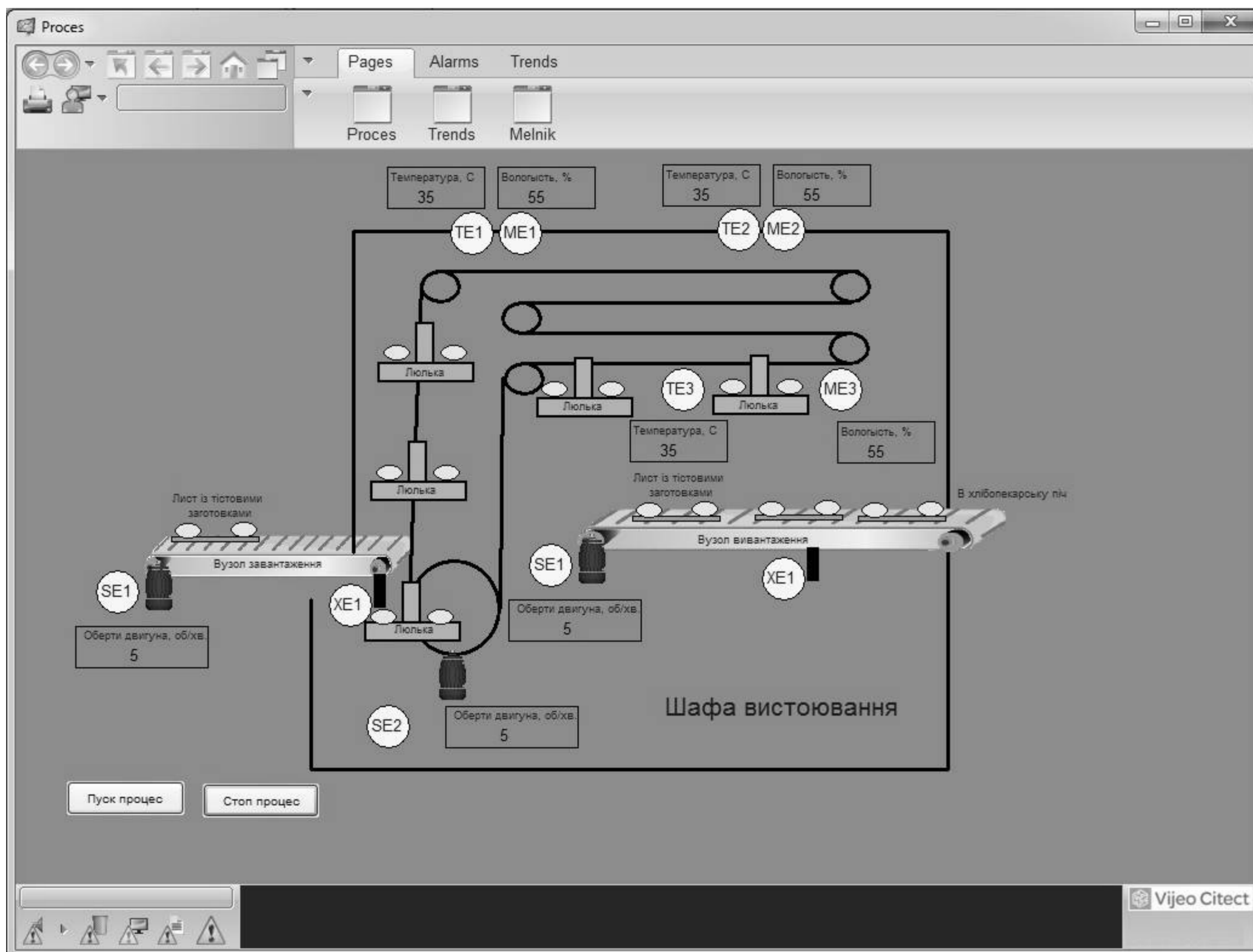
Частотний перетворювач двигуна M6	
Output frequency	40201
Output current	40202
Output voltage	40203
Motor torque	40207
Inverter status	40261
Running speed	40206
Inverter reset	
Command register	30009
Frequency com. (RAM value)	30014
Frequency com. (EEPROM value)	30015



Позиція, позначення	Найменування	К-ть	Примітка
ПК GTX	ПК головного технолога	1	Офісного виконання
ТС	технологічний сервер хлібопекарського виробництва	1	Офісного виконання
ПК ВХ	мікропроцесорний контролер пічного відділення	1	Modicon TSX Premium
ПК РЗ	мікропроцесорний контролер відділення розстоювання	1	Modicon TSX Premium
ОП РЗ	операторська панель відділення розстоювання	1	MAGELIS XBT N-400
		1	MAGELIS XBT N-400
ПК ВТ	ПК оператора пічного відділення	1	Pentium 1,8 GHz, RAM 512Mb
RIО 1	віддалені входи/виходи пічного відділення		VIPA 1ESSEr 6BL32
RIО 2	віддалені входи/виходи відділення розстоювання	3	VIPA 1ESSEr 6BL32

Кваліфікаційна робота				Спеціальність 151 "Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології"			
Изм. Лист	№ док.м.	Підп.	Дата	Розробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління технологічної лінії приготування хліба-булочних виробів з з підсистемою прогнозування на основі моделей машинного навчання	Лит	Масса	Масштаб
Разроб.	Савченко М.О.						
Керівник	Лицька Н.М.						
Задкареви	Смітюх Я.В.						
Схема мережних інформаційних потоків (СІП)					Лист 7	Листов 9	
Копіював					НУХТ ІА 2-2М		
					Формат А2		

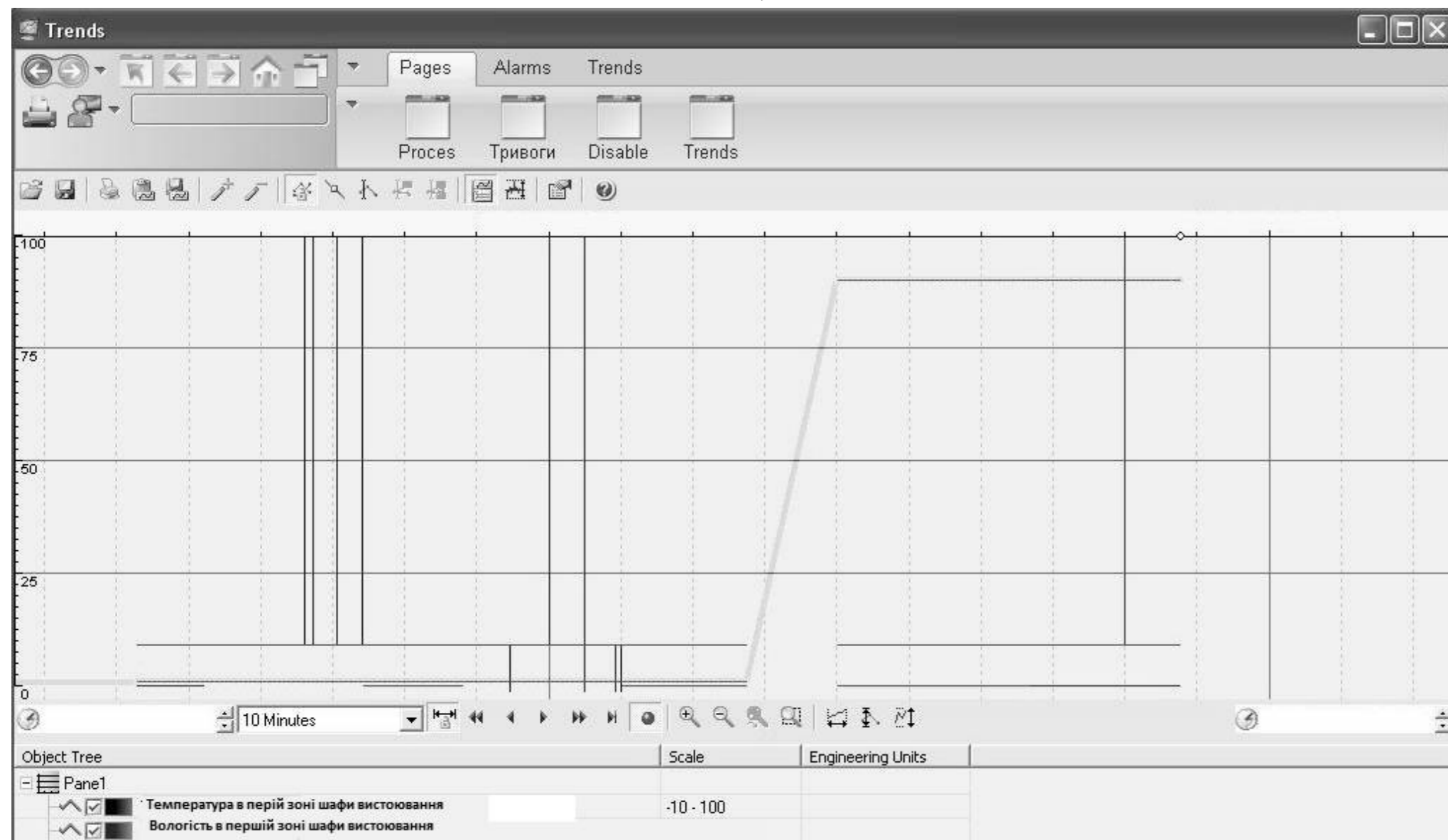
Мнемосхема відділення



Аналогові аларми

Time	Tag	Name	Desc
16:56:54	TE1_alarm	Температура в першій зоні шафи вистоювання	Критически низкий
16:56:54	ME1_alarm	Вологість в першій зоні шафи вистоювання	Критически висок
16:56:54	SE1_alarm	Швидкість руху стрічки вузла завантаження	Критически висок

Тренди



Кваліфікаційна робота				Лит.	Маса	Масштаб
Спеціальність 151 "Автоматизація і комп'ютерна-інтегровані технології"						
Изм. Лист	№ док.им.	Подп.	Дата	Разработка компьютерно-интегрированной системы управления технологической линии приготовления хлеба-булочных изделий с з підсистемою прогнозування на основі моделей машинного навчання		
Разроб.	Савченко М.О.			Лист	8	Листов 9
Керівник	Луцька Н.М.			Зображення дисплейних мнемосхем		
Забкарежи	Смітюх Я.В.			НУХТ ІА 2-2М		

Перв. примен.

Склад. №

Подп. и дата

Инд. № д.д.д.

Взам. инд. №

Подп. и дата

Инд. № подл.

Справ. №

Перв. примен.

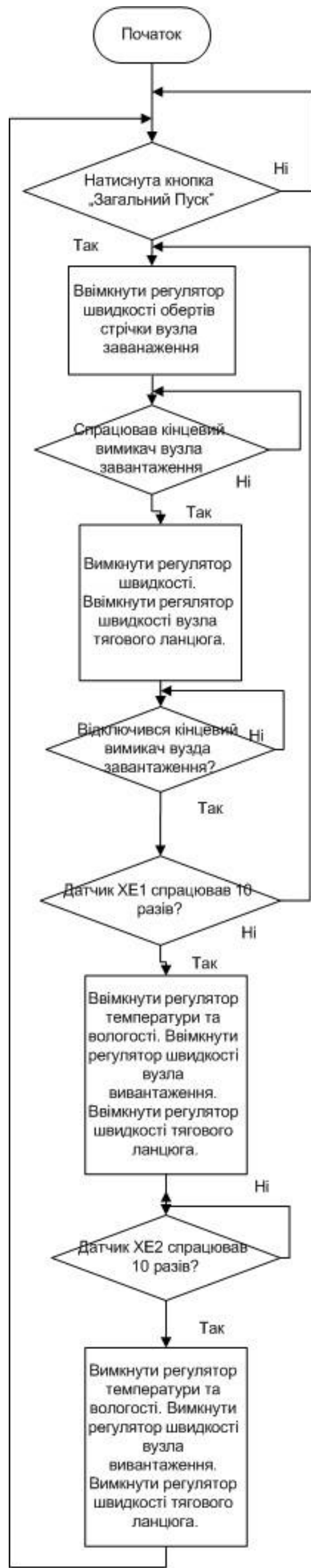
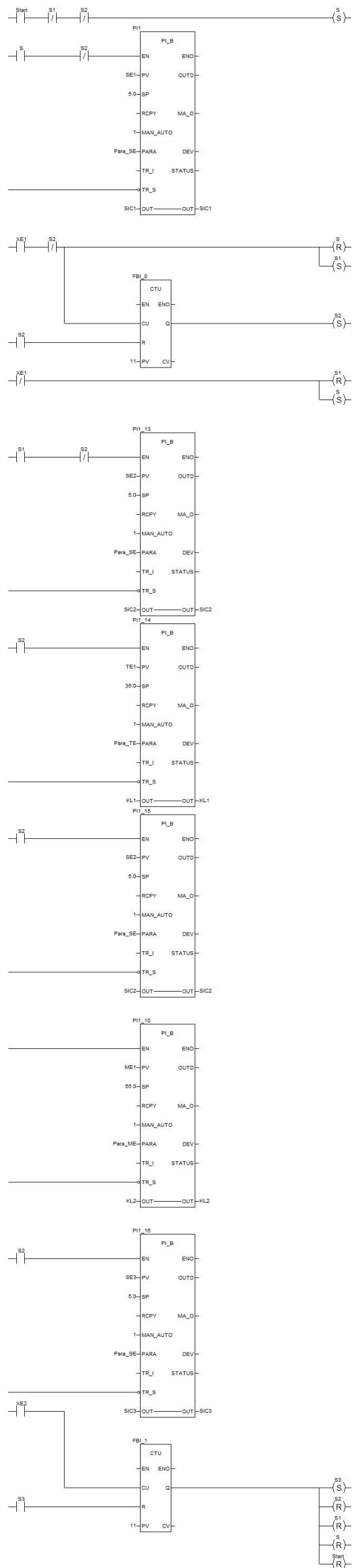
Подп. и дата

Взам. инв. №

Инв. № дцкл.

Подп. и дата

Инв. № подл.



Изм.	Лист	№ докум.	Подп.	Дата
Разроб.		Савченко М.О.		
Керівник		Луцька Н.М.		
Завкафедри		Смітюх Я.В.		

Кваліфікаційна робота
 Спеціальність 151 "Автоматизація і комп'ютерно-інтегровані технології"

Разробка комп'ютерно-інтегрованої системи управління технологічної лінії приготування хлібо-булочних виробів з з підсистемою прогнозування на основі моделей машинного навчання

Лит.	Масса	Масштаб
Лист 9	Листов 9	

Алгоритми та листинг програми їх реалізації

НУХТ ІА 2-2М