

**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)  
Форсюк А.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

**«До захисту допущено»**  
Завідувач кафедри  
Ельперін І.В.  
(підпис) (прізвище та ініціали)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_р.

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ БАКАЛАВРА**

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

освітньо-професійної програми «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

на тему: Розробка системи автоматизації тунельної печі для випікання хліба

Виконав: здобувач 2 курсу, групи 2ск

Маджар Олег Сергійович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю) (підпис)

Керівник Гриценко Надія Георгіївна  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю) (підпис)

Консультанти \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали) (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали) (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали) (підпис)

Рецензент Харкянен Олена Валеріївна  
(прізвище та ініціали) (підпис)

Засвідчую, що в цій кваліфікаційній роботі немає запозичень із праць інших авторів без відповідних посилань.

Здобувач \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ - 2020р.

# Національний університет харчових технологій

Факультет *Автоматизації і комп'ютерних систем*

Кафедра *Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління*

Освітній ступінь *«Бакалавр»*

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

Освітньо-професійна програма *«Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»*

ЗАТВЕРДЖУЮ:

Зав. кафедри АКТСУ

І.В.Ельперін

«27» квітня 2020 р.

## ЗАВДАННЯ

### НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА

Маджару Олегу Сергійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: *Розробка системи автоматизації тунельної печі для випікання хліба*

керівник роботи *Гриценко Надія Георгіївна, асистент*

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від «27» квітня 2020 р. № 270-кс

2. Строк подання здобувачем роботи « 11 » червня 2020 р.

3. Вихідні дані до роботи

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

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

*Вступ. 1. Опис об'єкта автоматизації. 1.1. Технологічний опис об'єкта автоматизації. 1.2. Розробка завдання на систему автоматизації. 2. Система автоматизації. 2.1. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО). 2.2. Схема автоматизації. 2.3. Специфікація засобів автоматизації. 3. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК) та схеми підключення. 3.1. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК). 3.2. Загальна схема підключення датчиків та ВМ до ПЛК. 3.3. Розширені схеми підключення для окремого контуру. 4. Креслення встановлення технічного засобу.*

5. Опис спеціального програмного забезпечення для промислового логічного контролера (алгоритм та програма для ПЛК). 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога. 6.1. Переліки вхідних та вихідних сигналів та даних SCADA/HMI. 6.2. Відеокадри дисплейних мнемосхем оператора. 7. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання. 7.1. Постановка задачі дослідження. 7.2. Вибір об'єкта керування та його математичної моделі. 7.3. Моделювання САР. 7.4. Опрацювання результатів моделювання та формулювання висновків.

5. Перелік графічного матеріалу

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

3. Креслення встановлення технічного засобу.

6. Дата видачі завдання 27 квітня 2020 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

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

Здобувач Маджар О.С.

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник роботи Гриценко Н.Г.

\_\_\_\_\_ (підпис)

## Анотація

Кваліфікаційна робота розроблена на тему: “Розробка системи автоматизації тунельної печі для випікання хліба” з використанням програмованого логічного контролера Modicon M340 фірми Schneider Electric.

Робота складається з пояснювальної записки та графічного матеріалу, а саме:

1. Схема автоматизації.
2. Принципова схема підключення до вхідних аналогових модулів ПЛК.
3. Принципова схема підключення до вихідних аналогових модулів ПЛК.
4. Креслення встановлення технічного засобу.

Особлива увага в даній роботі була приділена розробці системи автоматизації, вибору і розрахунку вимірювальних перетворювачів та виконавчих механізмів (обрано пневматичні). Розроблена схема підключення датчиків і виконавчих механізмів до програмованого логічного контролера. Для покращення якості готового хліба та зменшення відсотку бракованої продукції проводиться регулювання вологості в зоні зволоження за допомогою датчика вологості для важкодоступних місць, до складу якого входить вимірювальний зонд та подовжуючий кабель 90.7023/333 фірми JUMO.

В проекті розроблений алгоритм керування процесом випічки в тунельній печі, який реалізований в програмі Unity Pro для мікропроцесорного контролера Modicon M340. Для візуалізації та оперативного контролю технологічного процесу використано SCADA програма Vijeo Citect.

Спеціальним завданням даного дипломного проекту є розробка інтелектуальної підсистеми оптимального керування на основі нечіткої логіки, реалізованої в середовищі Matlab в Editor Fuzzy Logic Toolbox, яка дозволяє визначити відсоток якості хлібу за певного температурного режиму. Таким чином при виборі вірного температурного режиму завдяки даній системі покращуємо якість випеченого хлібу та зменшуємо відсоток браку.

**Ключові слова:** тунельна піч, система автоматизації, програмований логічний контролер, нечітка логіка, оптимальне керування.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Annotation

The qualification work was developed on the topic: "Development of a tunnel oven automation system for baking bread" using a programmable logic controller Modicon M340 from Schneider Electric.

The work consists of an explanatory note and graphic material, namely:

1. Automation scheme.
2. Schematic diagram of connection to the input analog modules of the PLC.
3. Schematic diagram of connection to the output analog modules of the PLC.
4. Drawings of installation of technical means.

Particular attention in this work was paid to the development of automation, selection and calculation of measuring transducers and actuators (selected pneumatic). The scheme of connection of sensors and actuators to the programmable logic controller is developed. To improve the quality of the finished bread and reduce the percentage of defective products, the humidity in the humidification zone is regulated by a humidity sensor for hard-to-reach places, which includes a measuring probe and an extension cable 90.7023 / 333 from JUMO.

The project developed an algorithm for controlling the baking process in a tunnel oven, which is implemented in the Unity Pro program for the microprocessor controller Modicon M340. The SCADA program Vijeo Citect was used for visualization and operative control of the technological process.

A special task of this thesis project is to develop an intelligent subsystem of optimal control based on fuzzy logic, implemented in the Matlab environment in the Editor Fuzzy Logic Toolbox, which allows you to determine the percentage of bread quality at a certain temperature. Thus, when choosing the right temperature thanks to this system, we improve the quality of baked bread and reduce the percentage of waste.

**Keywords:** tunnel furnace, automation system, programmable logic controller, fuzzy logic, optimal control.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Зміст

<b>Вступ</b> .....	7
<b>Розділ 1. Характеристика об'єкта автоматизації</b> .....	8
<b>1.1. Аналіз втрат ефективності та якості процесів випікання</b> .....	9
<b>1.2. Аналіз хлібопекарських печей тунельного типу як об'єкта автоматизації</b> ..	15
<b>1.3. Завдання на розробку системи автоматизації</b> .....	20
<b>Розділ 2. Система автоматизації</b> .....	21
<b>2.1. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання, ВМ та РО</b> .....	21
<b>2.2. Схема автоматизації</b> .....	31
<b>2.3. Специфікація засобів автоматизації</b> .....	34
<b>Розділ 3. Проектне компонування промислового логічного контролера (ПЛК) та схеми підключення</b> .....	36
<b>3.1. Проектне компонування ПЛК</b> .....	37
<b>3.2. Загальна схема підключення датчиків, виконавчих механізмів та регулюючих органів</b> .....	40
<b>3.3. Розширені схеми підключення для окремого контуру</b> .....	42
<b>Розділ 4. Креслення встановлення технічного засобу</b> .....	44
<b>Розділ 5. Опис спеціального програмного забезпечення для ПЛК</b> .....	51
<b>Розділ 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога</b> .....	64
<b>Розділ 7. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання</b> ....	70
<b>исновок</b> .....	113
<b>Список використаної літератури</b> .....	115

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Вступ

В наш час все більшої уваги приділяють отриманню мінімальної собівартості та максимального прибутку від реалізації виробленої продукції. Системи автоматизації отримують нові властивості системного характеру: впровадження комп'ютерних технологій та вдосконалення структури існуючих багаторівневих систем керування; використання сучасних програмних засобів для візуалізації технологічної інформації та її зберігання; інтелектуалізація виконуваних функцій з використанням елементів штучного інтелекту.

Використання в таких системах лише традиційних підходів, де керування не може дати задовільних результатів, оскільки процеси, що відбуваються в них, надзвичайно складні та іноді зовсім не передбачувані. Особливостями процесів в харчовій промисловості є велика кількість та складність зв'язків між параметрами стану об'єктів, трудомісткість процедур побудови математичного опису і використання його результатів для практичних реалізацій; високий рівень похибок вимірювання технологічних параметрів, а іноді й не можливість проведення вимірювання; необхідність приймати рішення для керування технологічними агрегатами і виробництвами в умовах неповної інформації про етап об'єкту і інших акторів. Поряд з цим практика впровадження систем автоматичного керування показує, що оператор-технолог часто вирішує задачі управління більш успішно, ніж автоматичні регулятори.

Досвід автоматизації виробництва показує, що при створенні систем керування загальна проблема розпадається на дві складові: використання типових рішень та структур, програмних оболонок, які існують на ринку і мають комерційний характер, адаптація готових рішень до конкретних умов, забезпечення ефективності функціонування з урахуванням показників живучості, надійності, вартості.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розділ 1. Характеристика об'єкта автоматизації

У технологічному процесі промислового виробництва хлібобулочних і борошняних кондитерських виробів найбільш енергомісткою операцією є випікання тістових виробів, яке здійснюється в хлібопекарських печах.

Випікання – комплексний процес, під час якого під дією теплоти відбувається зміна агрегатного та колоїдного стану матеріалу – перетворення тіста у м'якуш хліба, а поверхневих шарів – у скоринку. Випічка є найважливішим і заключним етапом технологічного процесу виробництва хлібобулочних виробів, від якого в значній мірі залежить якість готового продукту і продуктивність всієї промислової лінії. В пекарній камері пічного агрегату відбувається непереривна гіротермічна обробка тіста, в результаті якої в тісті відбувається глибокі фізико-хімічні зміни і воно перетворюється в хліб. Характер випічки і якість продукції залежить в основному від часу випічки і параметрів середовища пекарної камери, до якої відноситься вологість середовища і температура.

Піч є основним технологічним обладнанням хлібзаводу. Вона є не лише тепловим, але в першу чергу технологічним агрегатом, основним призначенням якого є вироблення високоякісної продукції при забезпеченні високих техніко-економічних показників – виходу продукції при мінімальних втратах енергоресурсів (теплоти, технологічної пари, електроенергії, упікання тощо).

Смак, аромат і зовнішній вигляд хлібобулочних виробів в значній частині залежать від конструктивних переваг пічного агрегату, роботи окремих вузлів і правильної експлуатації хлібопекарської печі. Із загальної кількості теплоти, що витрачається безпосередньо на випікання, більше половини іде на випаровування вологи із тістових виробів, тому для економії палива вирішальне значення має забезпечення оптимального теплового режиму випікання, який обумовлюється особливостями кінетики розповсюдження теплоти у виробках, що випікаються.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>		
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Розробив</i>		<i>Маджар О.С.</i>			<i>Розробка системи автоматизації тунельної печі для випікання хліба</i>		
<i>Керівник</i>		<i>Гриценко Н.Г.</i>					
<i>Секретар ЕК</i>		<i>Проскурка Е.С.</i>					
<i>Зав.кафедри</i>		<i>Ельперін І.В.</i>					
					<i>ЗАК-2-2ск</i>		

Конструкція печі повинна забезпечувати мінімальне тепловиділення розділяючих поверхонь, відсутність викидів в цех газоподібних виділень при порушенні нормального режиму процесу випічки, неперервність технологічного виробництва, максимальну продуктивність. Ці фактори впливають і на величину втрат від упікання, що змінюються від 5 до 10%. Зменшення цих втрат тільки на 1 один відсоток дає підприємству значну частину економії борошна. [1].

В результаті аналізу роботи промислових печей встановлено [2], що для випікання як правило використовується тепло, що збережене футеровкою та арматурою печі (рис.1.1). Процес випікання хлібу в печі розпочинається з виробів, що мають найвищу температуру випікання, з поступовим пониженням температури. Наступним завданням випікання є лише підтримання температури по зонах. Суттєва теплоємність конструктивних елементів печі дозволяє розглянути можливість в передбаченні необхідної кількості енергії, потрібної для розігріву завантаженої печі, з метою запобігання перевитрат енергетичних ресурсів на координацію теплового потоку у процесі випікання.

### **1.1. Аналіз втрат ефективності та якості процесів випікання**

Перетворення тістової заготовки у готовий виріб обумовлюють теплофізичні, мікробіологічні, колоїдні, біохімічні, хімічні процеси, що відбуваються у ній під час випікання. В основі всіх процесів лежить прогрівання тістової заготовки в пекарній камері.

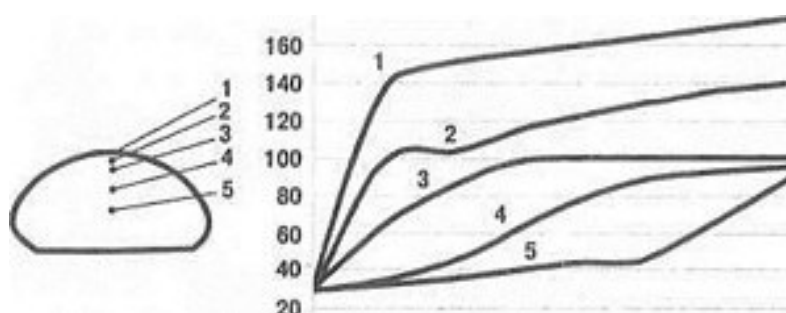
Теорія процесів, які відбуваються у тістовій заготовці під час випікання, розроблена А.В.Ликовим, А.С.Гінзбургом, Н.П.Козьміною, а також українськими вченими А.А.Міхелевим, О.Т.Лісовенком, А.О. Корчинським, В.І. Теличкуном та іншими.

#### **Теплофізичні процеси у тістовій заготовці під час випікання**

В пекарній камері передача тепла тістовій заготовці відбувається шляхом випромінювання від нагрітих до 300-400 °С стінок і склепіння пекарної камери (80-85 %), решта — конвекцією від пароповітряного середовища пекарної камери, що прогріте до 220-280 °С, а також кондукцією (теплопровідністю) від поду печі, нагрітого до 180-200 °С. У процесі теплообміну тістових заготовок з гріючими

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

поверхнями печі та пароповітряним середовищем пекарної камери тістова заготовка прогривається не одночасно по всій масі, а поступово від поверхневого шару до центру. По мірі прогрівання безперервно змінюється температура різних шарів тіста, тому процеси, що обумовлюють перетворення тіста в хліб, відбуваються пошарово, — спочатку в зовнішніх, потім у внутрішніх шарах тістової заготовки.



**Рис. 1.1. Кінетика температури окремих шарів тістової заготовки при випіканні**

На рис.1.1. умовно виділені шари тістової заготовки і наведена для них приблизна кінетика температури окремих шарів тістової заготовки при випіканні:

- 1 — поверхневий шар;
- 2 — шар під поверхневим;
- 3 — шар, що граничить між скоринкою і м'якушкою (зона випаровування);
- 4 — шар між зоною випаровування і центром тістової заготовки;
- 5 — центр тістової заготовки.

У міру прогрівання кожного окремо взятого шару до певної температури у цьому шарі відбуваються ті процеси, для яких ця температура є оптимальною.

Тістова заготовка, посаджена в нагріту пекарну камеру, починає швидко прогриватись. Оскільки її температура після остаточного вистоювання близька до 35-37 °С, що набагато нижче за температуру середовища пекарної камери, на поверхні заготовки починається конденсація пари з оточуючого пароповітряного середовища. Під час конденсації пари виділяється прихована теплота пароутворення, яка прискорює прогрівання тістової заготовки. Температура її поверхні швидко досягає 100 °С і підвищується далі (крива 1), процес конденсації пари припиняється, починається випаровування вологи з її поверхні. Поверхневий

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

шар унаслідок випаровування вологи зневоднюється і при температурі 105-115 °С на поверхні тістової заготовки утворюється тонкий шар скоринки. Цей процес відбувається протягом перших 3-5 хв. За цей час температура в центральних шарах тістової заготовки підвищується дуже незначно. Нижня поверхня тістової заготовки прогрівається шляхом контакту з гарячим подом печі. Внаслідок різниці температур пекарної камери, поверхневих і внутрішніх шарів тістової заготовки утворюється температурний градієнт, який обумовлює виникнення теплового потоку, спрямованого від зовнішнього шару заготовки до центру. Під його дією поступово прогріваються шари тіста, що лежать безпосередньо під поверхневим шаром, а від них тепло передається шарам, що лежать нижче. Температура поверхневих шарів послідовно шар за шаром досягає 100 °С, затримується на цій позначці, поки випаровується вода; зневоднюючись, вони послідовно перетворюються в скоринку, після чого температура шару підвищується. Як приклад, зміна температури в такому шарі ілюструється кривою 2. Зневоднення цих шарів відбувається внаслідок низької вологопровідності тіста, оскільки вода в ньому міститься переважно у зв'язаному стані. Тому волога з внутрішніх шарів тістової заготовки до зони випаровування надходить повільніше, ніж відбувається зневоднення в цій зоні, й зона випаровування поглиблюється. Товщина скоринки збільшується. При прогріванні шару тістової заготовки, що лежить нижче скоринки, до 60-70 °С у ньому відбувається коагуляція білків і клейстеризація крохмалю, починається формування м'якушки. З часом під скоринкою утворюється шар, температура якого, досягнувши 100 °С, не змінюється до кінця процесу випікання. Він стає постійною зоною випаровування (крива 3) і є граничним між скоринкою і м'якушкою. Підвищення температури вище 100 °С в ньому не відбувається внаслідок того, що тепло цього шару витрачається на випаровування вологи через скоринку у пекарну камеру і прогрівання шарів тіста, що лежать нижче і перетворюються у м'якушку. Температура шарів м'якушки, близьких до центру, підвищується повільно (крива 4). Під кінець випікання вона ледве наближається до 100 °С. Чим далі шар віддалений від середини, тим швидше підвищується його температура. Температура центру зростає з найбільшим запізненням і під кінець випікання

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

досягає 96-98 °С (крива 5). При досягненні центром цієї температури тістова заготовка повністю перетворюється в готовий до вживання виріб.

Температура верхнього шару скоринки (шар 1) в процесі випікання наближається до температури пекарної камери, але не досягає її внаслідок того, що частина тепла, яка сприймається скоринкою, витрачається на перегрівання парів води, що утворюються в зоні випаровування, і через шпаринки скоринки переходять у пекарну камеру, а частина у вигляді теплового потоку переходить до шарів середини тістової заготовки, прогріває їх, що обумовлює поступове утворення м'якушки. Швидкість прогрівання тістової заготовки залежить від температури пекарної камери, відносної вологості її пароповітряного середовища, маси тістових заготовок, їх вологості, форми, розпушеності. Заготовки, що мають більш плоску чи овальну форму, прогріваються швидше, ніж ті, у яких форма кругла, куляста. Тістова заготовка з вищою вологістю прогрівається швидше, ніж з низькою. Це пов'язано з тим, що при вищій вологості вища теплопровідність тіста.

Добре розпушене тісто з рівномірною тонкостінною пористістю прогрівається швидше, ніж слабо розпушене внаслідок швидкого переміщення тепла до центру м'якушки.

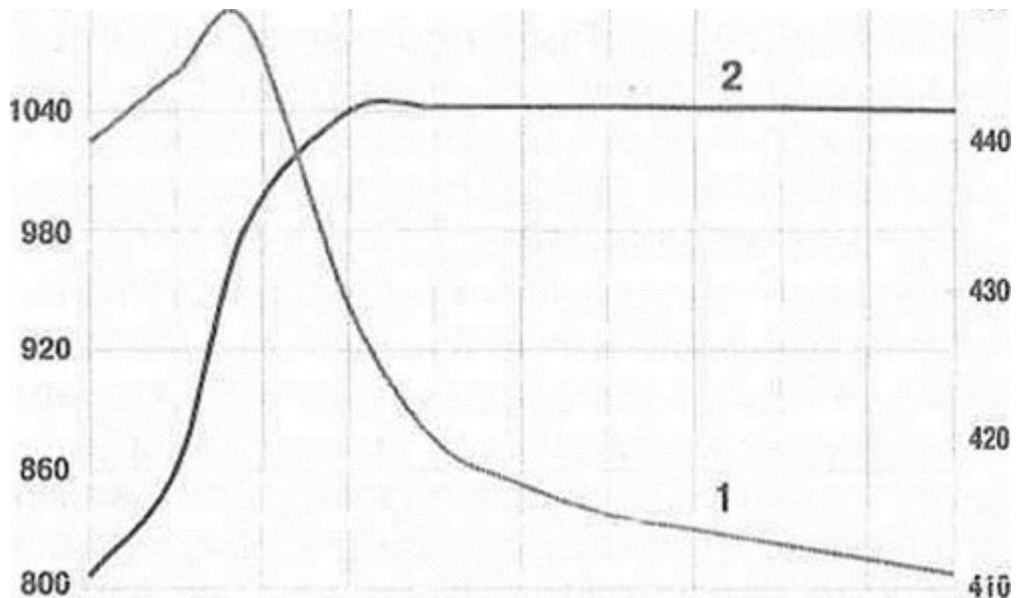
Підвищення температури пекарної камери призводить до інтенсифікації прогрівання тістової заготовки, збільшення інтенсивності вологовіддачі та до значного скорочення терміну випікання. Але підвищення температури можливе лише до певної межі, інакше це може привести до погіршення якості виробів, зменшення об'єму, пористості, непропеченості м'якушки, засмаглої скоринки.

### **Вологообмін і зміна вологості тістової заготовки**

Прогрівання тістової заготовки під час випікання супроводжується вологообміном між тістовою заготовкою і пароповітряним середовищем пекарної камери (зовнішній вологообмін), а також переміщенням вологи у середині самої заготовки. Зовнішній вологообмін проявляється у зволоженні поверхні тістової заготовки внаслідок конденсації на ній вологи з пароповітряного середовища пекарної камери і частковому поглинанні цієї вологи поверхневим шаром тіста.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтенсивність конденсації пари залежить прямопропорційно від ступеню зволоження пекарної камери та температури у зоні зволоження. При достатньому зволоженні, внаслідок цього процесу в перші 3-5 хв. випічки спостерігається збільшення маси заготовки до 1,3 % від початкової, рис.1.2, крива1.



**Рис.1.2. Графік зміни маси (1) та об'єму (2) тістової заготовки у процесі випікання**

При подальшому прогріванні тістової заготовки внаслідок випаровування сконденсованої вологи з поверхневого шару заготовки, а потім вологи з шарів, що лежать під ним, тобто із зони випаровування волога у вигляді пару через шпарини скоринки надходить у пекарну камеру. Маса тістової заготовки починає зменшуватись. Але через щільність скоринки лише частина пари із зони випаровування через пори мігрує в пекарну камеру, а решта по порах переміщається у внутрішні шари, що мають температуру, нижчу за 100 °С, і там конденсується. Вологість цих шарів підвищується. Це запобігає перетворенню всієї тістової заготовки у висушену масу. Внутрішній перенос вологи у тістовій заготовці відбувається під дією двох факторів:

1. різниці температур у шарах тістової заготовки, тобто температурного градієнта, який викликає термодифузію вологи у вигляді рідини з шарів з більш високою температурою до шарів з нижчою температурою, тобто з верхніх шарів до центру (явище термовологопровідності);

2. різниці в концентрації вологи в різних шарах заготовки, тобто градієнта вологості, що обумовлює концентраційне переміщення вологи з шарів з більшою концентрацією до шарів з меншою концентрацією, тобто від шарів центральної частини заготовки у бік зони випаровування.

Потік вологи від зовнішніх шарів до центральних, що викликається термодифузією, перевищує потік концентраційної дифузії вологи, тобто переміщення вологи від центру у бік зони випаровування, внаслідок цього вологість центральних шарів м'якушки збільшується на 1,5-2,0 % порівняно з вологістю тіста. Вологість скоринки в кінці випікання дорівнює рівноважній, а в шарах зони випаровування дещо нижча вологості тіста. Під кінець випікання загальна маса готового виробу зменшується порівняно з масою тістової заготовки в основному за рахунок втрат вологи в скоринці. У процесі прогрівання тістової заготовки втрата нею вологи відбувається з різною швидкістю. У період інтенсивного прогрівання спостерігається змінна швидкість випаровування вологи. Після швидкого випаровування її з поверхні заготовки відбувається випаровування з макро- і мікрокапілярів, а також адсорбційно зв'язаної вологи поверхневих шарів тістової заготовки, що обумовлює зниження швидкості випаровування.

Після утворення міцної скоринки, яка фіксує об'єм тістової заготовки, інтенсивність випаровування води ще більше знижується, швидкість випаровування стає постійною. Джерелом вологи, що випаровується в цей період, є волога, яка надходить в зону випаровування внаслідок концентраційного переміщення з шарів центральної частини тістової заготовки.

Зважаючи на втрати тістовою заготовкою вологи під час випікання на утворення скоринки, для забезпечення вологості виробів, передбаченої нормативною документацією, вологість тіста, з якого виготовляється тістова заготовка, має перевищувати нормативну вологість хліба з пшеничного борошна на 0,5-0,7 %, а житнього — на 0,7— 1,0 %.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## 1.2. Аналіз хлібопекарських печей тунельного типу як об'єкта автоматизації

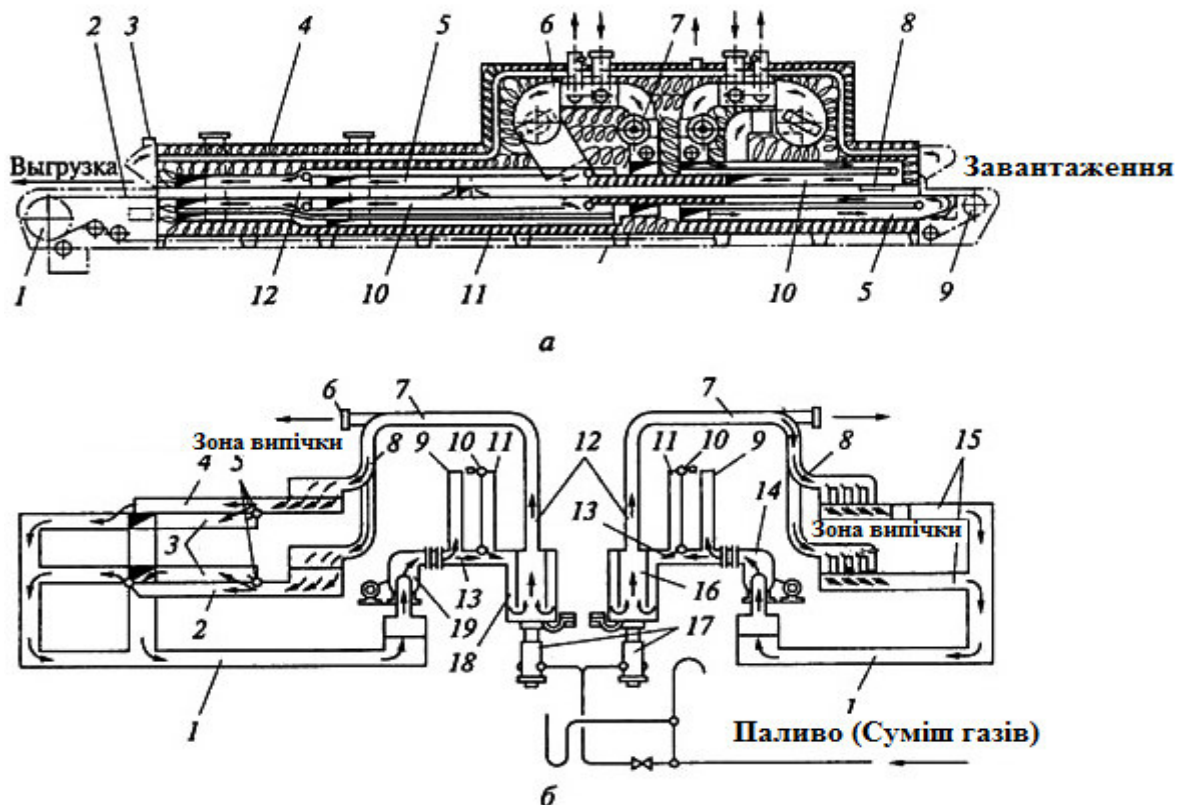
Вітчизняна хлібопекарська промисловість обладнана великою кількістю різноманітних печей, що відрізняються своєю конструкцією, системою обігріву, виробничими можливостями. В дипломній роботі використано хлібопекарську піч тунельного типу.

Тунельна піч являє собою металеву секційну конструкцію, яка складається з пекарної камери – тунельного типу, системи рециркуляційного обігріву пекарної камери, пристрою гіротермічної обробки тістових заготовок, системи відводу пароповітряної суміші з пекарної камери, каркаса, зовнішньої обшивки та ізоляції, провідної та натяжної станції конвеєра печі. Складається з двох топочних улаштувань, верхніх димових каналів, нижче яких розташована пекарна камера і нижче камери нижні димові канали. Піч призначена для роботи на газоподібному паливі. Топочний пристрій складається з топки і камери змішування, що являють собою співвісні циліндри виготовленні з жаротривкої сталі ОХ17Т.

Основною метою зони зволоження є максимальна конденсація пари на поверхні тістової заготовки. Зволоження затримує утворення твердої нерозтяжної скоринки, чим сприяє збільшенню об'єму заготовки внаслідок розширення парів і газів, запобігає появі тріщин і розривів поверхні.

Зволоження поверхні тістових заготовок на початку випікання здійснюється обприскуванням водою перед посадкою в піч і шляхом подачі пари в зону зволоження. Пару подають з тиском 20-50 кПа.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рис.1.3. Апаратурна схема печі тунельного типу:**  
**а) загальний вигляд, б) схема обігріву**

У разі достатнього парозволоження у поверхневому шарі тістової заготовки глибше проходить клейстеризація крохмалю, крохмальний клейстер покриває поверхню заготовки, закриває пори і при подальшому випіканні забезпечує утворення гладкої блискучої скоринки хліба, сприяє зниженню упікання і усихання виробів. Якщо вологість пароповітряного середовища пекарної камери недостатня - вироби мають невеликий об'єм, матову, нерівну поверхню, іноді з тріщинами і підривами. При надмірному зволоженні тістова заготовка може розпливатись, а скоринка - бути зморщеною.

У зоні інтенсивного прогрівання тістової заготовки температура середовища пекарної камери становить 260-280 °С, зволоження пароповітряного середовища не проводиться. У цій зоні температура в центрі тістової заготовки досягає 50-60 °С, а на її поверхні - 105-115 °С, відбувається інтенсивний теплообмін між поверхневими шарами тістової заготовки і пароповітряною сумішшю пекарної камери. Поглиблюється пошарова денатурація білків і клейстеризація крохмалю, починає формуватися м'якушка хліба. На поверхні скоринки починає відбуватися

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

карамелізація цукрів, реакція меланоїдиноутворення, накопичення смакових і ароматичних речовин. Тривалість перебування тістової заготовки у цій зоні складає 15-20 % від загального терміну випікання.

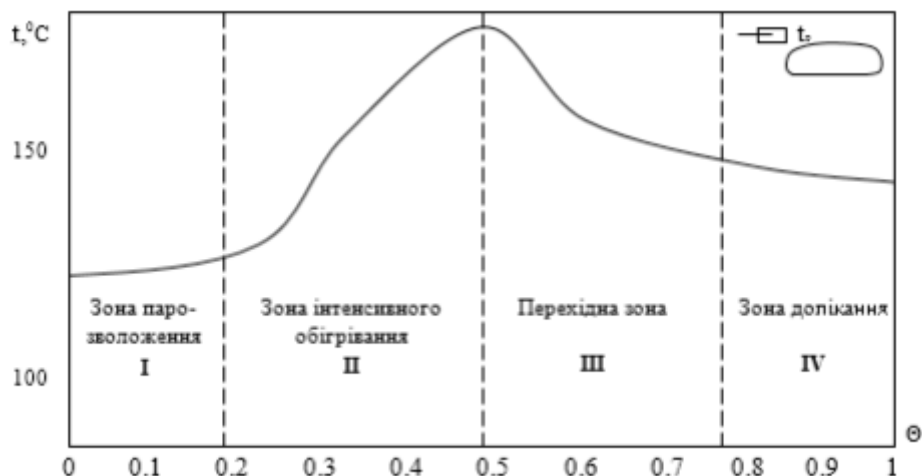
У третій зоні печі випікання відбувається вже при стабільних формі та об'ємі виробів. У цій зоні температуру пекарної камери знижують до 180-220 °С. Передача тепла від гріючих поверхонь відбувається радіаційним і конвективним способами. Температура скоринки підвищується до 160 - 180°С, а в центральній частині - до 96-98 °С. Температурний градієнт у тістовій заготовці зменшується, знижується роль термовологопровідності у прогріванні м'якушки. Під час випікання у третій зоні випічки поглиблюється клейстеризація крохмалю, денатурація білків, закінчуються процеси формування м'якушки і перетворення тістової заготовки в готовий до вживання виріб.

Тривалість стадії випікання у третій зоні пекарної камери становить більше 70 % від загального терміну випікання. Треба зазначити, що залежно від конструкції печі, в ній може бути різна кількість температурних зон.

Завдяки широкому спектру досліджень процесу випікання хлібу в хлібопекарських печах тунельного типу визначено загальний характер температурних кривих ефективних режимів, який зображено на рис.1.4. [Левченко ОАГ].

Процес випікання рекомендовано розбити на чотири найбільш характерні стадії, які відповідають зонам обігрівання пекарної камери печі (тунельної) або безрозмірній величині тривалості випікання  $\Theta$ : I - зона парозволоження (відносна величина  $\Theta=0,125$  визначається відношенням довжини зони до загальної довжини пекарної камери), середня температура середовища пекарної камери на рівні тістової заготовки  $t_0= 98-102^\circ\text{C}$ ; II - зона інтенсивного обігрівання ( $\Theta\approx 0,3$ ), кінцева температура  $t_0 = 218^\circ\text{C}$ ; III - перехідна зона ( $\Theta= 0,335$ ),  $t_0 = 140^\circ\text{C}$ ; IV - зона допікання ( $\Theta= 0,25$ ),  $t_0 = 133^\circ\text{C}$ .

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рис.1.4. Раціональний температурний режим випікання хлібу**

Як видно з графіка, при перехідному режимі випікання температура середовища пекарної камери  $t_0$  на початку процесу підтримується в зоні парозволоження на рівні близько  $100^{\circ}\text{C}$  для створення оптимальних умов для конденсації та сорбції пари, потім швидко зростає до  $t_0 \sim 218^{\circ}\text{C}$  в зоні інтенсивного теплопідведення майже до середини процесу. Після цього здійснюється різкий перехід від «теплого удару» до перехідної зони і м'якого температурного режиму зони допікання, коли температура плавно зменшується за законом, близьким до лінійного. Реалізація найбільш ефективних режимів випікання у виробничих умовах дозволила зменшити питомі витрати умовного палива на 6,2%, знизити середні втрати від упікання на 0,8% при відповідній якості продукції, вихід якої відповідно збільшується. Впровадження рекомендованого режиму випікання в печах даного типу дозволило суттєво спростити схему обігрівання печей, значно знизити їх металоємність і поліпшити виготовлення хлібу. [Левченко ОАГ].

Під час зміни асортименту змінюється наповнення печі, у результаті чого потужності пального пристрою печі виявляється забагато для встановлення необхідного температурного режиму або замало. Такі ситуації зустрічаються у випадку, коли на початок завантаження, пальники, що відпрацювали необхідну температуру, були виключені регулятором, а значна стала часу за каналом керування не дає можливості вчасно відновити необхідну температуру. Всі названі недоліки керування призводять до підгорання хліба

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

чи недостатнього його випікання, що в цілому зменшує якість виробів та збільшує кількість бракованої продукції. Час перехідного процесу (одного періоду) часто складає 50-90 хвилин, що відповідає часу випікання партії хліба.

Для визначення потужності пальників та температурного режиму печі при кожній новій партії хлібу необхідна експериментальна випічка з метою оцінки нових показників технологічного процесу, але це не гарантує, що температура та вологість випікання для даної печі і обраного асортименту буде обрана адекватно.

Так температурний режим печі, разом із кількістю потрібної пари на парозволоження та часом випікання створюють багатопараметричну задачу керування зі сталими часу, що визначаються десятками хвилин. Температура в печах регулюється широтно-імпульсним керуванням, де суміш повітря, що циркулює, змішується з топковими газами під час розігріву пічної камери (рис.1.3). Частка використання топочних газів регулюється відкриттям притокових заслонок по зонах печі, при чому регулювання заслонок переналаштовується для кожного асортименту хліба[]. Останнє дозволяє керувати тепловим градієнтом між тістовою заготовкою та камерою випікання.

Отриманий потік призводить до ефективних змін газоповітряної суміші, але оскільки кількість температурних зон на одному пальнику може варіюватись в межах 4 - 8 з врахуванням верхніх та нижніх зон обігріву печі тунельного типу. Керування температурою через потужність пальників не прийнято, оскільки в результаті використання даного методу отримаємо значне збурення у процесі самовирівнювання температури по зонах печі.[]

І все ж таки оптимальний режим роботи процесу випічки хлібу в печі тунельного типу залежить від сучасних автоматизованих систем керування, об'єктом яких має бути хлібопекарська піч – складний багатопараметричний одноємнісний об'єкт, який характеризується рядом технологічних і теплотехнічних величин.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.3. Завдання на розробку системи автоматизації

Таблиця 1.1.

№ п/п	Місце відбору	Регульований параметр	Допустимі значення пар-ру	Вид контролю	Додаткові вимоги
1.	Трубопровід подачі пари в зону зволоження печі	Витрата	265±5 кг/год	Контроль	Запис, покази. Світлова сигналізація
2.		Тиск	16-20 кПа	Контроль	Запис, покази. Світлова сигналізація
3.	Зона зволоження печі	Вологість	70-80%	Регулювання	Дія на клапан подачі пари в зону зволоження печі
4.	Трубопровід подачі повітря в 1 та 2 топку	Витрата	10±5 м3/год	Регулювання	Дія на клапан подачі повітря в 1 та 2 топку
5.	1 та 2 пальники	Наявність полум'я	-	Контроль	Запис, покази. Світлова сигналізація
6.	Трубопровід подачі газу	Тиск	9-10 кПа	Контроль	Запис, покази. Світлова сигналізація
7.		Витрата	56±5 м3/год	Регулювання	Дія на клапан подачі газу в топку
8.	I зона інтенсивного обігріву	Температура	(280-290) °С	Контроль	Запис, покази. Світлова сигналізація
9.	II перехідна зона	Температура	(230-240) °С	Контроль	Запис, покази. Світлова сигналізація
10.	III зона допикання	Температура	(120-140) °С	Контроль	Запис, покази. Світлова сигналізація
11.	Електропривід ленти конвеєру печі	Стан		Керування (ручне та дистанційне)	Пуск/Зупинка. Світлова сигналізація
12.	Електропривід поду печі	Стан		Керування (ручне та дистанційне)	Пуск/Зупинка. Світлова сигналізація

## Розділ 2. Система автоматизації

### 2.1. Обґрунтування вибору технічних засобів для вимірювання

Для ефективного та оперативного керування технологічним процесом випікання в хлібопекарській печі тунельного типу в дипломній роботі розроблено автоматизовану систему управління основними технологічними параметрами досліджуваного об'єкту, за допомогою якої здійснюється контроль та регулювання. Система автоматизації хлібопекарської печі тунельного типу побудована на базі промислового логічного контролера ПЛК Modicon M340 фірми Schneider Electric. Технічні засоби автоматизації підібрані відповідно до технологічних особливостей та регламенту. Для зменшення елементів в електричному ланцюгу в роботі переважно використано вторинні вимірювальні перетворювачі з уніфікованим сигналом 4-20 мА.

**Температура.** Конфігуруємий SITRANS TF2 (рис. 2.1. та рис.2.2) - це компактний вимірювальний перетворювач температури з цифровим дисплеєм та термометром опору Pt100. Призначення для індикації та контроль температури, що вимірюється на технологічній лінії за місцем, а також дистанційна передача сигналу вимірювальної інформації на відстань.

Вимірювальний перетворювач температури SITRANS TF2 (рис.2) об'єднує три компоненти в одному приладі: • термометр опору Pt100 в захисній трубці із нержавіючої сталі; • корпус із нержавіючої сталі з високим класом захисту; • вбудований та конфігуруємий за допомогою трьох клавіш мікропроцесорний вимірювальний перетворювач з рідинно-кристалевим дисплеєм (РКД). Випускаються осьова та радіальна конструкції TF2.

Сфера використання SITRANS TF2 – це технологічні процеси в таких галузях як: • хімічна промисловість; • енергетика; • централізоване теплопостачання; • водопостачання; • очищення стічної води;

					<i>Дипломний проект</i>			
<i>Зм.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докum.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Маджар О.С.</i>			<i>Розробка системи автоматизації тунельної печі для випікання хліба</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркцшів</i>
<i>Керівник</i>		<i>Гриценко Н.Г.</i>						
<i>Секретар ДЕК</i>		<i>Проскурка Е.С.</i>				<i>ЗАК-2-2ск</i>		
<i>Зав.кафедри</i>		<i>Ельперін І.В.</i>						

• харчова промисловість; • металургія; • виробництво цементу; • фармакологія; • біотехнологія.

Переваги приладу:

• висока точність вимірювання та індикація з дозволяючою властивістю 1/100 °С в усьому діапазоні вимірювання;

• конфігуруємі діапазони вимірювання в межах від -50 до +200°С;

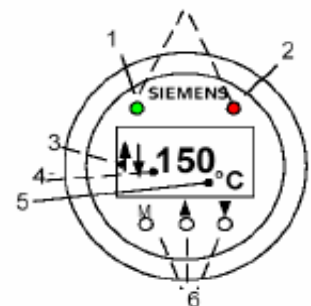
• сигналізація ( +/-) про перевищення заданого межового значення температури на РКД, а також за допомогою червоного світло діоду (рис.2.2).

Конструкція

Корпус SITRANS TF2 (рис.2.1) виготовлений із інструментальної сталі (Ø 80 мм) та оснащений захисним склом. В захисну трубу із інструментальної сталі з різьбовим з'єднанням вмонтований температурний датчик Pt100. За рахунок використання інструментальної сталі при виготовленні захисних труб досягається висока хімічна стійкість, яка визначає високу степінь захисту температурного датчика від впливу вимірюваного за температурою середовища. У стандартному виконанні довжина захисної труби складає 170 мм або 260 мм. На зворотній стороні корпусу розташовані клеми для підключення живлення за рахунок струмового ланцюга (петлі) 4...20 мА. Підключення здійснюється через рознім в відповідності з EN 175301-803A.



**Рис.2.1. Зовнішній вигляд**



- 1 Зелений світлодіод
- 2 Червоний світлодіод
- 3 Жидкокристаллический индикатор: выход за верхнее / нижнее предельное значение
- 4 Жидкокристаллический индикатор: отображаемое значение
- 5 Жидкокристаллический индикатор: единица измерения
- 6 Клавиши управления

**Рис. 2.2. Дисплей приладу**

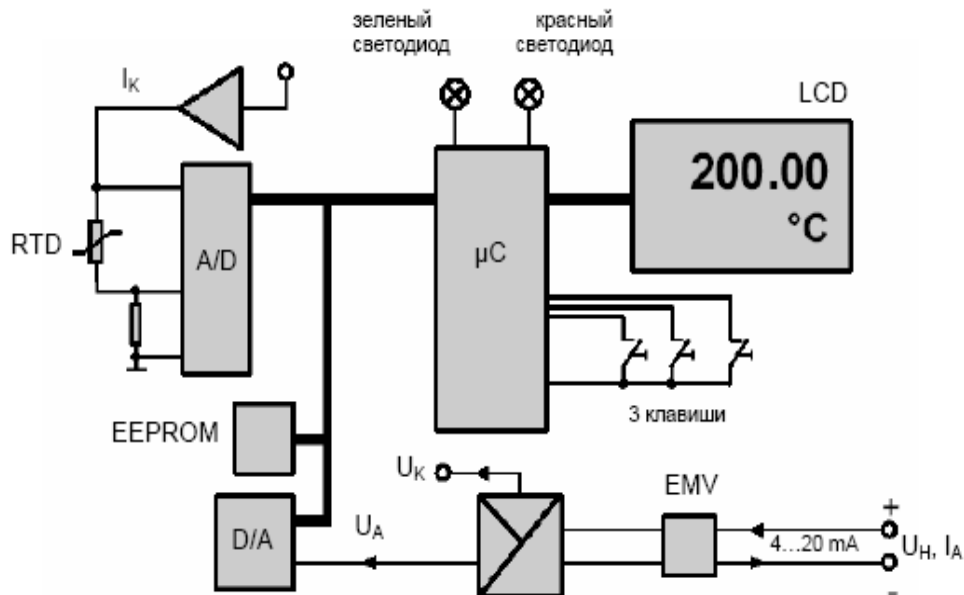
					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ док.м.	Підпис	Дата		

На передній стороні корпусу знаходиться п'ятирозрядний дисплей під скляною кришкою. Під дисплеєм розташовані три клавіші конфігурування SITRANS TF2. Над дисплеєм розташовані один зелений та один червоний світлодіоди для індикації стану приладу.

■Принцип роботи:

Вимірювальний перетворювач TF2 (рис.2.3.) можна розділити на наступні функціональні блоки і окремі функції:

Вхід: RTD – термометр опору Pt100;  $I_k$  – стабілізоване джерело струму; A/D – аналого-цифровий перетворювач.



**Рис.2.3. Принципова схема Sitrans TF2**

Вихід: D/A – цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП);

U/I – перетворювач напруги в струм, який живиться від стабілізованого джерела каліброваної напруги  $U_k$  та перетворює напругу ЦАП в уніфікований вихідний сигнал по струму (4...20 мА);

EMV – вихідний каскад з захисними компонентами, який об'єднує струм живлення з уніфікованим вихідним сигналом по струму;

$U_H$  – джерело живлення постійного струму в межах +12 В - +36В;

$I_A$  – уніфікований вихідний сигнал по струму (він же струм споживання).

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

Мікроконтролер:

EEPROM – перепрограмуємий запам'ятовуючий пристрій для всіх параметрів;  
 $\mu C$  – функції обчислення та контролю мікроконтролера.

Вихід: D/A – цифро-аналоговий перетворювач (ЦАП);

U/I – перетворювач напруги в струм, який живиться від стабілізованого джерела напруги та перетворює напругу ЦАП в уніфікований вихідний сигнал по струму (4...20 mA);

EMV – вихідний каскад з захисними компонентами, який об'єднує струм живлення з уніфікованим вихідним сигналом по струму;

$U_H$  – джерело живлення постійного струму в межах +12 В - +36В;

$I_A$  – уніфікований вихідний сигнал по струму (він же струм споживання).

Керування та індикації:

3 клавіші – конфігурування параметрів перетворювача;

LCD – індикація вимірюваних величин з одиницями вимірювання (РКД);

Зелений світлодіод – індикація нормального режиму роботи;

Червоний світлодіод – індикація повідомлень про помилки та при виході параметру за встановлені межі.

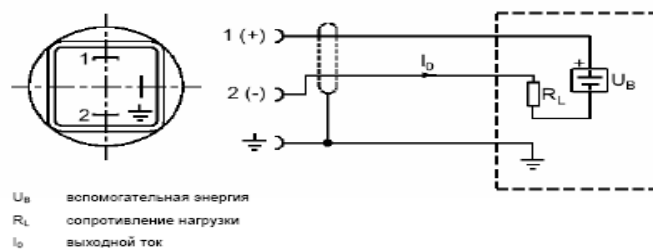
Первинний вимірювальний перетворювач RTD (Pt100) (рис.2.3.), що знаходиться в об'єкті, отримує живлення від стабілізованого джерела струму  $I_K$ . Спад напруги на датчику відповідає вимірюваній температурі. Аналого-цифровий перетворювач (A/D) перетворює спад напруги у цифровий сигнал. В мікроконтролері ( $\mu C$ ) відбувається лінеаризація сигналу у цифровій формі і відтворюється у цій формі у відповідності з необхідними даними (наприклад, вибраною одиницею вимірювання або необхідному діапазону), що запрограмовані заздалегідь та зберігаються в енергонезалежній постійній пам'яті EEPROM, яка дозволяє перепрограмування.

Основною перевагою перетворювача Sitrans TF2 є схема живлення в два проводи, в якій виконано об'єднання ланцюга живлення перетворювача з

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

одночасним передаванням по ньому сигналу вимірювальної інформації - вихідного уніфікованого аналогового сигналу по струму в межах 4...20 мА, який відповідає значенню вимірюваної температури. Тобто, при налаштованому початковому значенні вимірюваної температури, схема перетворювача споживає струм 4 мА напругою постійного струмі в межах 12...30В. В кінці діапазону – перетворювач споживає струм 20 мА при тих же межах напруги живлення.

Для передавання інформації про значення вимірюваної температури немає необхідності в додаткових лініях зв'язку. Для отримання цієї інформації достатньо в ланцюг підведення живлення в два проводи, ввімкнути опір навантаження величиною  $R_L \cong 500 \text{ Ом}$  (рис. 2.4) та отримати на ньому, на необхідній відстані від місця вимірювання, спад напруги, який може бути використаний, наприклад, для перетворення в аналого-цифровому перетворювачі (АЦП) мікропроцесорного контролера системи керування технологічним процесом.



**Рис.2.4. Схема підключення TF2 до двопроводової лінії живлення**

#### Технічні характеристики TF2:

Вхід: вимірювана величина – температура в діапазоні від -50...+200°C.

Вихід: уніфікований сигнал 4...20 мА по дротам живлення.

Нижня (мінімум) - 3,6 мА та верхня межа струму (максимум) - 23 мА.

Вихід захищений: від от невірною під'єднання джерела живлення за полярністю, від перевищення напруги живлення та від короткого замикання.

Максимальний опір навантаження:  $U_H - 12V / 0,023A$ .

Характеристика перетворення – прямо пропорційна вимірюваній температурі.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

Нормовані метрологічні характеристики:

- Абсолютна похибка при температурі навколишнього середовища в межах  $(23\pm 5)^\circ\text{C}$  складає:  $< \pm(0,45^\circ\text{C} + 0,2\%$  від верхньої межі налаштованого діапазону вимірювань).
- Час одного циклу вимірювання  $\leq 100$  мс.
- Додаткова похибка від зміни температури навколишнього середовища:  $< \pm 0,15\%$  від верхньої межі налаштованого діапазону вимірювань на кожні  $10^\circ\text{C}$ .
- Додаткова похибка від впливу вібрацій в усіх напрямках:  $< \pm 0,05\%/g$  до  $500\text{Гц}$
- Додаткова похибка від впливу нестабільності джерела живлення на кожний вольт зміни напруги:  $< \pm 0,01\%$  від верхньої межі налаштованого діапазону вимірювань.

Умови використання:

- Температура навколишнього середовища, в межах:  $-25\dots+85^\circ\text{C}$ .
- Рекомендований діапазон температур, в межах:  $-10\dots+70^\circ\text{C}$ .
- Температура середовища зберігання приладу, в межах:  $-40\dots+85^\circ\text{C}$ .

**Тиск.** В роботі використано вимірювальний перетворювач тиску SITRANS P серії MS (рис. 2.5.) для неагресивних і агресивних газів, пари і рідин. Можливі інтервали вимірювання від  $0,03$  до  $400\text{ bar}$ . Вихідним сигналом є постійний струм від  $4$  до  $20\text{ mA}$ , який лінійно-пропорційний вхідному тиску.

- Інтервал виміру  $0,03$  до  $400\text{ bar}$ .
- Нижня межа вимірювання - вимірювальна комірка з наповнювачем з силіконового масла  $30\text{ mbar}$  (абс.).
- Верхня межа вимірювання  $100\%$  макс. інтервалу вимірювання.
- Початок вимірювання (безступінчата установка) між межами вимірювання.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		



**Рис. 2.5. Перетворювач тиску SITRANS P серії MS**

Вихідний сигнал 4 до 20 mA

- нижня межа 3,84 mA;
- верхня межа 20,5 mA;
- електричне демпфірування - встановлюються тимчасові постійні 0 до 100 с;
- датчик струму встановлюється 3,55 до 23 mA .

Сигнал відмови 22,8 mA навантаження

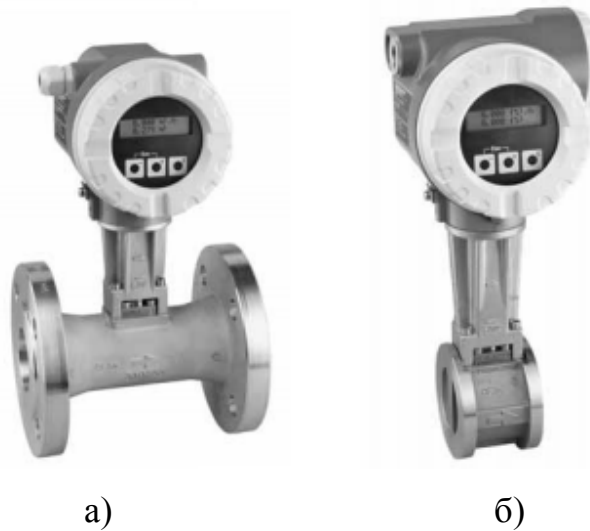
- без HART-комунікації  $R_B \leq (U_H - 10,5 \text{ V}) / 0,023 \text{ A}$  в  $\Omega$ ,  $U_H$ : допоміжна енергія в V;
- з HART-комунікацією  $R_B = 230$  до  $500/1100 \Omega$ . Характеристика лінійно зростаюча або падаюча.

**Витрата.** Так як за технологією необхідно контроль та регулювання витрати газу, повітря та пара мною обрано Proline Prowirl 73 фірми E+H - універсальний витратомір, який призначений для вимірювання об'ємної / масової витрати пари, води, природного газу, стисненого повітря та інших рідин/газів.

В основу роботи витратомірів вихрового випромінювання покладений принцип вихрового проходу Кармана (число Кармана). Коли рідина тече повз погано обтічного тіла, поперемінно утворюються і скидаються вихори і кожен генерує локальну точку низького тиску позаду погано обтічного тіла. Коливання тиску

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		

виявляються датчиком і перетворюються в електричні імпульси (цифровий сигнал). В межах експлуатаційних обмежень приладу частота генеруючих вихорів прямо пропорційна об'ємній витраті.



**Рис. 2.6. Зовнішній вигляд вихрового витратоміра Prowirl 73**

*а) фланцеве, б) пластинчасте виконання*

Переваги приладу. Витратомір Prowirl 73 пропонує повний замірний пункт для насиченої пари або рідкої маси в окремому приладі: масова витрата розраховується по вимірюваним змінним об'ємної витрати і температури у вбудованому суматорі потоку.

Для перенасиченого пара або газу величину зовнішнього тиску зчитувати необов'язково, для підведення дельта-теплоти величина зовнішньої температури може зчитуватися. Прилад може бути попередньо запрограмований (обмовлюється в ТЗ замовника або визначається областю застосування).

Датчик Prowirl стійкий, надійний і перевірений більш, ніж в 100'000 прикладних задачах. Він є:

- багатовимірне вимірювання витрати в компактному виконанні;
- висока стійкість до:
  - вібрацій (понад 1 г по всіх осях)
  - теплових ударів (> 150 К / с)

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

- закупорюють рідин
- гідравлічних ударів

- не вимагає технічного обслуговування, не має рухомих частин, відсутня зрушення нульової точки.

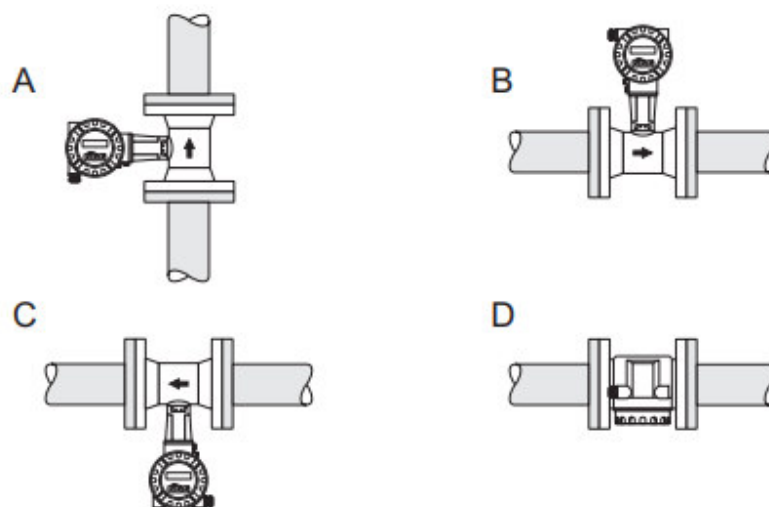
Завдяки збалансованій системі DSC датчик зчитує тільки імпульси тиску, обумовлені вихорми, і несприйнятливий до будь-яких механічних вібрацій трубопроводу. Завдяки своїм механічним виконанням ємнісний датчик також нечутливий до теплових і гідравлічних ударів в паропроводах.

Вихід по струму: 4 ... 20 мА з HART.

У більшості випадків прилад можна монтувати на трубопроводі в будь-якому положенні. Лише при роботі з рідким продуктом у вертикальній трубі кращим є висхідний потік, щоб уникнути часткового заповнення труби.

При роботі з гарячими рідкими продуктами (наприклад, температура пари або рідини  $\geq 200$  ° С) слід вибрати варіант орієнтації С або D, щоб допустима температура навколишнього середовища не була перевищена.

Варіанти орієнтації В і D рекомендуються для дуже холодної рідини (наприклад, рідкий азот). Варіанти орієнтації В, С і D можливі при горизонтальному монтажі. Стрілка на приладі завжди повинна вказувати в напрямку витрати при першій-ліпшій нагоді орієнтації.



**Рис.2.7. Можливі варіанти орієнтації приладу**

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

**Вологість.** Для вимірювання вологості в зоні зволоження обрано датчик вологості та температури промислового використання 90.7023/333 для важко доступних місць.



**Рис.2.8. Комплект для вимірювання вологи у важко доступних місцях JUMO**

- Діапазон температур  $-40 \dots + 80 \text{ }^{\circ}\text{C}$ ;
- Зонд з кабелем для віддалених вимірювань для об'єктів з підвищеними вимогами;
- Виняткова точність і стабільність;
- Короткий час реагування в силу малої термічної маси;
- Побудова графіка поточного процесу і історії вимірювань за останній рік;
- Стійкий до корозії корпус IP 65;
- Відповідає стандарту NIST.

Даний датчик вологості і температури є універсальним вимірювальним приладом для об'єктів, де потрібні маленькі й вузькі зонди з подовжувальним кабелем. Гнучкі можливості монтажу: для установки зонда в трубах, каналах, в стінних отворах можна замовити інсталяційний набір для каналів, що складається з алюмінієвого фланця, нарізного сполучення і несучого стержня.

Кабель зонда гнучкий і може мати довжину 2 м, 5 м і 10 м. Є вибір з двох діапазонів вимірювання температури навколишнього середовища: до  $80 \text{ }^{\circ}\text{C}$  або до  $120 \text{ }^{\circ}\text{C}$ .

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

## 2.2. Схема автоматизації

Схема автоматизації хлібопекарської печі тунельного типу зображена на кресленні №1 графічного матеріалу проекту. Процес випічки хліба відбувається наступним чином.

Контроль температури в зоні зволоження та інших зонах печі здійснюється встановленим по місцю мікропроцесорним вимірювальним перетворювачем Sitrans TF2 фірми Siemens. Він містить вбудований чутливий елемент – платиновий термометр опору Pt 100 та вторинний показуючий, самозапам'ятовуючий пристрій з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА (позиція 3а, 3б, 4а, 4б, 5а, 5б).

Регулювання вологості в зоні зволоження реалізовано за допомогою датчика вологості для важкодоступних місць, до складу якого входить вимірювальний зонд з подовжжувачем кабелем та вторинним передворювачем з цифровим дисплеєм JUMO 90.7023/333 (позиція 11а, 11б). Уніфікований сигнал з датчика надходить до контролера, де формується управляючий сигнал, який через електропневмо перетворювач TRP-8 (позиція 11в) надходить на пневмоциліндр festo dsbc-40-40-ppva-n3, який використаний в ролі виконавчого механізму (позиція 11г), що відкриває чи закриває клапан подачі пари з ТЕЦ.

Контроль витрати пари, що надходить в піч в зону зволоження тістових заготовок, відбувається за допомогою вихрової універсальної системи для вимірювання об'ємної та масової витрати пару, природного газу, стисненого повітря та ін. газів Proline ProWirl 73 з уніфікованим вихідним сигналом 4-20 мА (позиція 6а, 6б).

За допомогою даного вимірювального комплексу здійснюється і регулювання витрати топочного газу та повітря в трубопроводі подачі їх до пальників (позиція 7а, 7б, 8а, 8б, 9а, 9б, 10а, 10б). Сигнал з датчика надходить до контролера, де формується управляючий сигнал, який через електропневмо перетворювач TRP-8 (позиція 7в, 8в, 9в, 10в) надходить на пневмоциліндр festo dsbc-40-40-ppva-n3, який використаний в ролі виконавчого механізму (позиція 7г, 8г, 9г, 10г), який відкриває чи закриває клапан подачі топочного газу та повітря до пальників.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

Піч ППЦ- 250 складається з двох топочних улаштувань, верхніх димових каналів, нижче яких розташована пекарна камера і нижче камери нижні димові канали. Піч призначена для роботи на газоподібному паливі. Топочний пристрій складається з топки і камери змішування. Спочатку повітря і газ потрапляє у камеру змішування. Після чого газоподібна суміш подається у топку. Якщо подати газу більше або повітря менше норми, то газ буде не повністю згорати, а накопичення не згорівшого газу може призвести до вибуху, що становить загрозу руйнування обладнання, а також життю і здоров'ю обслуговуючого персоналу. Щоб запобігти цьому небезпечному явищу необхідно контролювати співвідношення, в якому газ і повітря подаються в топку, при якому газ повністю згорав. Для цього встановлено контролю тиску газу, що подається в першу і другу топку вимірювальний перетворювач тиску для неагресивних та агресивних газів, пару та рідин Sitrans P серія MS з уніфікованим вихідним сигналом 4..20 мА (позиція 1а).

Аналогічно проводиться контроль за тиском подачі пари в зону зволоження печі (позиція 2а).

Для надійної роботи печі в кожній топці встановлено захист по наявності полум'я - автоматичного контролю факела. При загасанні факела автомат вимикає подачу палива і подає світловий попереджувальний сигнал. Таким чином передбачений контроль інтенсивності факела (наявності чи відсутності) в топці №1 та №2 за допомогою двох фотодатчиків контролю наявності полум'я в пальнику, що входять в комплект запально-захисного пристрою для дистанційного розпалювання пальників ФД-02 (позиція 12а, 13а), які працюють в комплекті з сигналізатором горіння ЛУЧ-1АМ (позиція 12б, 13б). Наявність двох фотодатчиків (дублювання) створює безпечність роботи печі, при не спрацюванні одного датчика спрацює другий і таким чином робочий режим печі не буде порушено.

В кінці камери змішування до неї приєднується патрубок, який підводить короб, а звідси вони потрапляють на обігрів печі. Продукти згорання, змішанні з рециркуляційним газами з камери змішування потрапляють в газорозподільний короб, який розташований з лівого боку печі. За допомогою шиберів газові потоки в

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

першому, другому і третьому контурах обігріву можна розділити на потоки, що подаються в верхні і нижні обігрівачі пекарної камери. Верхні канали з'єднуються з нижніми за допомогою патрубків, по яким газ з верхніх каналів потрапляють до нижніх. До нижніх каналів підведенні транспортуючі газопроводи, які відводять газ з каналів обігріву. Всі відповідні газопроводи розташовані в нижній частині печі під пекарною камерою. Ці газопроводи підводять охолоджені газ в короб, розділений перегородками на три частини. Цей короб приєднується до демонтуючого патрубка вентилятора рециркуляції з електродвигуном потужністю 7,5 кВт. На виході з вентилятора потік газів розділяється: частина газів, які відповідають за об'ємом продуктам згорання і присосами в газовому тракті, виділяються в димову трубу; решта газів (рециркуляційні) направляються в газопровід, який з'єднує вихлопний патрубок вентилятора з кільцевим каналом, що розташований навколо топки.

Використана парова суміш виділяється з пекарної камери витяжним зонтом, який складається з повітрявідводного улаштування вентилятора, що запускається в роботу електродвигуном. Потім хлібна заготовка проходить по температурним технологічним зонам.

Електродвигуни ленти конвеєра та поду пічі приводять в дію за допомогою магнітних пускателів (позиція КМ1, КМ2) та кнопочних станцій (позиція SA1, SA2), яка має змогу переключати з ручного на автоматичний режим роботи двигуна.

Індикація, реєстрація та сигналізація даних технологічних параметрів проводиться на SCADA програмі.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

### 2.3. Специфікація засобів автоматизації

Таблиця 2.1.

№ п/п	№ позиції за схемою	Найменування і технічна характеристика виробу	Тип, марка	Од. вимір-ня	К-ть	Примітка
1	2	3	4	5	6	7
	1а, 2а	Вимірювальний перетворювач тиску для неагресивних та агресивних газів, пару та рідин. Межі вимір. 0,03 – 400 бар. Вих. сигнал 4-20 мА.	Sitrans P серія MS	бар	2	Siemens
	3а, 3б, 4а, 4б, 5а, 5б	Вимірювальний мікропроцесорний перетворювач температури з вбудованим платиновим термометром опору Pt100 в захистній трубці із нержавіючої сталі, показуючий з світловою сигналізацією. Вихідний сигнал 4-20 мА. Вимірювальний діапазон температур -50...+200°C.	Sitrans TF2	°C	3	Siemens
1	6а, 6б, 7а, 7б, 8а, 8б, 9а, 9б, 10а, 10б	Вихрова універсальна система вимір. об'ємної та масової витрати пару, природного газу, стисненого повітря та ін. газів. Вих. сигнал 4..20 мА с HART	Proline ProWirl 73	м³/год	5	Endress+Hauser
2	11а, 11б	Датчик вологості для важкодоступних місць з зондом та подовжуючим кабелем, довжиною до 10 м. Діапазон вологості 0..100%. Температура середовища до 120 °C. Вихідний сигнал 4-20мА	90.7023/333	%	1	JUMO
5	12а, 13а	Фотодатчик контролю наявності полум'я в пальнику, входить в комплект запально-захисного пристрою для дистанційного розпалювання пальників. Довжина факела не >0,8 м	ФД-02 33У-3	-	2	Пром прибор Сервис
6	12б, 13б	Сигналізатор горіння, входить в комплект запально-захисного пристрою для дистанційного розпалювання пальників. Вхід-сигнал від фотодатчика, вихід - релейний сигнал.	ЛУЧ-1АМ 33У-3	-	2	Пром прибор Сервис

						Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата			

1	2	3	4	5	6	7
8	7в, 8в, 9в, 10в, 11в	Електропневмоперетворювач. Мінімальний тиск 2,5 бар. Max U = 250 В.	TRP-8	-	5	Camozzi
9	7г, 8г, 9г, 10г, 11г	Пневмоциліндр. Межі 1,5-12бар. Dходу=40	DSBC-40- 40-PPVA- N3	-	5	Festo
10	КМ1, КМ2	Пускач магнітний, 18А. Робоча напруга 220/380 В.	ПМ 1-18- 01	-	2	АСКО УКРМ

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

### Розділ 3. Проектне компонування мікропроцесорного контролера

В даній роботі використовується мікропроцесорних контролер фірми Schneider Electric, які останнім часом широко використовувались вітчизняними інжиніринговими фірмами при розробці та впровадження систем автоматизації в різних галузях промисловості. Концерном Schneider Automation випускається велика гама ПЛК, які умовно поділяють на дві гілки. До першої гілки відносять ПЛК Modicon TSX Nano, Modicon TSX Micro, Modicon TSX Premium, а до другої- Modicon TSX Quantum.

Конструктивно M340 може складатись з таких основних елементів:

1. Шасі, на яких встановлюються модулі.
2. Модуль живлення, який обов'язково повинен бути присутнім в кожному шасі, і який встановлюється на спеціально відведеному місці у шасі.
3. Модуль розширення для контролерів побудованих на базі декількох шасі.
4. Кабелі розширення BusX, що з'єднує модулі розширення на суміжних шасі.
5. Термінуючі резистори в кінцевих модулях розширення архітектури M340.
6. Процесорний модуль, який обов'язково розміщується в посадочному місці з номером 00 у шасі, яке має номер 0.
7. Модулі вводу/виводу та модулі спеціального призначення, які розміщуються в будь-якому посадочному місці.

					<i>Кваліфікаційна робота</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Маджар О.С.</i>			<i>Розробка системи автоматизації тунельної печі для випікання хліба</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>		<i>Гриценко Н.Г.</i>						
<i>Секретар ЕК</i>		<i>Проскурка Е.С.</i>				<i>ЗАК-2-2ск</i>		
<i>Зав.кафедри</i>		<i>Ельперін І.В.</i>						



**Рис.3.1. Зовнішній вигляд Modicon M340**

### **3.1. Проектне компонування ПЛК**

Процесорні модулі M340 відрізняються функціональними можливостями, швидкістю обробки інструкцій, кількістю входів/виходів, які може обробляти контролер, кількістю спеціальних каналів, об'ємом доступної оперативної пам'яті та вбудованими в модуль ЦПУ комунікаційними засобами.

У кожному процесорному модулі M340 є вбудований USB-інтерфейс, який призначений для підключення терміналу програмування (комп'ютер зі встановленим UNITY PRO), а також для з'єднання зі операторськими станціями з встановленим програмним забезпеченням SCADA/HMI, а також з операторськими панелями. Для цього можна використати спеціальний екранований кабель, який поставляється у комплекті з процесорним модулем M340, або стандартний USB кабель з роз'ємом mini B. У будь-якому випадку довжина кабелю не може перевищувати 5 м.

У спеціальному слоті розміщується SD-карта пам'яті. На карті, що входить у комплект стандартної поставки M340 (об'ємом 8 Мбайт), зберігається завантажений проект, вбудовані діагностичні Веб-сторінки, а також при необхідності вихідний код проекту, константи та діалогові таблиці. Альтернативний варіант – використання карти обсягом 128 Мб, з підтримкою збереження даних користувача з прикладної

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

програми, а також файлових операцій через FTP Сервер. Кожний процесорний модуль може вміщувати один або два вбудовані комунікаційні канали з комбінації: послідовний Modbus Serial RS-232/RS- 485, Ethernet TCP/IP та CANOpen. Крім функцій обміну з іншими пристроями системи, Modbus RTU (Serial) та Modbus TCP/IP (Ethernet) забезпечують доступ терміналу програмування UNITY PRO до контролера.

Споживана потужність, яка необхідна для модулів, встановлених на монтажному шасі, залежить від типу даних модулів. Тому для того, щоб вірно вибрати модуль живлення, який забезпечить необхідне споживання необхідно проводити розрахунок енергоспоживання. Живлення модулів по шасі проводиться через два виходи модуля живлення 24 В (24V\_BAC) та 3,3 В (3V3\_BAC). Вихід 24V\_BAC використовується для живлення встановлених на монтажному шасі модулів входів-виходів та процесорного модуля, а вихід 3V3\_BAC використовується тільки для живлення модулів входів-виходів.

Модулі живлення, що живляться напругою 100...240VAC (BMX CPS 2000 та BMX CPS 3500), додатково мають зовнішній вихід 24 В (24V\_SENSORS), який можна використати для живлення датчиків або виконавчих механізмів.

Модулі дискретних входів/виходів M340 являють собою стандартні модулі, які займають один слот. Ці модулі відрізняються за типом каналів (вхідні, вихідні, змішані), за кількістю каналів, за типом вхідних та вихідних каналів і за способом підключення. Ці модулі можна встановлювати у будь-яке посадочне місце шасі, окрім місця для живлення (PS) та процесорного модуля. Дозволяється гаряча заміна модулів (при включеному живленні).

Дискретні модулі можуть мати входи/виходи постійного струму (DC) на 24 VDC та 48 VDC з позитивною (sink) або негативною (source) логікою підключення, або змінного струму (AC) на 100-240 VAC.

Доступні модулі з транзисторними або релейними виходами. Виходи можуть бути захищені від короткого замикання. Всі дискретні входи та виходи ізольовані

Від					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

внутрішньої шини.

Модулі аналогових входів/виходів M340 являють собою стандартні модулі, які займають один слот. Як і дискретні модулі, аналогові відрізняються за типом каналів (вхідні, вихідні, змішані), за кількістю каналів, за характеристикою і діапазоном сигналів (напруга, струм, термометри опору, тощо), наявністю гальванічного розподілення і за способом підключення. Ці модулі можна встановлювати у будь-яке посадочне місце шасі, окрім місця для живлення (PS) та процесорного модуля. Дозволяється гаряча заміна модулів (при включеному живленні).

Аналогічно аналоговим модулям Premium, аналогові вхідні модулі M340 виконують функції:

- сканування вхідних каналів різного діапазону за допомогою безконтактного мультиплексування;
- аналогово-цифрове перетворення;
- фільтрація сигналів;
- моніторинг модуля: тестування ланок перетворення, вхідний контроль перевищування рівня сигналу, тест наявності клемної колодки.

Модулі аналогових виходів виконують функції:

- цифро-аналогове перетворення;
- захист каналів модулів від перевантаження;
- моніторинг модуля: тест перетворення, тест виходу за межі, тест наявності клемної колодки.

Реалізація алгоритму керування хлібопекарською піччю тунельного типу потребує:

- Аналогові входи 11;
- Аналогові виходи 5;
- Дискретні входи 2;
- Дискретні виходи 4.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

Необхідне обладнання для компонування ПЛК М340 наведене в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1.

Найменування	Кількість	Примітка
BMX CPS 2000	1	Модуль живлення 100...240 VAC, 20 Вт
BMX P34 2010	1	Процесорний модуль
BMX AMI 0800	2	Модуль аналогових входів на 8 каналів
BMX AMO 0802	1	Модуль аналогових виходів на 8 каналів
BMX DDI 1612	1	Модуль дискретних входів на 16 каналів
BMX DDO 1612	1	Модуль дискретних виходів на 16 каналів
BMX FTB 2820	3	28 контактна з'ємна клемна колодка
BMX FTB 2010	2	20 контактна з'ємна колодка з гвинтовими зажимами

### 3.2. Загальна схема підключення датчиків, виконавчих механізмів та регулюючих органів

Принципова схема підключення датчиків, ВМ та РО до контролера реалізована на кресленні 2 графічного матеріалу, де кожний провід має свою нумерацію для полегшення в підключенні. Так ланцюги управління, регулювання та вимірювання нумеруються 1-399, а ланцюги живлення мають нумерацію 800-999. При виборі даної системи технічних засобів автоматизації було враховано структурні та алгоритмічні особливості об'єкта, умови роботи та вимоги до якості роботи проектованої системи.

Зокрема, враховані такі вихідні дані, як локальність системи, необхідна серійність та однорідність апаратури. Також враховано невелика інерційність об'єкта, велика частота збурень, необхідна дистанційність передачі сигналів.

Розглянувши всі переваги і недоліки сучасних систем автоматизації та вивчивши вихідні дані по даному об'єкту, нами було обрано пневматичну систему

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

технічних засобів з урахуванням її малої інерційності, простоти живлення, а також мінімальних затрат на її впровадження.

Для регулювання основних технологічних параметрів процесу випічки хлібу та хлібобулочних виробів в печі тунельного типу використовуються пневматичні виконавчі механізми з вихідним сигналом 4-20 мА. Передбачено автоматичний та ручний режими роботи електроприводів ленти конвеєра та поду печі. Сигналізація технологічних параметрів реалізована за допомогою SCADA програми на ПК оператора-технолога.

Схема управління електродвигунами М1 та М2 при живленні ланцюга управління фазною напругою працює наступним чином.

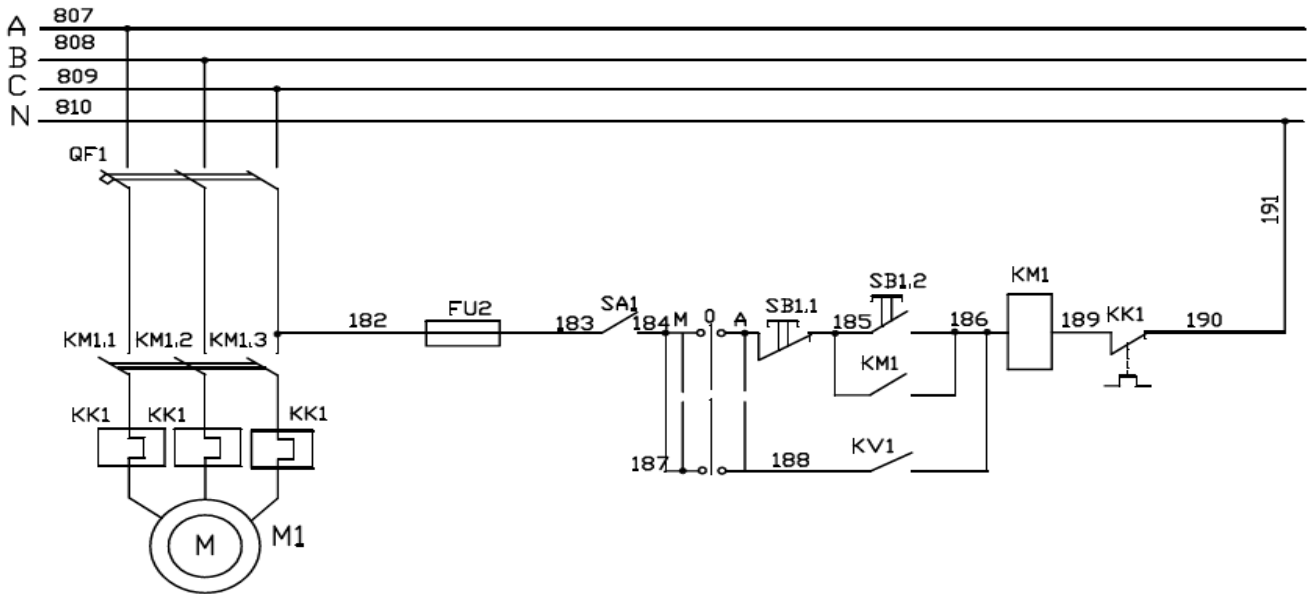
В ручному режимі роботи електродвигуна М1 при натисканні кнопки SB1.2 (кнопка “Пуск”) напруга 220 В подається на магнітний пускач КМ1, як наслідок замикається його контакт КМ1, що забезпечує блокування кнопки “Пуск”, тобто при відпусканні цієї кнопки схема продовжує працювати. Це явище називається самопідхватом. Магнітний пускач, в свою чергу, і запускає двигун.

При натисканні кнопки SB1.1 (кнопка “Стоп”) електричний ланцюг розривається, на магнітний пускач не надходить струм, розмикається його само підхват, електродвигун зупиняється.

При перемиканні на автоматичний режим роботи електродвигуна М1 за допомогою ключа SA1, управління відбувається дискретним виходом з промислового контролера KV1.

Двигун оснащений тепловим реле для захисту від перегріву. Отже, коли двигун перегрівається, розмикаються нормально замкнені контакти теплових реле КК1, розривається ланцюг і двигун зупиняється.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

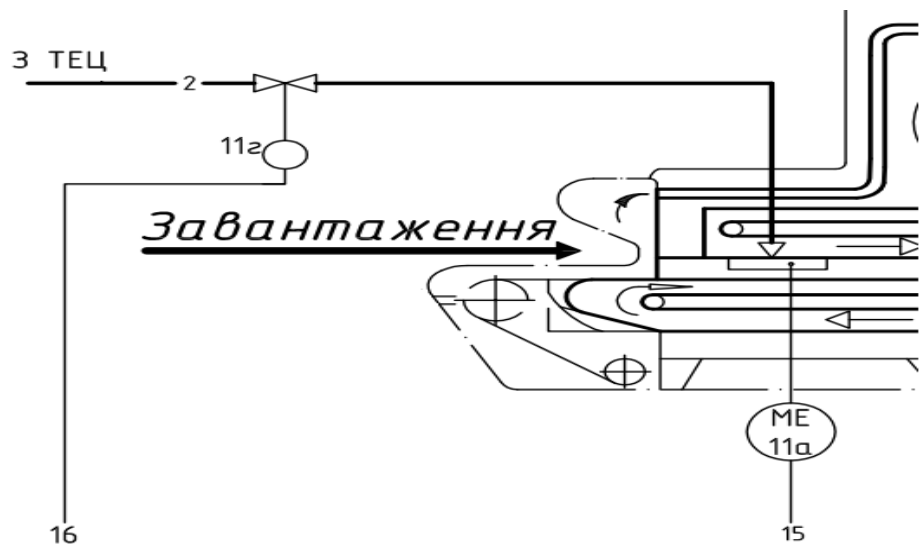


**Рис.3.2. Принципова електрична схема управління електродвигуном М1**

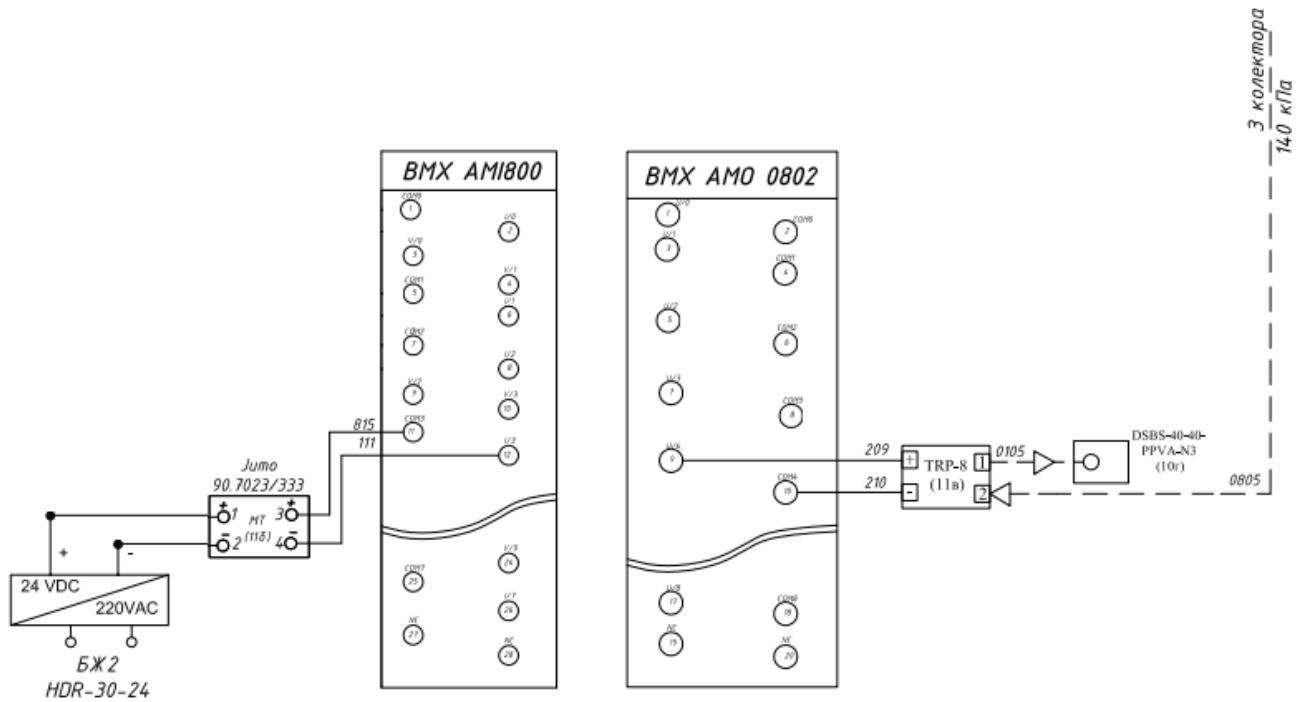
Електродвигун М2 працює за аналогічною схемою.

### 3.3. Розширені схеми підключення для окремого контуру

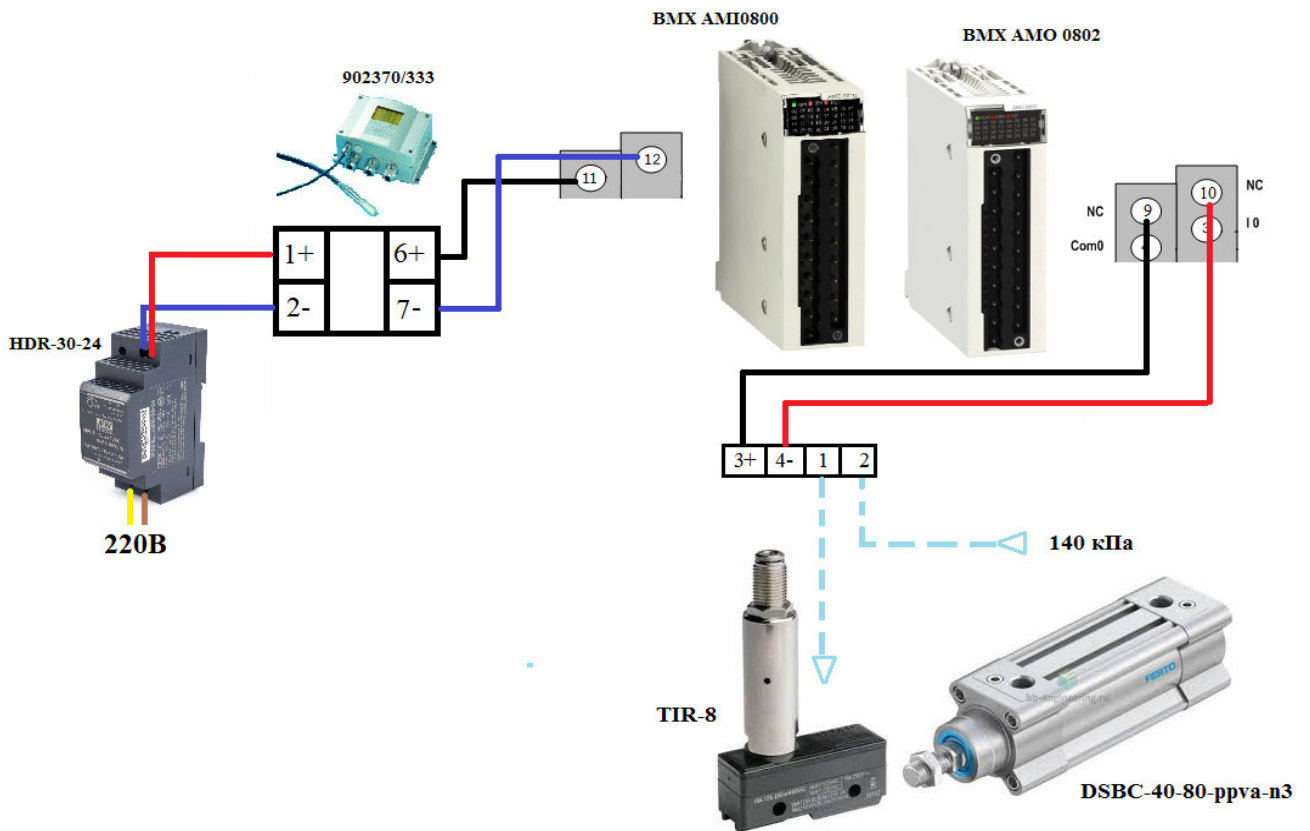
**Фрагмент схеми автоматизації для контуру регулювання вологості в зоні зволоження печі тунельного типу**



## Фрагмент схеми підключення для контуру регулювання вологості в зоні зволоження печі тунельного типу



### Грфічна схема підключення



					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		

## Розділ 4. Креслення встановлення технічного засобу

Вологість повітря, газів, твердих та сипких матеріалів необхідно контролювати в ході різних технологічних процесів, а також під час зберігання продуктів в складських приміщеннях та холодильних камерах.

Вміст вологи в газовому середовищі характеризується абсолютною або відносною вологістю.

Абсолютна вологість газового середовища - це масова кількість (концентрація) водяної пари, що міститься в 1 м<sup>3</sup> газового середовища. Одиниці вимірювання абсолютної вологості: кг/м<sup>3</sup> або г/м<sup>3</sup>.

Відносна вологість газового середовища ( $\psi$ , %) або степiнь його насичення - це відношення абсолютної вологості газового середовища  $M_A$  певного об'єму до масової концентрації (кількості) водяної пари  $M_H$ , яка насичує це середовище за даної температури.

$$\psi = \frac{M_A}{M_H} 100\%$$

Вимірювання вологості повітря та газів проводиться, в основному, психрометричними, сорбційними методами та за точкою роси.

Вміст вологи в твердих та сипких матеріалах характеризується вологовмістом  $U$  та вологістю  $W$ .

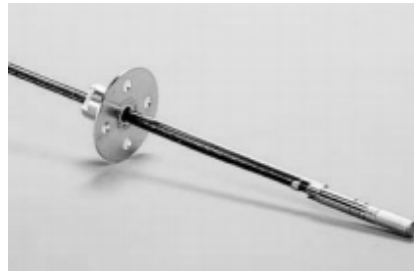
Вологовміст  $U$  - відношення маси вологи  $M$  в матеріалі до маси абсолютно сухого матеріалу  $M_0$ :  $U = M / M_0$ .

Вологість  $W$  - відношення маси вологи  $M$  в матеріалі до маси вологого матеріалу  $M_B$ :  $W = M / M_B = M / (M_0 + M)$ .

Відповідно до технологічних та технічних умов в дипломній роботі для вимірювання вологості в зоні зволоження тунельної печі було обрано датчик

					<i>Кваліфікаційна робота</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докцм.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Маджар О.С.</i>			<i>Розробка системи автоматизації тунельної печі для випікання хліба</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркцшів</i>
<i>Керівник</i>		<i>Гриценко Н.Г.</i>						
<i>Секретар ЕК</i>		<i>Проскурка Е.С.</i>				<i>ЗАК-2-2ск</i>		
<i>Зав.кафедри</i>		<i>Ельперін І.В.</i>						

вологості і температури 90.7023/33 фірми JUMO, що є універсальним вимірювальним приладом для додатків, де потрібні маленькі й вузькі зонди з подовжувальним кабелем. Для установки зонда в трубах, каналах, в стінних отворах можна замовити інсталяційний набір для каналів, що складається з алюмінієвого фланця, нарізного сполучення і несучого стержня.



**Рис.4.1. Інсталяційний набір для каналів**

Кабель зонда має гнучкість і може мати довжину 2 м, 5 м і 10 м.

Датчик 90.7023/33 фірми JUMO для промислового використання має такі переваги:

- Вимірювання вологості в повному діапазоні 0..100%;
- Витримує температури до 180 ° С (залежно від типу зонда);
- Витримує тиск до 100 бар (залежно від типу зонда);
- Міцний металевий корпус, ступінь захисту IP 65;
- Виняткова точність і стабільність;
- Побудова графіка поточного процесу та історії вимірювань за останній рік;
- Відповідає стандарту NIST;
- В якості опції можливі обчислення і виведення точки роси, абсолютної вологості, співвідношення сумішей, вологої температури, ентальпії і тиску водяної пари.

Сенсор виконує точні і надійні вимірювання, стійкий до забруднення.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		



**Рис.4.2. Вимірювальний комплект 90.7023/333 для важкодоступних місць**

В якості опції, датчики можуть поставлятися з великим цифровим/ графічним дисплеєм, на якому зручно спостерігати графік поточного процесу і його історію за останній рік. Записані дані вимірювань можна виводити на дисплей або передавати на ПК за допомогою програми, що працює під Windows.

Наявність різноманітних монтажних приладь і можливості підключення до різних джерел змінного і постійний струму дозволяє легко інтегрувати датчики в різні системи.

Прилади даної серії можуть поставлятися у виконанні, що включає до трьох аналогових виходів. Гальванічний розділ напруги живлення і аналогових виходів також можливий. Для цифрової комунікації є інтерфейси RS232/ RS485 і релейні виходи.

На заводі прилади калібруються по шести точкам вологості. Швидке одноточкове калібрування на місці може з легкістю виконуватися за допомогою додаткового вимірювального приладу, доступного на вимогу. На додаток до цього, є тестові розчини JUMO для більш точного двоточкового калібрування.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Технічні характеристики

### Вимірювальні величини

#### Відносна вологість

Діапазон вимірювань: 0..100%

**Точність** по відношенню до заводського стандарту, включаючи нелінійність, гістерезис та відтворюваність

при 20 ° C:  $\pm 1\%$  (0 ... 90%);  $\pm 1,7\%$  (90 ... 100%)

при -20 ... + 40 ° C:  $\pm (1,0+ 0,8\%$  від змін велич.)% 1

при -40 ... -20 ° C, 40..180 ° C:  $\pm (1,5+1,5\%$  від змін велич.)

**Час реагування** при 20 ° C в спокійному повітрі:

- з ґратчастим фільтром 8 с
- зі сталеною решіткою 20 с
- з металлокерамічним фільтром 40 с

#### Температура

**Діапазон вимірювань для типів:**

- 907023/333: -40 ... + 80 ° C

**Сенсор температури:** Pt 100

**Точність** при 20 ° C:  $\pm 0,2$  ° C.

#### Входи і виходи

**Діапазон робочих напруг:** 10 ... 25 В =, 24 В ~

- з опц. мережевим блоком: 100 ... 240 В ~ 50/60 Гц

**Споживання струму:**

- при використанні RS232C:  $\leq 25$  мА
- Вихід 2шт. 0 ... 1 В/0 ... 5 В / 0 ... 10 В:  $\leq 25$  мА
- Вихід 2 шт. 0 ... 20 мА:  $\leq 60$  мА
- з висновком і підсвічуванням: 20 мА
- при чищенні сенсора: макс. 110 мА

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

**Аналогові виходи** (2 стандарт, 3-й опція)

- Вихід за струмом: 0 ... 20 мА, 4 ... 20 мА
- Вихід за напругою: 0 ... 1 В, 0 ... 5 В, 0 ... 10 В

Точність аналогових виходів

при 20 ° С:  $\pm 0,05\%$  кінц. величини

температурна залежність

аналогові виходи:  $\pm 0,005\%$  кінц. величини

**Зовнішнє навантаження:**

- для виходів за струмом <500 Ом
- вихід з напр. 0 ... 1 В: > 2 кОм
- Вихід за напругою 0 ... 5 В / 0 ... 10 В: > 10 кОм

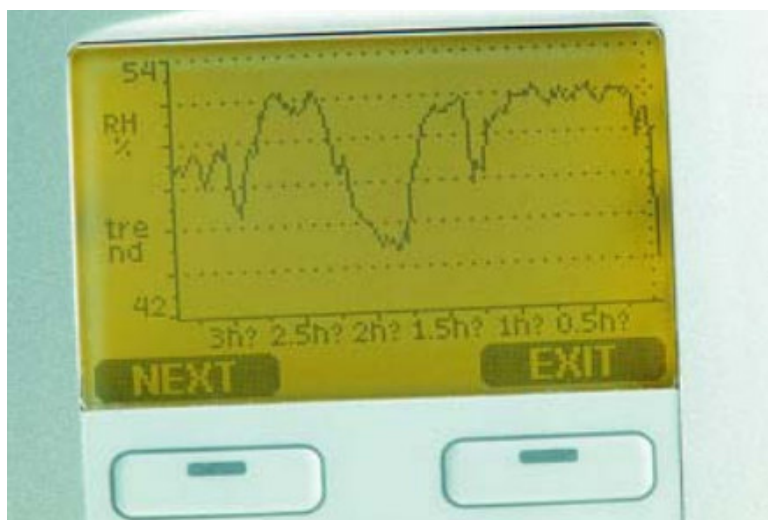
**Максимальний перетин жили:** 0,5 мм<sup>2</sup>

Послід. інтерфейс: RS232C, RS485 (опція)

**Релейні виходи** (опція): 0,5 А, 250 В ~

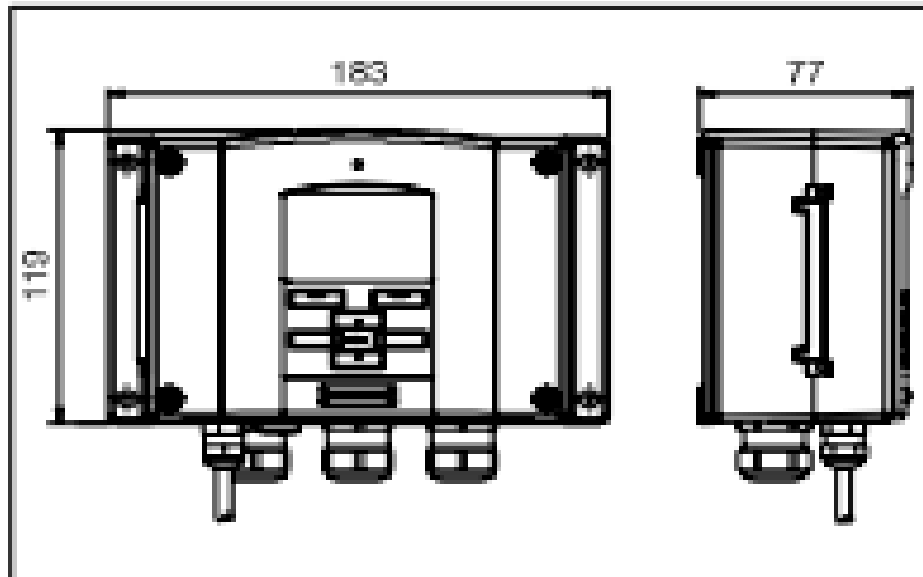
Цифровий вихід: ЖК з підсвіткою виведення графіків будь яких величин.

За допомогою дисплея можна простежити історію вимірювань протягом останнього року.

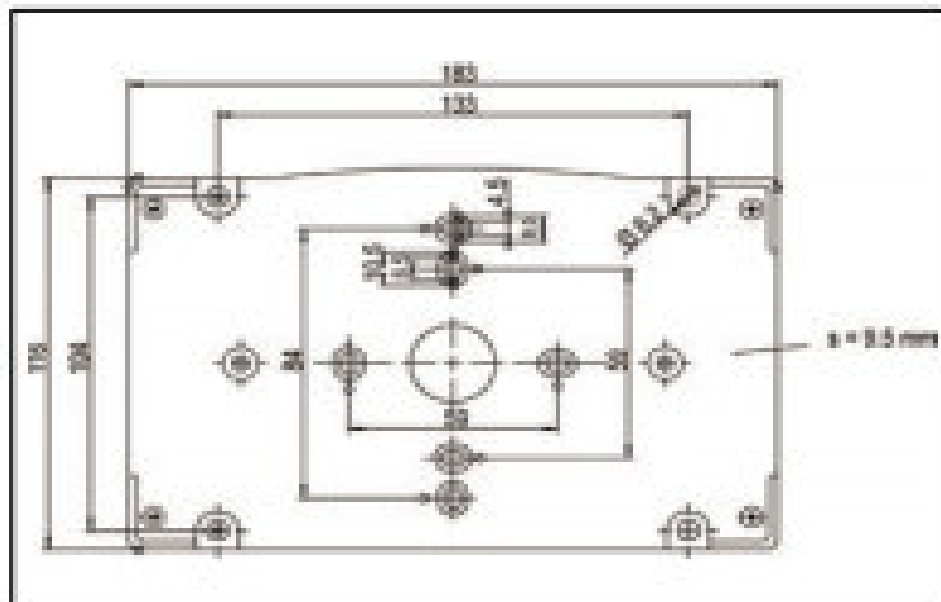


**Рис.4.3. Цифровий дисплей**

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

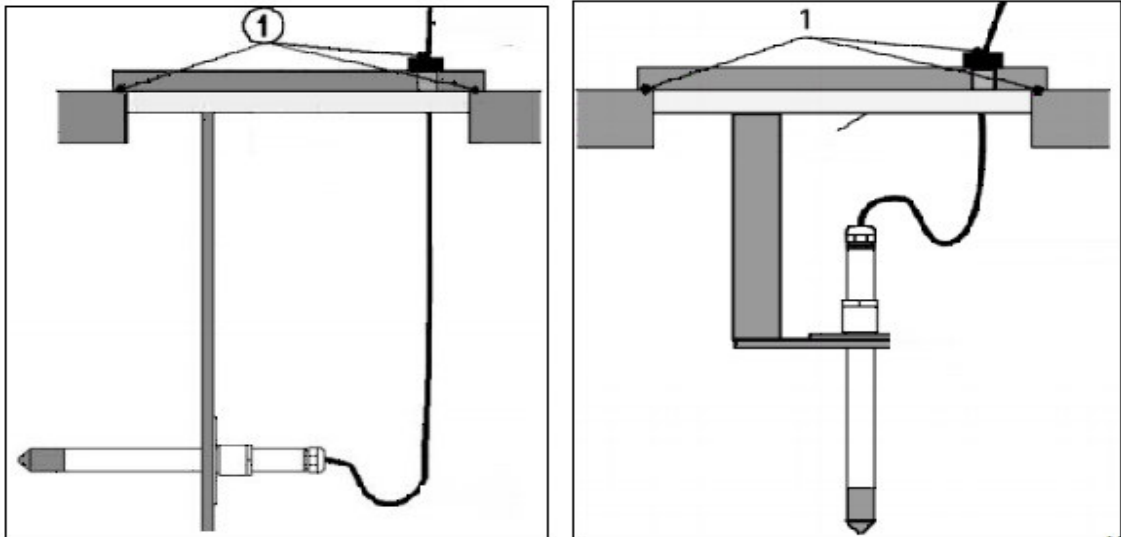


*Рис.4.4. Корпус 90.7023/333 в розмірах*

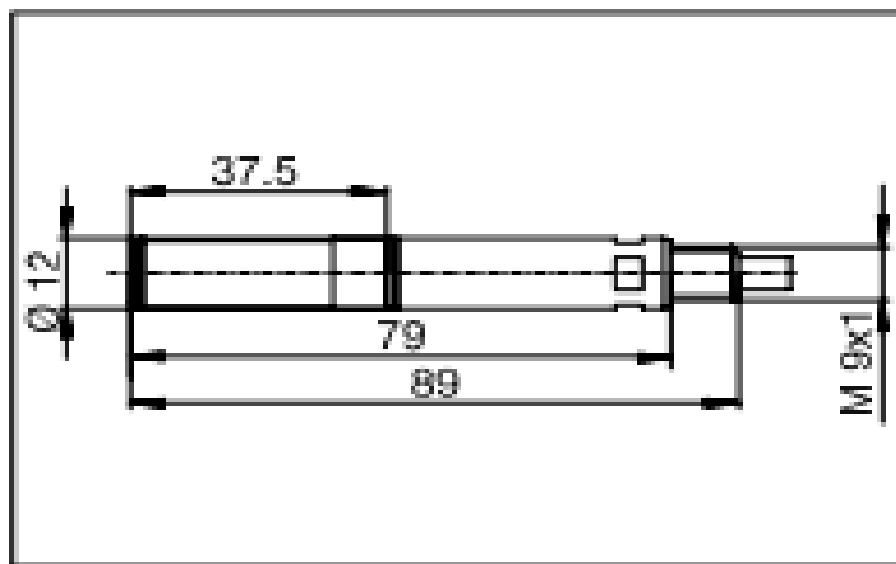


*Рис.4.4. Монтажна плата / шаблон для розсверлювання*

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докцм.	Підпис	Дата		



*Рис.4.5. Горизонтальний та вертикальний монтаж зонду*



*Рис.4.6. Зонд типу 907023/333*

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розділ 5. Опис спеціального програмного забезпечення для ПЛК

В кваліфікаційній роботі система автоматизації побудована на базі мікропроцесорного контролеру Modicon M340 компанії Schneider Electric. Для програмування даного типу контролера в розробника передбачена система Unity Pro.

Unity Pro - багатофункціональне програмне забезпечення для програмування, налагодження і оперативного управління ПЛК Modicon M340, Premium і Quantum, а також Atrium.

Система Unity Pro, що відповідає стандарту MEK 61131-3, має визнані переваги пакетів PL7 і Concept, в її основу покладені відомі стандарти PL7 і Concept. Вона пропонує повний набір готових функцій для поліпшення продуктивності:

- сучасна функціональність;
- оптимальна стандартизація, що дозволяє повторно використовувати розробки;
- численні засоби тестування програми і поліпшення роботи системи;
- нові вбудовані засоби діагностики.

При розробці програми були враховані питання міграції існуючих додатків. Це дозволить істотно збільшити вигоду від використання програмного забезпечення з одночасним зменшенням витрат на навчання і величезний потенціал для розробки і сумісності.

Каталог Unity включає в себе спеціальне програмне забезпечення для підвищення продуктивності:

- відкритість для розробок на мові C+ або VBA (Visual Basic для додатків);
- розробка і створення додатка з інтеграцією ПЛК / людино-машинний

					<i>Кваліфікаційна робота</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Маджар О.С.</i>			<i>Розробка системи автоматизації тунельної печі для випікання хліба</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>		<i>Гриценко Н.Г.</i>						
<i>Секретар ЕК</i>		<i>Проскурка Е.С.</i>				<i>ЗАК-2-2ск</i>		
<i>Зав.кафедри</i>		<i>Ельперін І.В.</i>						

інтерфейс.

Платформи автоматизації Modicon з підтримкою технології «прозорого виробництва» Transparent Ready на базі Ethernet TCP/IP і WEB-технологій пропонують відмінне рішення для оптимізації продуктивності. Служби WEB - сервера, розсилки електронних поштових повідомлень, прямий доступ до баз даних, синхронізація пристроїв, розподілення введення/виведення сигналів і багато іншого. Також Modicon ПЛК пропонує всі кращі можливості Ethernet.

Замість розробки закритих систем компанія Schneider Electric адаптувала такі ринкові стандарти як мови програмування МЕК, Ethernet TCP/IP, Modbus IDA, XML, OPC, IT-стандарти та ін.

Партнерство з загальноновизнаними світовими лідерами в області розробки програмного забезпечення та виробництва апаратних засобів в рамках партнерської програми з спільної автоматизації Collaborative Partner Program Automation призвело до більш ефективного обміну технологіями.

Гарантія по отриманню кращого рішення без компромісу з простотою інтеграції.

Багатофункціональна інструментальна система Unity Pro дозволяє розкрити і насправді оцінити переваги, пропоновані сучасним графічним інтерфейсом при роботі під керуванням операційної системи Windows XP або Windows 2000:

- прямий доступ до інструментів та інформації;
- стовідсоткова графічна настройка конфігурації;
- настроюється панель інструментів і піктограми;
- функції drag & drop і масштабування;
- вбудоване вікно діагностики.

Інструментальна система Unity Pro пропонує повний набір інструментів і функцій, необхідних для структурування додатків відповідно до особливостей процесу або агрегату. Програма розбита на ієрархічно впорядковані функціональні блоки, що містять:

- область програми;
- таблиці анімації;
- екрани оператора;

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- гіперпосилання.

Основні часто використовувані функції можна запрограмувати в призначених для користувача функціональних блоках (DFB) на мовах MEK 61131.

Всі модулі оптимізовані і в 100% відповідають Вашим вимогам, зменшуючи час, необхідний на розробку і налагодження на місці одночасно оптимізуючи якість:

- функціональні модулі можна багаторазово використовувати в додатку і застосовувати XML для імпорту / експорту між проектами;
- функціональні блоки легко "перетягуються" в проект з бібліотеки за допомогою "миші" - технологія drag & drop;
- автоматичне оновлення примірників блоків в телепрограми при змінах в бібліотеці (опціонально).

Вбудована функція симулятора ПЛК дозволяє в точності відтворити поведінку програми ПЛК на комп'ютері. Симулятор підтримує всі необхідні засоби налагодження, що дозволяють домогтися максимальної якості перед установкою:

- покрокове виконання програми;
- контрольні точки зупинки програми і точки перевірки зміни змінних;
- анімація в реальному часі для перевірки змінних і логіки під час роботи.

Інструментальна система Unity Pro підтримує бібліотеку DFB для діагностики роботи програми. Інтегровані в програму функціональні блоки використовуються (в залежності від їх призначення) для моніторингу умов безпечної роботи і розвитку процесу в часі.

У вікні програми в хронологічному порядку виводяться всі повідомлення про несправності системи і про помилки додатків з міткою часу, коли вони відбулися. З цього вікна можна одним клацанням "мишки" запустити редактор для усунення помилок в програмі (пошук помилок в початковому тексті). Зміни, зроблені в режимі онлайн, можна згрупувати в автономному режимі на комп'ютері і відразу всі їх завантажити безпосередньо в ПЛК, щоб всі зміни враховувалися в одному циклі сканування.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розширений діапазон функцій забезпечує точне управління вашими операціями і економить час:

- журнал історії дій оператора в системі Unity Pro, що зберігається в захищеному файлі;
- профайл користувача та захист паролем;
- інтегровані робочі екрани оператора.

Можливі мови програмування FBD, ST та LD.

Мова релійно-контáктної лóгiки - LD (Ladder diagram). Синтаксис мови є зручним для заміни логічних схем, виконаних на релейній техніці й розрахований на знайомих з нею інженерів з автоматизації.

Структурований текст - ST (Structured text) — мова програмування стандарту IEC 61131-3, що призначена для програмування промислових контролерів та операторських станцій. Знайшла застосування SCADA/HMI/SoftLogic пакетах. За структурою й синтаксисом є найближчою до мови програмування Pascal. Мова є зручною для написання великих програм й роботи з аналоговими сигналами та числами з плаваючою комою.

Функціональні блокові діаграми - FBD (Function Block Diagram) – графічна мова програмування стандарту MEK 61131-3. Призначений для програмування програмованих логічних контролерів (ПЛК). Програма утворюється зі списку ланцюгів, які виконуються послідовно зверху вниз. Ланцюги можуть мати мітки. Інструкція переходу на мітку дозволяє змінювати послідовність виконання ланцюгів для програмування умов і циклів.

При програмуванні використовуються набори бібліотечних блоків і власні блоки, також написані на FBD або іншими мовами MEK 61131-3. Блок (елемент) - це підпрограма, функція або функціональний блок (I, АБО, НЕ, тригери, таймери, лічильники, блоки обробки аналогового сигналу, математичні операції і ін.).

Кожний окремий ланцюг являє собою вираз, складене графічно з окремих елементів. До виходу блоку підключається наступний блок, утворюючи ланцюг. Всередині кола блоки виконуються строго в порядку їх сполуки. Результат обчислення ланцюга записується у внутрішню змінну або подається на вихід ПЛК.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

**Таблиця аналогових входів для Modicon M340**

ТАБЛИЦЯ 5.1.

Назва сигналу	Позначення на СА	Адреса
1	2	3
Датчик тиску подачі пари в зону зволоження печі	PT 1a	%IW1.2
Датчик тиску подачі газу в топочну камеру пальника	PT 2a	%IW2.1
Датчик температури в зоні зволоження печі	TT 3a	%IW1.3
Датчик температури в 2-й зоні печі	TT 4a	%IW1.7
Датчик температури в 3-й зоні печі	TT 5a	%IW2.4
Датчик витрати пари, що подається в зону зволоження печі	FT 6б	%IW1.0
Датчик витрати повітря, що подається в топочну камеру 1-го пальника	FT 7б	%IW1.4
Датчик витрати повітря, що подається в топочну камеру 2-го пальника	FT 8б	%IW2.7
Датчик витрати газу, що подається в топочну камеру 1-го пальника	FT 9б	%IW2.0
Датчик витрати газу, що подається в топочну камеру 2-го пальника	FT 10б	%IW2.2
Датчик вологості в зоні зволоження печі	MT 11б	%IW1.1

**Таблиця аналогових виходів для Modicon M340**

ТАБЛИЦЯ 5.2.

Назва сигналу	Адреса
Клапан подачі пари в зону зволоження печі	%QW1.0
Клапан подачі повітря в топочну камеру 1-го пальника	%QW1.1
Клапан подачі газу в топку 1-го пальника	%QW1.2
Клапан подачі газу в топку 2-го пальника	%QW1.3

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Клапан подачі повітря в топочну камеру 2-го пальника

%QW1.4

**Таблиця дискретних входів для Modicon M340**

ТАБЛИЦЯ 5.3.

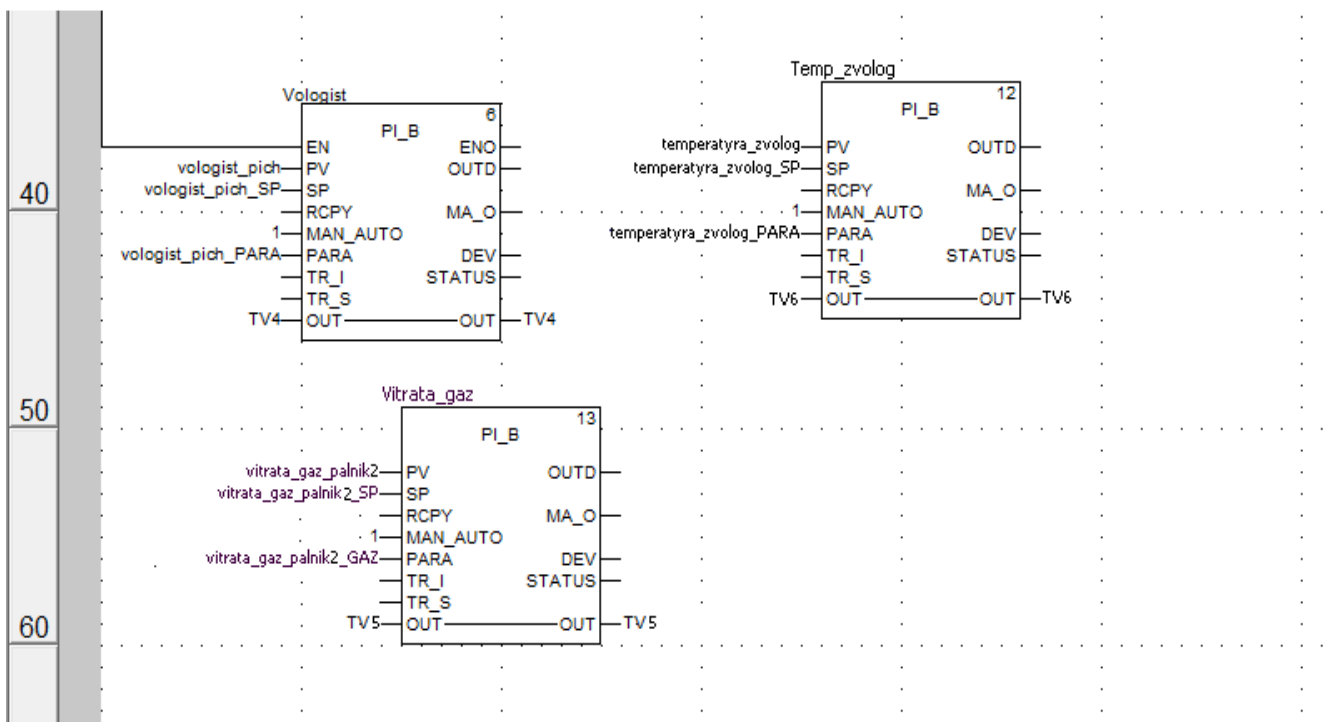
Назва сигналу	Позначення на СА	Адреса
1	2	3
Датчик наявності полум'я в 1-му пальнику	BSA 12б	%I1.0
Датчик наявності полум'я в 2-му пальнику	BSA 13б	%I1.1

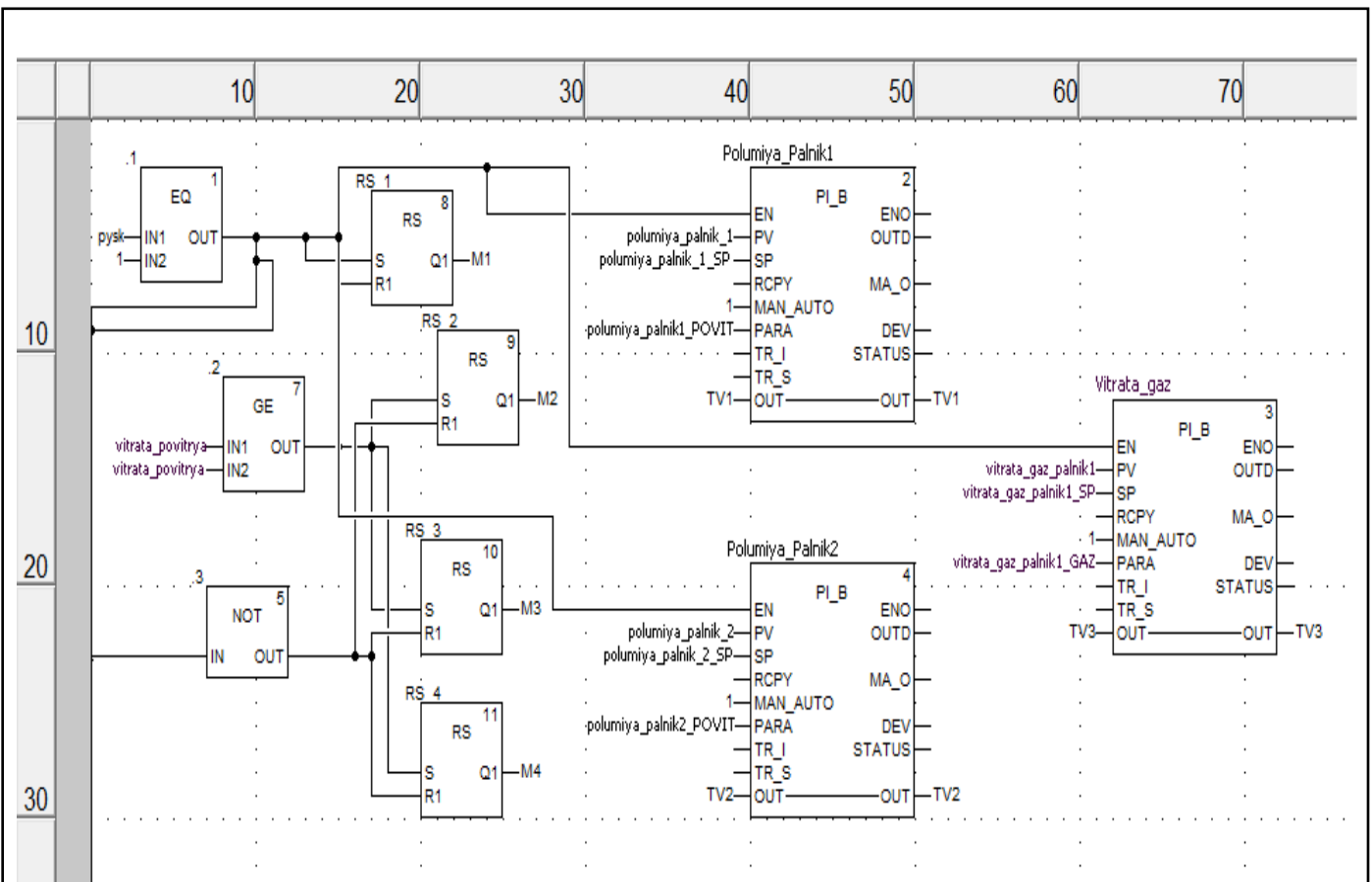
**Таблиця дискретних виходів для Modicon M340**

ТАБЛИЦЯ 5.4.

Назва сигналу	Позначення на СА	Адреса
1	2	3
Електродвигун поду печі	M1	%Q1.0
Електродвигун ленти конвеєра печі	M2	%Q1.1

**Фрагмент програми для ПЛК Modicon M340**





					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Розділ 6. Розробка людино-машинного інтерфейсу оператора технолога

Vijeo Citect складовою програмного забезпечення Collaborative і паралельно компонентом PlantStruxure, нової архітектури автоматизації технологічних процесів Schneider Electric, і призначений для побудови систем диспетчеризації.

Vijeo Citect - це надійна і гнучка система з високою продуктивністю, призначена для використання в будь-яких галузях промислової автоматизації в системах диспетчерського управління та збору даних.

Потужні засоби візуалізації та функціональні можливості дозволяють створювати зручні у використанні системи диспетчеризації, дозволяючи операторам повністю контролювати протікання технологічного процесу і оперативно реагувати на відхилення в ньому, що в підсумку підвищує їх ефективність. Легкі у використанні інструменти конфігурування Vijeo Citect і потужні функціональні можливості допоможуть вам швидко і легко розробляти та розгортати рішення для систем диспетчеризації будь-якого розміру.

Могутні функціональні можливості включають в себе:

- Повне резервування для високонадійних рішень: на критично важливих виробничих ділянках апаратний збій може призвести до потенційно небезпечних ситуацій. Завдяки повному резервуванню Vijeo Citect апаратний збій у будь-якій частині вашої системи, не призведе до втрати її функціональності і продуктивності.
- Потужна графіка та інтерфейс користувача: графічні можливості вашої SCADA системи є критичним фактором, що визначає зручність її використання. Vijeo Citect дозволяє розробляти повноколірний, витриманий в одному стилі, легкий у використанні і інтуїтивно зрозумілий графічний інтерфейс користувача.
- Process Analysis: Vijeo Citect Process Analysis - це інтуїтивно зрозумілий і зручний інструмент для візуалізації та аналізу даних, який є частиною

					<i>Кваліфікаційна робота</i>			
<i>Змн.</i>	<i>Арк.</i>	<i>№ докум.</i>	<i>Підпис</i>	<i>Дата</i>				
<i>Розробив</i>		<i>Маджар О.С.</i>			<i>Розробка системи автоматизації тунельної печі для випікання хліба</i>	<i>Літ.</i>	<i>Арк.</i>	<i>Аркушів</i>
<i>Керівник</i>		<i>Гриценко Н.Г.</i>						
<i>Секретар ЕК</i>		<i>Проскурка Е.С.</i>				<i>ЗАК-2-2ск</i>		
<i>Зав.кафедри</i>		<i>Ельперін І.В.</i>						

SCADA системи. Process Analysis дозволяє бачити всю історію в рамках підприємства і надавати важливу інформацію для операторів, допомагаючи підвищувати їх ефективність і продуктивність.

- Просте конфігурування: що б ви не конфігурувати, будь - то розподілена система для технологічного процесу випічки або централізована система для технологічного процесу транспортування руди, гнучкість і великий набір інструментів Vijeo Citect прискорюють процес конфігурування системи управління, істотно знижуючи час і вартість розробки, а також мінімізуючи проектні ризики.

Vijeo Citect розроблений, щоб надати промисловим підприємствам будь-яких розмірів гнучке управління розробкою, розгортаємо, обслуговуванням, підтримкою та розвитком систем диспетчеризації технологічних процесів. Інженерні рішення, закладені в Vijeo Citect, забезпечую багаторівневе резервування, яке забезпечує надійність і безперебійну роботу вашої системи.

Система управління автоматизацією використовує систему SCADA для збору та візуалізації інформації про процес. Вибираючи конкретну SCADA, керуються наявністю відповідних драйверів для зв'язку з певним обладнанням, простотою та простотою розробки інтерфейсу та функціональністю. [28]

Розроблена система SCADA забезпечує збір відповідної інформації та візуалізацію, та архівування даних.

Citect SCADA - програмний продукт, що представляє собою систему моніторингу, управління та збору даних (SCADA - Supervisory, Control And Data Acquisition). Дана система призначена для управління технологічними процесами. RTSoft є офіційним дистриб'ютором програмних продуктів Citect.

CitectSCADA - це вибір багатьох найвідоміших в світі компаній яким потрібно масштабується, гнучке і надійне рішення.

SCADA-система CitectSCADA проектувалася і розроблялася як засіб реалізації всіх вимог підприємства у вигляді єдиної інтегрованої системи. CitectSCADA містить всі необхідні компоненти, що знімають як необхідність використання додаткового програмного забезпечення, так і фрагментації даних.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

CitectSCADA - програмний продукт, що представляє собою повнофункціональну систему моніторингу, управління та збору даних, яка дозволяє забезпечити: [28]

- візуалізацію процесу в графічному режимі;
- управління алармами;
- відстеження трендів в реальному часі і доступ до архівних трендів;
- підготовку деталізованих звітів;
- статичний контроль процесу;
- багатопотоковості виконання підпрограм розроблених на CitectVBA і CiCode.

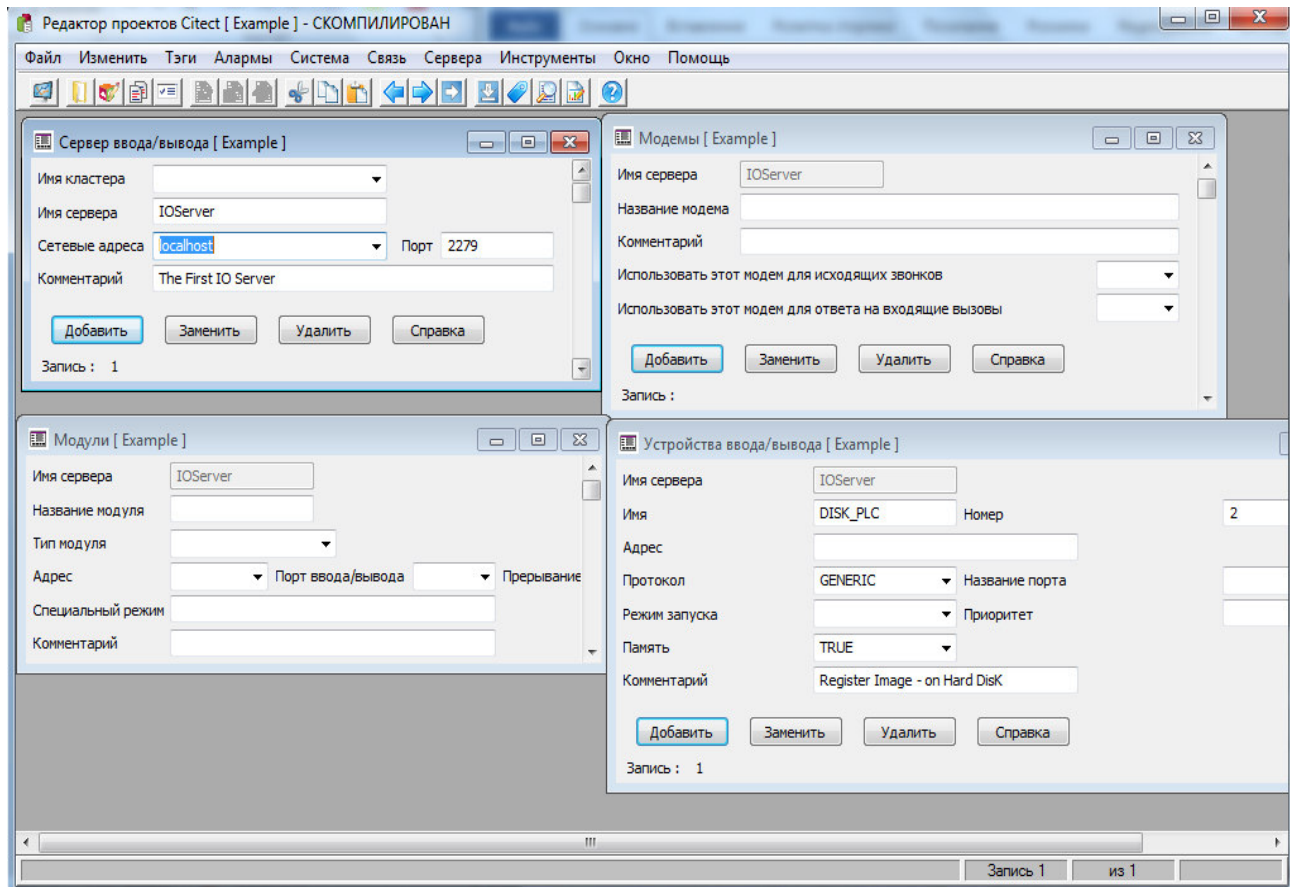
Модуль візуалізації і управління CitectSCADA використовується задля відображення технологічних параметрів процесу та для контролю планування роботи верхнього шару автоматичної системи управління. Технологічний процес відображається у вигляді динамічного екрана, тобто мнемосхеми. Мнемосхема - це умовне графічне зображення певного технічного рішення. [28]

Мнемосхема процесу випічки в хлібопекарській печі тунельного типу хлібозаводу показана на рис. 6.2. На головній мнемосхемі процесу відображається розроблена раніше схема автоматизації процесу із усіма параметрами згідно завдання. Передбачені кнопки Старт/Стоп для керування процесом. Також оператор має можливість задавати границі для нижнього та верхнього рівня, встановлювати потрібне значення заповнення резервуару, керувати клапанами та двигунами.

Для того, щоб створити проект на даній мові необхідно сконфігурувати OPS та перевірити зв'язок з контролером. Також налаштовується OFS Configuration tools, де вказуємо тип пристрою SNAIDER та адресу UNTLW01:0.254.0./T. Далі, створюючи проект, вносимо певні корективи за допомогою Tools/Computer Setup Wizard, де вказуємо ім'я сервера, драйвера, тип пристрою, протокол OPS, в полі адреси прописуємо Schneider.Aut-OFS. Далі в Project Editor перевіряємо чи у відповідних вікнах появились всі наші пристрої.

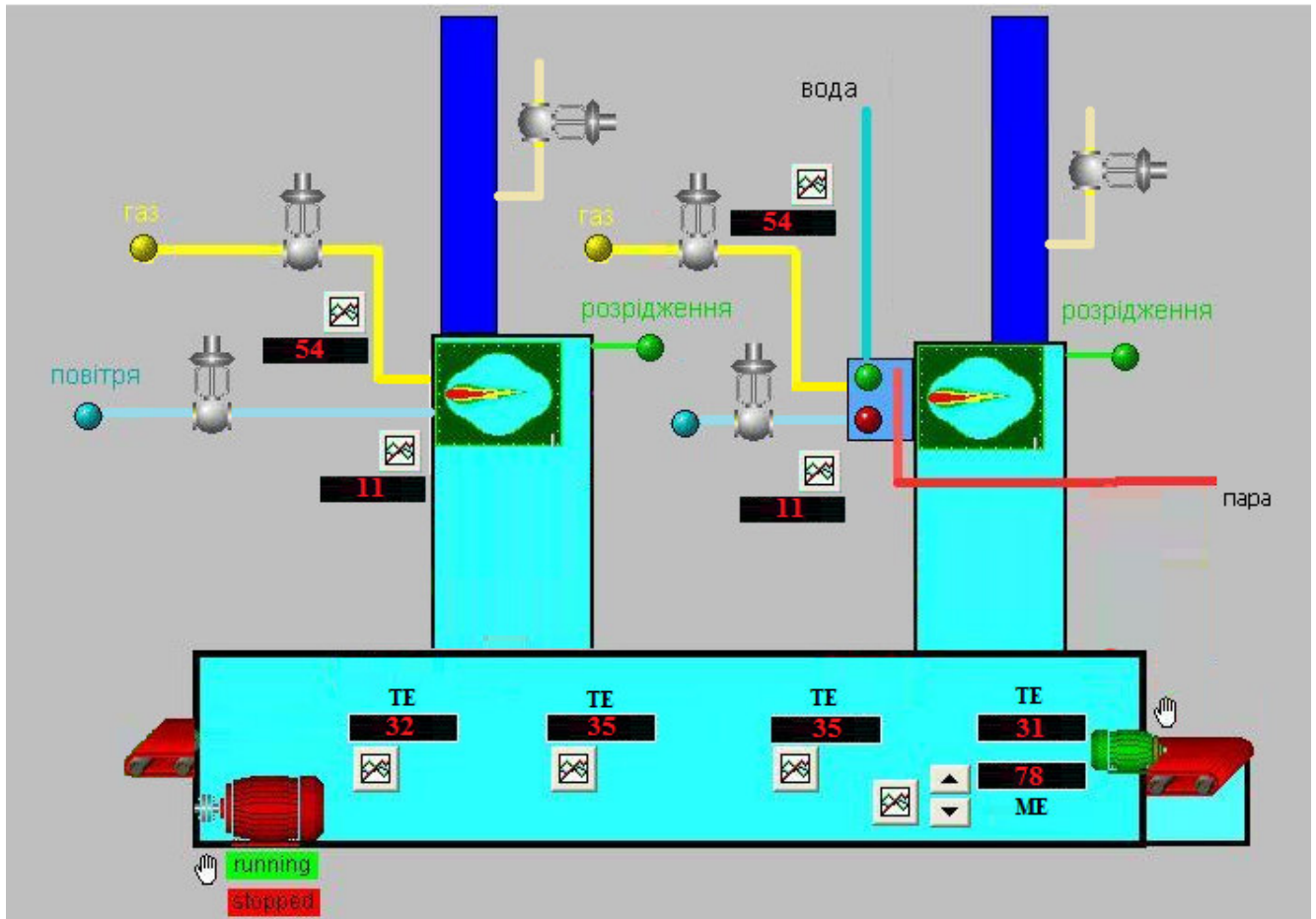
					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Так, як дана кваліфікаційна робота створювалася в демо – версії, то дана конфігурація не проводилась, використовувались ресурси та звернення, що були прописані автоматично та по замовчуванню (рис.6.1.).



**Рис.6.1. Налаштування конфігурації проекту**

Для повного відображення всього технологічного процесу випікання в хлібопекарській печі тунельного типу створювалось головна мнемосхема всіх функціональних елементів див. рис. 6.2. та допоміжні до неї: – тренди зміни технологічних параметрів в часі див. рис. 6.3. Також забезпечено відображення повідомлень щодо стану технологічного процесу, активні аларми див. рис. 6.4.



**Рис. 6.2. Мнемосхема технологічного процесу випічки хліба**

Для створення тегів викликається форма для перегляду-редагування: *Теги / Переменные теги*.

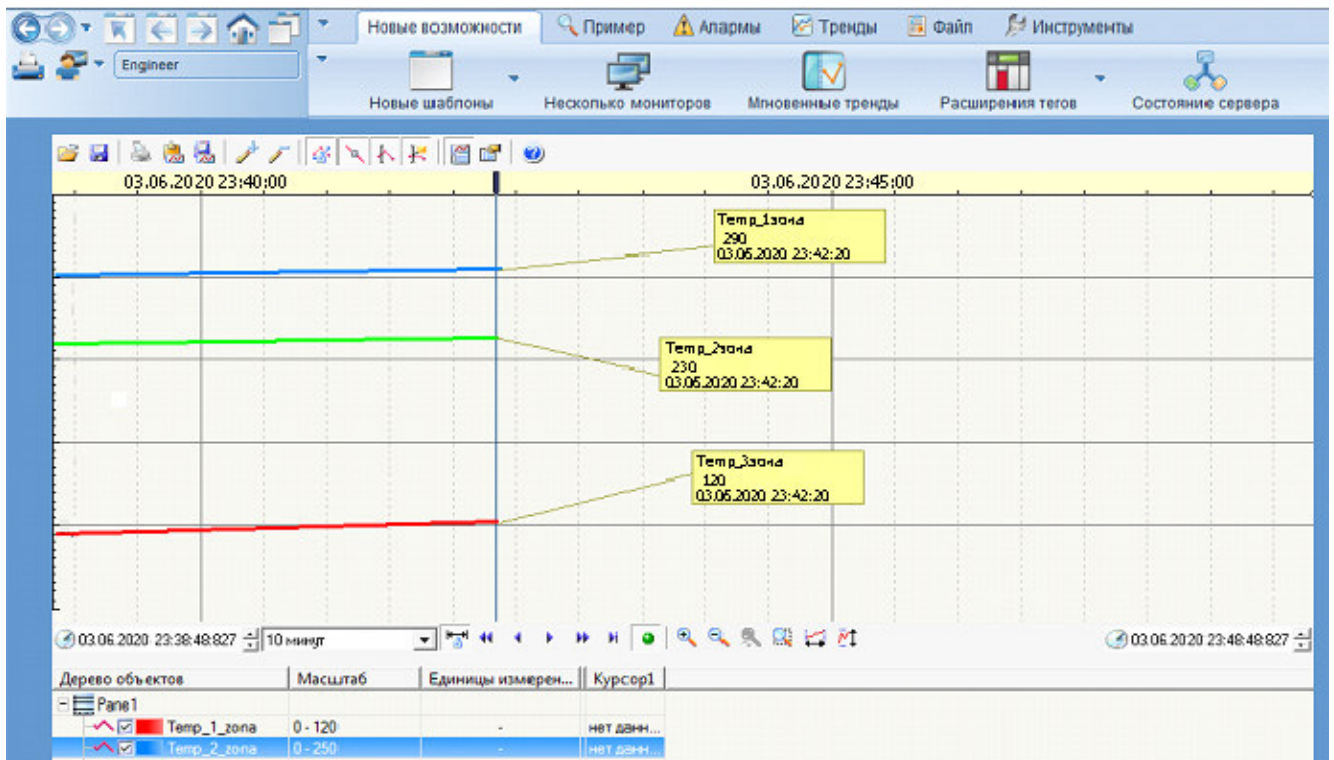
- Викликається форма для редагування дискретного аларму – в *Редакторі проекту* – вибирається пункт меню *Аларми/Дискретні алармы*.
- в полі *Тег аларма* - нове ім'я конкретної тривоги,
- в полі *Переменный тег А* вибирається із списку ім'я дискретного тегу, значення «1» якого буде джерелом тривоги,
- для збільшення інформативності повідомлення оператору-технологу можна заповнити поля *Название аларма*, *Описание аларма*, *Комментарий*. Інші поля залиште пустими.

З меню *Сервера/ Сервери трендов* викликається форма і задається ім'я нового сервера. Натискається кнопка *Добавить*.

Сервер буде виконуватись в єдиному кластері із *Сервером в/в* та *Сервером алармів*. В *Редакторе графіки* створюється нова сторінка на шаблоні *singlepage* і зберігається під іменем *ProcessAnalist*.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Існує можливість перейменувати криві, задавати осі тренда та колір лінії.

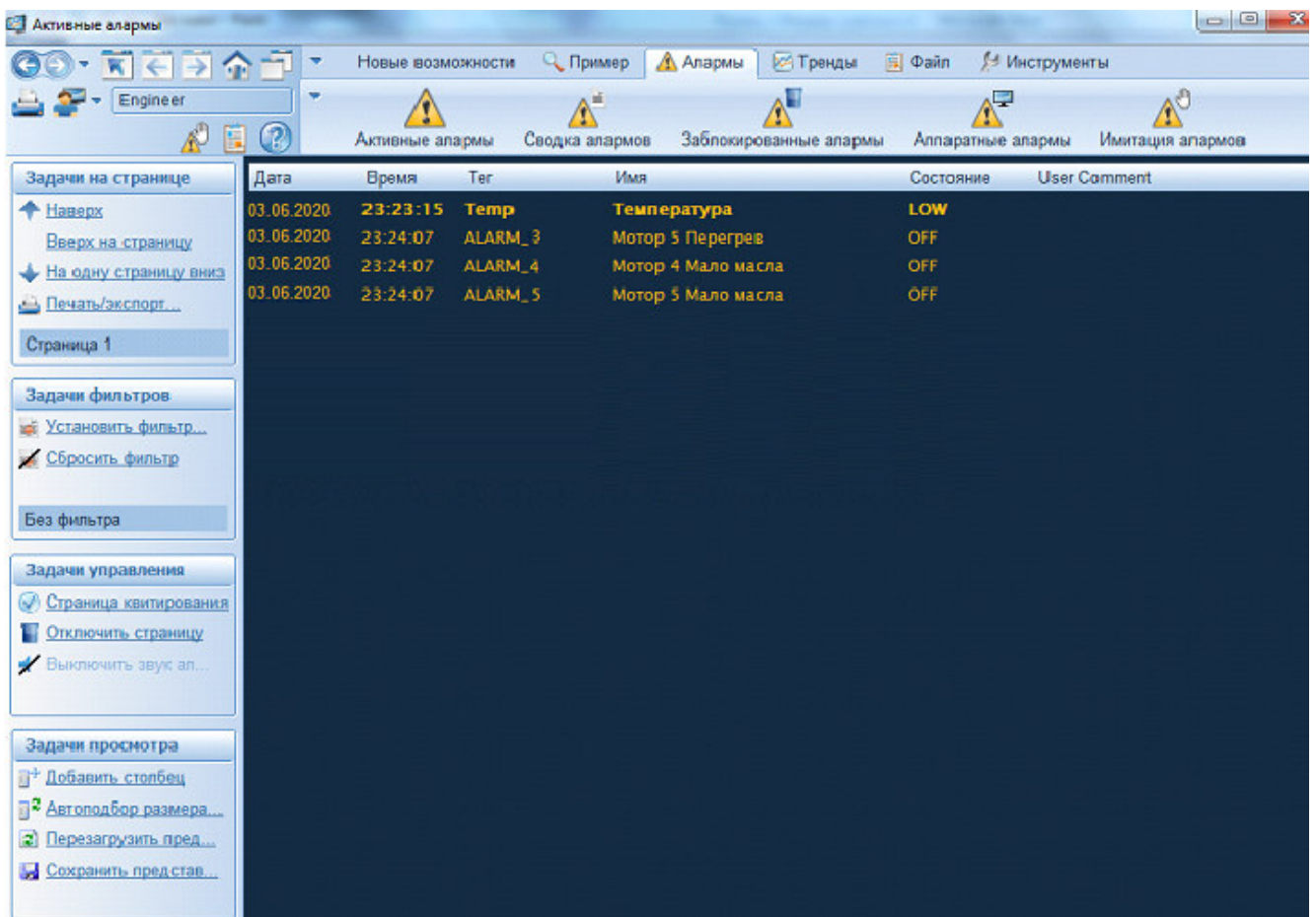


**Рис.6.3. Тренды реального часу**

Викликається форма для редагування дискретного аларму – в *Редакторе проекта* – вибирається пункт меню *Аларми/Аналоговие алармы*.

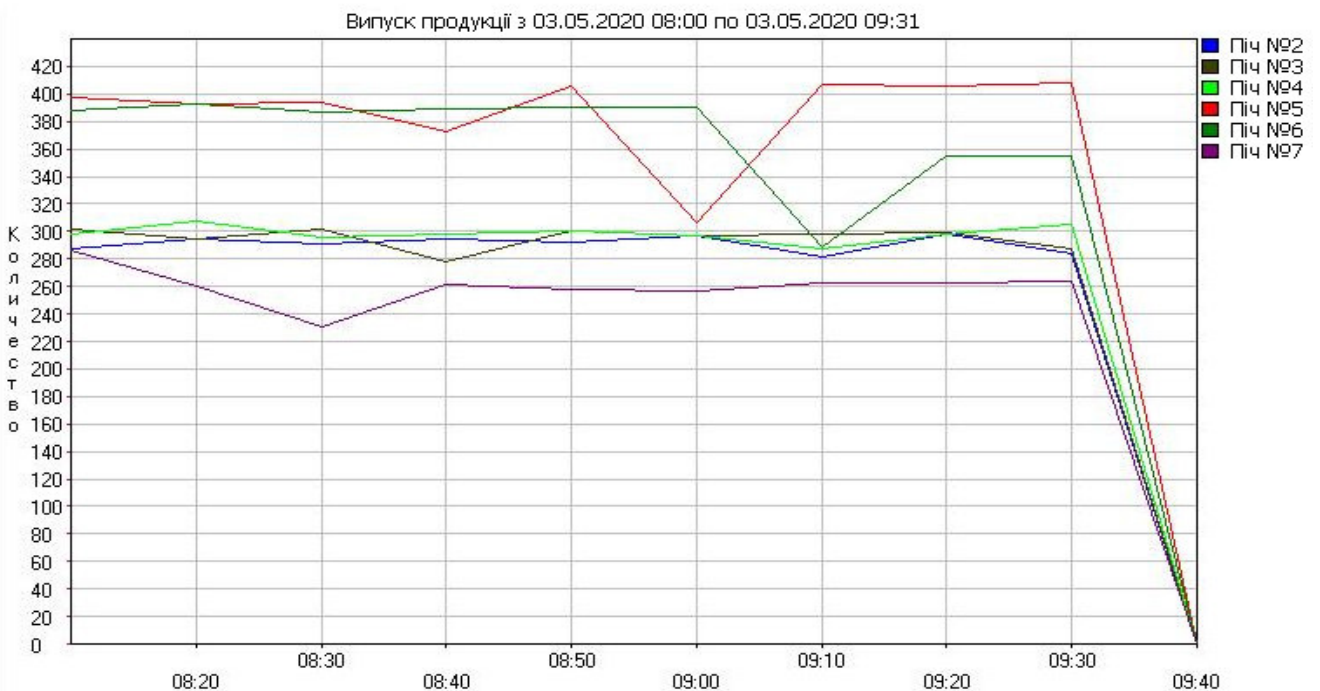
Створюється сервер алармів, з меню *Сервера/ Сервери алармов* викликається форма і задайте ім'я нового сервера натискається кнопка *Добавить*, сервер буде виконуватись в єдиному кластері із *Сервером в/в*.

Створюється новий тег тренду на основі тегу певної змінної з меню *Теги/ Теги тренда*.



**Рис.6.4.Экран тревог та активних алармів**

Окрім головного екрану, трендів та алармів за допомогою SCADA-програми можна отримати графік випускаємої продукції, що досить зручно для подання оперативного звіту керівництву заводу.



**Рис.6.5. Графік випуску продукції по печам**

## Розділ 7. Комп'ютерне моделювання системи автоматичного регулювання

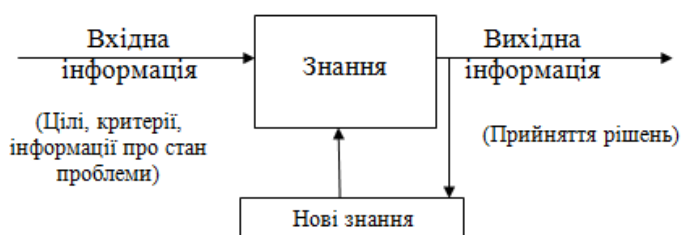
### Основні поняття та визначення в теорії та практиці інтелектуальних систем

У зв'язку із розвитком обчислювальної техніки та інформатики виникла необхідність та з'явилася можливість за допомогою комп'ютерів імітувати інтелектуальну діяльність.

Під поняттям «інтелект» розуміють здатність розв'язувати складні задачі; здатність до навчання, узагальнень та аналогій; здатність взаємодії із зовнішнім світом шляхом спілкування, сприйняття та осмислення сприйнятого. Проте багато дослідників штучного інтелекту визнають тест штучного інтелекту, який був запропонований на початку 50-х років англійським математиком та спеціалістом з обчислювальної техніки Аланом Тьюрінгом: «Комп'ютер можна вважати розумним, якщо він здатний примусити вас повірити, що ми маємо справу не з машиною, а з людиною».

Термін інтелект походить від латинського *інтелектус*, що означає – розум, здатність людей до мислення.

**Інтелектом** називають здатність мозку людини розв'язувати задачі шляхом набуття, накопичення та цілеспрямованого перетворення знань в процесі навчання, що ґрунтується на досвіді та адаптації людини до різноманітних обставин.



**Рис.7.1. Концептуальна схема використання знань**

Змн.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата	<i>Кваліфікаційна робота</i>			
Розробив		Маджар О.С.			Розробка системи автоматизації тунельної печі для випікання хліба	Літ.	Арк.	Аркушів
Керівник		Гриценко Н.Г.						
Секретар ЕК		Проскурка Е.С.				ЗАК-2-2ск		
Зав.кафедри		Ельперін І.В.						

**Знання** являють собою модель, що носить образний характер і в процесі діяльності мають змогу змінюватися за рахунок використання засобів (механізмів) адаптації та навчання.

**Штучний інтелект** - сукупність автоматичних методів та програмно-технічних засобів цілеспрямованої переробки інформації відповідно до набутого в процесі навчання і адаптації досвіду при розв'язанні будь-яких задач проблемного характеру.

**Штучний інтелект(ШІ) (artificial intelligence)** – це галузь наукових досліджень розумової поведінки та її штучного моделювання.

Завдання штучного інтелекту – навчитися розуміти принципи та механізми інтелектуальної діяльності. Практичною метою є створення методів та техніки, необхідної для програмування розумності та її передачі обчислювальним машинам, а через них різноманітним системам та засобам.

**Технологія знань (knowledge engineering)** – це інженерні методи та навички в галузі штучного інтелекту.

Технологія знань безпосередньо застосовується при вирішуванні складних проблем, спрямованих на збільшення продуктивності та якості розумової праці, на удосконалення професійних навичок працівника. Продуктом технології знань є активні знання і навички роботи із знаннями, які відрізняються від пасивних знань тим, що їх використання (в оптимальному варіанті) не передбачає читання та засвоєння всіх знань, необхідних для вирішення проблеми.

Тобто інтелектуальні системи можна представити як універсальний надалгоритм, що здатний вирішити алгоритм вирішення конкретних задач.

В своєму розвитку інтелектуальні системи пройшли декілька етапів:

1. Етап **кібернетичних систем** (задачі, що виникали, зводились до формалізованих задач, перетворені у вигляді різних математичних моделей).

2. Етап **інформатизації та комп'ютеризації** (характеризується створенням складних комп'ютерних систем, що потребують принципове нове інформаційне середовище (сукупність ЕОМ, системи комп'ютерних комунікацій, різноманітні бази даних)).

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

3. Етап **інтелектуальних систем** (інтелектуальні системи розглядаються як системи обробки інформації, які функціонально моделюють природний інтелект і є підсилювачами, а не замінниками інтелектуальних здібностей людини).

Інтелектуальні системи характеризуються використанням:

- бази знань;
- методів самоорганізації;
- методів адаптації;
- методів навчання.

Технологія інтелектуальних систем характеризується таким практичним застосуванням:

- експертні системи;
- підсистеми інтелектуальної підтримки рішень;
- регулятори та системи управління з нечіткою логікою.

**Штучний інтелект** – це один з напрямків в інформаційних технологіях, метою якого є розробка апаратних та програмних засобів, які дозволяють користувачу ставити та вирішувати задачі творчого та неформального характеру, спілкуючись з ЕОМ на обмеженій природній мові. Ключ до розв'язання задач за допомогою штучного інтелекту полягає у скороченні перебору варіантів при пошуку розв'язку. Для цього програми мають реалізовувати ті ж принципи, якими у процесі мислення користується людина.

Під інтелектуальною системою (ІС) в практичному плані розуміють, як правило, комп'ютерну програму, здатну "думати" і розв'язати так звані "творчі задачі".

**Інтелектом** (від латин. *"intellectus"* - "пізнання") називають здатність міркувати, діяти цілеспрямовано, правильно реагувати на ситуацію. Відповідно, *інтелектуальними* є задачі, для рішення яких немає чітко заданого алгоритму, що завжди приводить до потрібного результату, а **інтелектуальною діяльністю** — процес розв'язування інтелектуальних задач.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Інтелектуальним задачам властиві неповнота, неточність і суперечливість знань про предметну галузь, а також велика розмірність простору рішень, що не дозволяє розв'язувати їх простим перебором. У таких задачах часто немає чітких критеріїв для вибору оптимального рішення, а сама задача не завжди цілком формалізується. Прикладом інтелектуальної задачі є розпізнавання образів, тобто визначення належності об'єкта, що спостерігається, до однієї із заздалегідь визначених категорій. Основні властивості інтелектуальних задач:

- символічне подання даних;
- відсутність строгої постановки задачі;
- відсутність прийняттого для практичного використання алгоритму рішення;
- неповнота, неточність і суперечливість знань про предметну галузь;
- відсутність чітких критеріїв вибору оптимального рішення;
- велика розмірність простору рішень.

**Інтелектуальна діяльність** - це дії людей, що приводять до отримання бажаного результату в ситуаціях, коли алгоритм вирішення проблеми відсутній. Іншими словами, це процес одержання бажаного результату в інтелектуальних задачах. Людина володіє певним набором знань про навколишній світ, які дозволяють їй орієнтуватися в різних ситуаціях і приймати правильні рішення. Крім того, людина вміє використовувати ці знання.

У зв'язку з цим потрібно розглянути термін "алгоритм". Поняття *алгоритму* є базовим для всіх галузей комп'ютерного програмування. Термін "алгоритм" ("*algorithm*") подається у виданні словника Webster's New World Dictionary, що вийшов у 1957 р., правда, дещо в іншому звучанні "*algorism*" - стародавнє слово, що позначає "виконання арифметичних операцій за допомогою арабських цифр" і походить від імені автора знаменитого перського підручника з математики IX сторіччя Мухаммеда аль-Хорезмі.

Алгоритм - це метод, якому властиві такі ознаки:

- *скінченність* - закінчення роботи за скінченну кількість кроків;

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- *визначеність* - дії, що потрібно виконати, строго і однозначно визначені для всіх можливих ситуацій;
- *наявність вхідних даних* - дані, з яких починається робота алгоритму;
- *наявність результуючих даних* - дані, що формуються внаслідок виконання алгоритму;
- *ефективність* - здатність алгоритму перетворювати вхідні дані в результат.

Можна визначити такі основні параметри алгоритму:

- сукупність можливих вхідних даних;
- сукупність можливих результуючих даних;
- сукупність можливих проміжних даних;
- правило початку;
- правило безпосереднього перетворення;
- правило закінчення;
- правило отримання результату.

Знаходження алгоритмів є основною метою людини при розв'язку різноманітних класів задач. Відшукування алгоритму для задач певного типу пов'язано зі складними міркуваннями, що вимагають участі інтелекту людини. Доказом еквівалентності різних класів алгоритмів займалися такі вчені, як Пост, Тьюринг, Марков, Колмогоров. Процес вирішення задач, для яких знайдені відповідні алгоритми, не потребує інтелектуальних зусиль і тому його може здійснювати об'єкт (людина або комп'ютер), здатний виконувати елементарні операції, з яких складається алгоритм.

**Квазиалгоритми.** Автоматизована інтелектуальна система - програмна реалізація конкретного алгоритму. Інтелектуальна система - реалізація алгоритму, який не існує або нам невідомий. На перший погляд, маємо протиріччя. Проте це не так. Можна запрограмувати не безпосередньо сам алгоритм, а засоби, за допомогою яких інтелектуальна система автономно за прикладами навчиться цьому алгоритму (зокрема, цей прийом часто застосовують при розробці програмних агентів та нейромереж). Якщо ж алгоритм розв'язання задачі є надто

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

складним, то можна реалізувати його спрощений варіант, який дозволяє отримати рішення з точністю, задовільною для практичного застосування.

Узагальненням поняття алгоритму є *квазиалгоритм*. На відміну від алгоритму інструкції квазиалгоритму можуть бути не зовсім чіткими, тому результат квазиалгоритму не може бути гарантованим.

Можлива також ситуація, коли алгоритм розв'язання задачі взагалі відсутній. У цьому випадку його можуть замінити запропоновані користувачем метазнання у вигляді набору евристик, які дозволяють знайти прийнятне (хоча, можливо, не оптимальне) рішення для певної підмножини вхідних даних. Цей шлях найближчий до способу прийняття рішень, який звичайно застосовує людина за відсутності чітких знань і досвіду розв'язання схожих задач для виконання будь-яких дій, що призводять до зміни ситуації.

Для реалізації штучного інтелекту у такій системі необхідно попередньо вивчити, як мислять люди, коли їм потрібно прийняти будь-яке рішення або вирішити відповідну проблему. Слід виділити у такому процесі основні стадії, що дозволить потім розробити комп'ютерну програму, здатну розв'язувати різноманітні задачі, використовуючи ті ж стадії процесу мислення. Штучний інтелект, таким чином, забезпечує, щонайменше в принципі, простий структурний підхід до розробки досить складних проблем, що дозволяють розв'язувати творчі задачі різного рівня.

Штучний інтелект імітує основний людський процес навчання, за яким відбувається прийом інформації для подальшого використання. Людський мозок здатний сприймати все нові та нові знання без зміни процесів життєдіяльності і без функціональних порушень різних відділів головного мозку. Система штучного інтелекту діє майже у такий спосіб.

Дані – це факти, представлені в умовній формі, зручній для передачі інформації та її обробки людиною чи автоматичними засобами.

Під базою даних розуміємо іменовану сукупність даних, що відображають стан об'єктів в певній предметній чи проблемній галузі.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Знання – це закономірності в предметній чи проблемній області (принципи, закони, правила, зв'язки), отримані в результаті практичної та теоретичної діяльності і професіонального досвіду, які дозволяють спеціалістам ставити та вирішувати задачі в цій області.

- Під предметною областю розуміємо - знання про об'єкти.
- Під проблемною – принципи, методи, алгоритми.

Знання можуть мати такий вигляд:

- знання в пам'яті людини, у вигляді образів- іконографічних моделей (отримані в результаті мислення, навчання та самонавчання). Вони є здебільшого індивідуальними;
- знання на матеріальних носіях – підручники, статті;
- бази знань на машинних носіях – це будь-яка агрегована інформація(її можна програмувати).

За рівнем представлення знання є:

- поверхневі – це знання про видимі взаємозв'язки між окремими подіями та факторами в предметній та проблемній області;
- глибинні – це абстракції, аналогії, схеми, що відображають структуру та природу процесів, які відбуваються в предметній чи проблемній області.

В системах штучного інтелекту знання бувають: декларативні та процедурні:

- декларативні – це факти, аксіоми та правила, що відносяться до цих фактів;
- (Для цих знань характерні- опис об'єктів та їх змістовних відношень й відсутня інформація про те, як можуть бути використані ці описи).
- процедурні – це знання, що відносяться до процедур обробки інформації та методів логічного виведення. Ці знання задають послідовність дій, які можуть бути здійснені та послідовність цілей, які повинні бути досягнені.

Крім цих двох категорій знань система штучного інтелекту виділяє метазнання (знання про знання ) та правила (знання про прийняття рішень).

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Метазнання – використовують для визначення властивостей знань, тобто як використовуються знання, що необхідні для управління базами знань, а також для логічного виведення.

В багатьох випадках декларативні знання відносять до знань першого роду. Це загальновідомі факти, явища, закономірності, які визнанні в даній проблемній чи предметній області зафіксовані в літературних джерелах, чи утворені різними системами генерації знань після обробки інформації. Це можуть бути моделі та алгоритми.

Знання 2-го роду – це процедурні знання (емпіричні правила, міркування, факти на основі досвіду), що як правило не публікуються, але дають змогу досвідченому фахівцю навіть в умовах неповноти та суперечливості знань приймати ефективні рішення.

Евристика – у багатьох випадках в інтелектуальних системах рішення приймають на основі евристик, які на відміну від жорстких алгоритмів є процедурами пошуку рішень в умовах відсутності шляхів пошуку рішень чи будь-яких відомостей про існування рішень. При цьому в процесі пошуку рішень, як правило, проводиться додаткове збирання необхідної інформації.

Системи управління відносяться до відкритих систем, які інформаційно зв'язані з реальним зовнішнім світом, за рахунок чого створюється можливість здійснення обміну інформації із зовнішнім середовищем, забезпечується адаптація до зовнішнього середовища шляхом самоорганізації та самонавчання. Така можливість створюється в системах управління за рахунок використання інтелектуальних механізмів.

Системи управління, що використовують інтелектуальні механізми називаються багатоагентними системами.

Під агентом розуміють деяку сутність, що знаходиться в певному середовищі, з якого вона отримує інформацію про події і формує відповідні дії на це середовище.

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

В теорії багатоагентних систем основними проблемами є:

- розробка архітектур самих агентів;
- організація взаємодії між агентом і середовищем.

Загальна структура таких систем управління має такі блоки:

- 1) База знань (БЗ);
- 2) Механізм логічного виведення на основі БЗ;
- 3) Інтелектуальний вирішувач, який формує постановку і загальний план розв'язання задачі управління;
- 4) Інтелектуальний планувальник, який формує конкретний план розв'язання задачі управління;
- 5) Інтерфейс користувача (підсистема спілкування з системою користувача);
- 6) Система пояснень – може дати пояснення, чому саме прийняте таке рішення.
- 7) Система зв'язку з об'єктом.

Основною вимогою до інтелектуальних систем управління є їх можливість забезпечення реалізації прикладних функцій управління із швидкістю, з якою може приймати рішення досвідчений оператор. Такі системи управління називаються активними системами.

Архітектура інтелектуальних систем управління характеризується ієрархічними структурами, що складаються з узагальнених рівнів, які впорядковані у відповідності з відповідним базовим принципом побудови інтелектуальних систем управління – принцип IPDI, який сформульований у 1989р. й означає, що по мірі просування від нижчих до вищих рівнів системи управління підвищується інтелектуальність рівнів, але знижується їх точність.

Точність – невизначеність при визначенні задач управління.

За цієї концепцією призначається 3 обов'язкових базових рівнів:

1. Організатор.
2. Координатор.
3. Виконавець.

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

## Принципи організації інтелектуальних систем управління (ІСУ)

Тісна взаємодія систем управління з реальним зовнішнім світом з використанням спеціально організованих інформаційних каналів зв'язку.

Принципова відкритість системи з метою підвищення інтелектуальності і удосконалення власної поведінки.

Наявність механізмів прогнозування змінювання зовнішнього світу та власної поведінки системи.

Наявність в інтелектуальних систем управління багатоієрархічної структури, побудованої у відповідності з правилами: підвищення інтелектуалізації та зниження вимог до точності по мірі підвищення рангу в ієрархії системи.

Зберігання можливостей функціонування з деякою втратою якості чи ефективності з певною деградацією, з розривом зв'язків чи втратою управляючих дій від вищих рівнів ієрархії структури управління.

Перший принцип - підкреслює безпосередній зв'язок інтелектуальних систем управління із зовнішнім світом. Знаходячись у безпосередній взаємодії зі світом, інтелектуальна система управління отримує від нього всю необхідну інформацію для прийняття рішень та порівняння знань. Інтелектуальна система управління в свою чергу створює активну дію на зовнішній світ в результаті обробки знань.

У відповідності з другим принципом забезпечується наявність вищого рангу ієрархічної структури як:

- самонастроювання;
- самоорганізація;
- самонавчання.

Система знань складається з двох частин:

Постійних перевірених знань, якими система користується постійно.

Тимчасових знань, в яких система не впевнена і з якими вона експериментує в процесі навчання. Знання другого типу чи відхиляються, чи уточнюються, чи переходять в решті-решт в постійне значення.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Згідно із третім принципом наявність механізмів прогнозування полягає в тому, що систему управління не можна вважати достатньою мірою інтелектуальною, якщо вона не може здійснювати прогнозування змін зовнішнього світу і власної поведінки в цьому світі. Система без прогнозування може не виявити критичну ситуацію, з якої вона не може знайти виходу, наприклад, через часові обмеження чи складності організації управляючих дій, що усувають цю кризову ситуацію.

Четвертий принцип дозволяє визначити шляхи побудови моделей в тих випадках, коли неточність знань про об'єкт управління і його поведінку можна скомпенсувати шляхом збільшення числа рівнів інтелектуальності, а також за рахунок використання вдосконалених механізмів прийняття рішень в умовах невизначеності.

П'ятий принцип (живучості) встановлює в інтелектуальній системі управління лише часткову втрату інтелектуальності, але не припинення функціонування системи при відмові в роботі вищих рівнів ієрархії системи.

#### Загальна концептуальна структура ІСУ

Системи управління організовані у відповідності із сформульованими принципами в повному їх об'ємі називається – інтелектуальними системами в повному розумінні. Такі системи повинні мати багаторівневу ієрархічну структуру із наступними рівнями в порядку зниження в ранзі:

1. Рівень самоорганізації (самоперебудова системи за результатами навчання).
2. Рівень навчання (створення нових знань).
3. Рівень прогнозування подій.
4. Рівень адаптації.
5. Рівень формування рішень по управлінню.
6. Рівень роботи з базами подій та знань. Забезпечення необхідною інформацією.
7. Рівень планування операцій по реалізації сформованих рішень.
8. Виконавчий рівень.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Кожен з перелічених рівнів має свою функціональну специфіку й в реальній системі може складатися з декількох рівнів. Але при будь-якій структурі інтелектуальних систем управління традиційні системи автоматичного управління знаходяться на нижніх рівнях, тобто підкреслюється симбіоз, який повинен бути в цих системах.

Перспективи розвитку інтелектуальних систем

Дослідження в області інтелектуальних систем проводять сьогодні за деякими основними напрямками, перерахованими нижче.

1. Розробка моделей представлення знань в різних предметних областях. Створення принципів побудови баз знань, програмну чи комп'ютерну реалізацію різних моделей представлення знань для певних предметних областей.

2. Створення методів і процедур імітації на ЕОМ людських міркувань при пошуку смислових (семантичних) рішень на основі переробки знань; імітації на ЕОМ процесів навчання людини.

3. Розробка методів розуміння ЕОМ природної мови, процедур діалогового спілкування людини з ЕОМ на природній мові, а також методів автоматизованого перекладу іноземних текстів.

4. Розробка автоматизованих процедур доведення теорем в різних розділах математики (алгебра, геометрія, тригонометрія, логіка, теорія множин та ін.); пошуку аналітичних рішень розв'язання алгебраїчних і диференціальних рівнянь; аналітичного диференціювання та інтегрування; еквівалентного перетворення математичних виразів та ін.

5. Створення методів: розпізнавання зорових зображень, зорових сцен і звукових сигналів; виділення корисних сигналів в умовах перешкод; прогнозування тренда (тенденцій) зміни сигналів при функціонуванні складних об'єктів.

6. Розробка методів автоматизованого програмування і перевірки правильності написання (складання) програм для ЕОМ; розробки процедур інтелектуального пошуку фотографічної і документальної інформації у великих базах даних.

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

Кваліфікаційна робота

Стор.

7. Розробка методів планування і складання розкладів для складних організаційно-виробничих процесів і технологічних операцій; розробка процедур ситуаційного управління складними технологічними системами при невизначеності первинної інформації, в тому числі - процедур управління фізичними діями інтегральних роботів.

8. Створення моделей і процедур пошуку рішень для різних предметних галузей; процедур комп'ютерної імітації художньої творчості (твори літературних, музичних і живописних жанрів).

9. Створення спеціальних мов програмування інтелектуальних систем і мов програмування представлення знань.

Таким чином, основна мета наукових досліджень в теорії та практиці інтелектуальних систем - не заміна розуму людини машиною, а імітація мислення людини на ЕОМ для цілей передачі ЕОМ більшої кількості видів інтелектуальної творчої діяльності і для більш глибокого обґрунтування ухвалюваних людиною розв'язань важких неформалізованих задач, для традиційно використаного різноманітного математичного апарату (власне математика, фізика, хімія, хімічна технологія, економіка, електротехніка, мікроелектроніка та ін.) і математично слабо формалізованих областей знань (медицина, біологія, генетика, геологія, сільське господарство, військова справа та ін.), так і в різних сферах творчої діяльності при експериментальних і теоретичних дослідженнях (при проектуванні, спорудженні і експлуатації складних промислових об'єктів).

На даний час в Україні важливими напрямками досліджень, викликаними проблемами створення, вивчення та розвитку національних інформаційних ресурсів, серед інших, є такі;

- інтеграція інтелектуальної інформації;
- просторове і часове мислення;
- моделювання мислення в інтелектуальних навчаючих системах;
- емпіричний штучний інтелект;
- наукові відкриття за допомогою штучного інтелекту;
- багатозначна логіка у системах штучного інтелекту;

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

- теорія прийняття рішень і штучний інтелект;
- багатомовні машинні лексикони.

Оперативне управління складними об'єктами передбачає участь оперативно-диспетчерського персоналу, тобто системи управління є ергатичними системами (людино-машинні системи). Участь оператора у системі управління є особливо актуальною у випадку виникнення проблемних ситуацій.

Проблемна ситуація – це ситуація, в якій виникає різке протиріччя між запланованим та реальним функціонуванням об'єкта управління, а у оператора відсутня інформація про те, що потрібно зробити для ліквідації протиріччя.

Під ситуацією ми розуміємо передісторію розвитку об'єкта, його поточний стан (обстановка) й прогноз про майбутню поведінку об'єкта.

У випадку проблемної ситуації можливі 2 варіанти:

1) Операторові взагалі невідомо, який спосіб дій вибирати, оскільки дана ситуація не зустрічалася в його досвіді й не передбачалася виробничими інструкціями. В цьому випадку оператор діє на основі аналогій. Аналогія – це судження про часткову схожість подій та об'єктів.

2) В розпорядженні оператора є можливість використання певних засобів втручання в процес управління, комбінації яких дають можливість в певній мірі вирішити задачі, що виникли. В таких ситуаціях процес мислення оператора призводить до успішного вирішення задачі чи відкриття нового способу дій, чи до створення комбінацій відомих прийомів, які не використовувались раніше. Ця цілеспрямована діяльність оператора з метою усунення проблемних ситуацій може бути представлена у вигляді множини етапів та фаз управління, в результаті яких здійснюється досягнення загальної цілі управління шляхом забезпечення досягнення окремих підцілей.

Процес вирішення задач оператором при оперативному диспетчерському управлінні називають – оперативним мисленням, яке є основним ланцюгом в контурі переробки інформації в системі управління.

В процесі оперативного управління використовують такі функції:

Планування.

Контроль.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Діагностика.

Розробка заходів по усуненню проблемних ситуацій.

Планування – це діяльність по створенню плану функціонування об'єкта управління на певний відрізок часу.

Основою цієї діяльності оператора є загальний план, який складається на початку зміни на основі знань режиму роботи об'єкта і врахування тих змінювань в об'єкті, які повідомляються йому на початку зміни. Впродовж зміни оператор планує свою діяльність на 2-3 години на основі оцінки динамічного стану об'єкта і співвідношення результатів цієї оцінки з інформацією про реальний хід процесу.

Контроль – це спеціальна діяльність оператора, яка направлена на забезпечення виконання виробничого плану із спостереження за всією сукупністю параметрів, що характеризують функціонування об'єкта управління.

Змістом контролю є відображення в пам'яті людини різних динамічних характеристик об'єкта управління, виявлення можливих проблемних ситуацій і встановлення успішності виконання плану.

Діагностика – процес визначення проблемної ситуації, виявлення причин її виникнення та прогнозування її наслідків, які можуть виникнути при відповідній ситуації.

Модель мислення при оперативному управлінні

Діяльність людини-оператора в системах управління орієнтована такими типами функцій:

1. Інтелектуальні.
2. Вольові.
3. Ефекторні.

В інтелектуальних функціях виділяють:

Інстинктивні функції (засновані на генетичному несвідомому досвіді);

Інтуїтивні функції (на основі особистого неусвідомленого досвіду);

Свідомі функції (на основі соціального досвіду);

Евристичні функції (на основі творчого досвіду).

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

У вольових функціях виділяють:

емоційновольові (імпульсні) функції;

стереотипновольові (звичайні) функції;

усвідомлювановольові (на основі соціального критерію) функції.

В ефекторних функціях виділяють:

командні функції;

операційні (використання маніпуляторів);

силові функції (виконання фізичної дії).

Інтелектуальні функції оператора базуються на його оперативному мисленні, тобто на його здатності відобразити, встановити шляхом мислення проблемну ситуацію. Потрібно представити її у вигляді певних елементів, привести в дію образи цих елементів та на їх основі створити план майбутніх дій по управлінню.

Якщо ж дії по управлінню однозначно витікають із ситуації і необхідність таких дій жорстко визначена програмою незалежно від складності дій таку діяльність оператора відносять до реактивної.

Різниця між реакціями і інтелектуальними процесами полягає у якості прийнятих рішень й основою прийнятих рішень в інтелектуальних діях оператора є його модель мислення.

Модель мислення має всю інформацію про дані, що характеризують ОУ, про функції, за допомогою яких перетворюються ці дані, а також інформацію про логічну послідовність здійснення процесів управління. Для цілеспрямованої обробки такої інформації модель мислення використовує індуктивні та дедуктивні механізми.

Індуктивні механізми мислення - це процеси навчання та адаптації. Інформацією для цих механізмів є знання про об'єкт та область управління, які зафіксовані документально і можуть передаватися від людини до людини при навчанні.

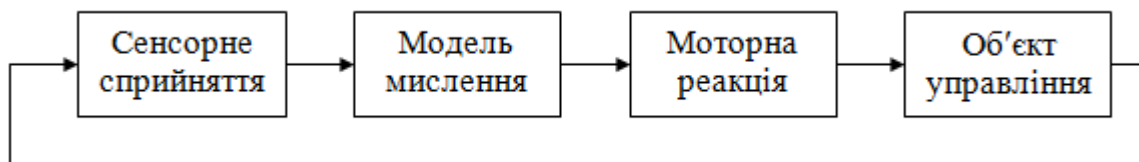
Дедуктивні механізми мислення – це процеси аналізу та класифікації ситуацій, планування вибору та прийняття рішень, діагностика, тощо.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Інформацією для дедуктивного механізму мислення є відомості про стан об'єкта управління, які отримує оператор від засобів представлення інформації.

Як оперативне управління не може існувати без об'єкта і системи управління, так і оперативне мислення не може існувати без організації моторних дій шляхом реалізації ефекторних функцій на об'єкті управління.

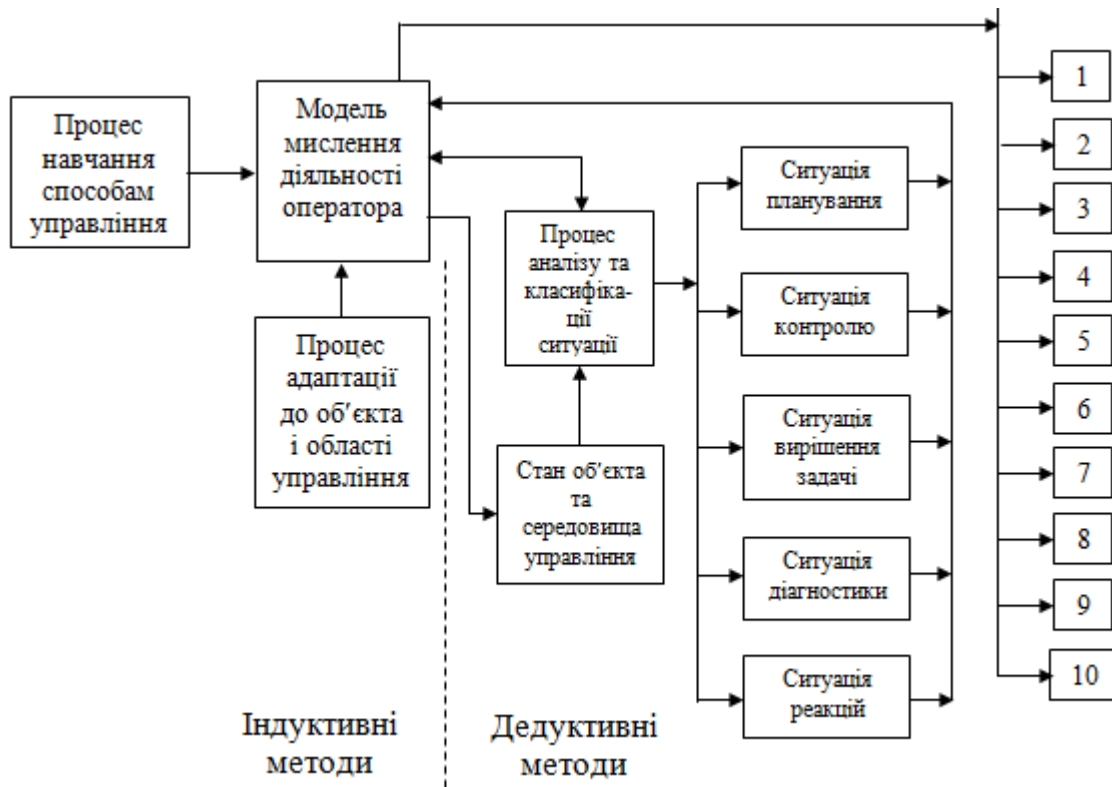
В даному випадку виникає замкнутий контур у якому один з основних ланцюгів є модель мислення оператора. Цей контур реалізовано за такою схемою.



**Рис.4.2. Інтелектуальна діяльність оператора в управлінні складним об'єктом**

Структура процесів оперативного мислення:

- Логіко-часова послідовність регулюючих заходів.
- Перелік поточних регулюючих заходів.
- Способи усунення різних відхилень.
- Перелік моторних реакцій.
- Інформація про можливі в об'єкті відмови.
- Процес планування.
- Процес вибору запасних варіантів заходів по усуненню проблемних ситуацій.
- Процес рішення задач по усуненню відхилень.
- Процес діагностики.
- Процес реалізації моторних реакцій.



**Рис.4.3. Структура процесів оперативного мислення**

Етапи та фази прийняття рішень при управлінні складними об'єктами і застосуванням інтелектуальних систем

Система управління в прийнятті якогось рішення здатна переходити з одного стану в інший, при цих переходах можливе розузгодження між дійсними та бажаними станами системи, який в оперативному мисленні трактується як проблема.

Серед важливих проблем цього роду можна виділити:

- проблему аналізу стану управління;
- проблему виробітку рішень по управлінні;
- проблема прийняття рішень.

Кожна з цих проблем трактується як логічна послідовність етапів, що складаються з окремих фаз, тобто вирішення проблеми розглядається як процес логічних дій розгорнутих у часі. Розглянемо такі етапи:

1. *Етап оцінки стану управління* складається з 3-ох фаз:

- фаза аналізу стану системи;
- фаза виявлення проблем;

- фаза виявлення проблемних ситуацій.

На цьому етапі іде накопичення системою управління визначеного об'єкта даних про стан системи та зовнішнього середовища, проводиться аналіз з метою виявлення можливих розузгоджень між бажаним та дійсним станом системи. У випадку відсутності таких розузгоджень вважається, що проблеми в управлінні не існує і відпадає норма виробітку і реалізації нових рішень по управлінню або прийняття її рішень, які визначені планом.

У випадку виявлення розузгоджень проводиться аналіз та виявлення проблеми, а також визначення ситуацій, що відображають виявлену проблему.

## 2. Визначення цілей та критеріїв ефективності.

Цей етап складається з 3-ох фаз:

- фаза визначення критеріїв адекватності;
- фаза визначення проблемних цілей;
- фаза формування цільової проблемної ситуації.

У випадку виникнення проблемної ситуації необхідно здійснити уточнення цілей управління в залежності від ситуації, наприклад: встановити пріоритетність цілей, визначити схему згортки критеріїв, сформувавши план вирішення проблемної ситуації, і т.п.

## 3. Етап виробітку рішення складається з 2-ох фаз:

- фаза актуалізації людини в системі управління;
- фаза пошуку рішень.

На цьому етапі визначаються всі можливі способи й шляхи досягнення цілей управління, всі можливі переходи в бажаний стан для даної проблемної ситуації. Особливо важливо в необхідній мірі забезпечити повноту множини можливих рішень.

## 4. Етап прийняття рішень складається з 3-ох фаз:

- фаза синтезу рішень;
- фаза визначення можливих результатів управління;
- фаза вибору рішень.

Цей етап полягає у виборі із множини можливих рішень найкращого, у розумінні ефективності досягнення цілей, це рішення повинно бути єдиним.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

5. *Етап реалізації рішень* складається з 2-ох фаз:

- *фаза видачі виконавчих команд;*

- *фаза слідування за виконанням рішень.*

### **Моделі, бази знань і даних в інтелектуальних системах**

Найважливішою проблемою розробки інтелектуальних систем, тобто систем заснованих на знаннях, є вибір моделей представлення знань. При цьому спосіб формального виразу знань про предметну область в комп'ютерній формі, що інтерпретується, називаємо представленням знань, а відповідні формалізми, що забезпечують указане представлення - моделями представлення знань.

Моделі представлення знань можна умовно розділити на два класи: декларативні і процедурні. В декларативних моделях знання представляються у вигляді описів об'єктів і відносин між об'єктами без вказівки в явному вигляді, як ці знання обробляти. Ці моделі передбачають відокремлення декларацій інформаційних структур від механізму виведення, що оперує цими структурами. В процедурних моделях знання представляються процедурами (алгоритмами), що описують інформаційні елементи і одночасно визначають способи їхньої обробки.

На практиці частіше всього використовується комбінація декларативних і процедурних моделей представлення знань. Найпоширенішими є такі моделі:

- логічні моделі
- продукційні моделі
- сіткові моделі
- фреймові моделі.

Логічні моделі представлення знань засновані на формалізмі мов математичної логіки. Ці моделі створюються на основі логіки висловлювань та логіки предикатів. В цьому випадку знання про предметну область представляються у вигляді сукупності логічних формул. Методологічною основою логічних моделей (як і багатьох інших моделей представлення знань) є логіка першого порядку. Перевагою логічного представлення знань є наявність чіткого синтаксису і широко ухваленої формальної семантики, а також теоретично обгрунтованих процедур автоматичного виведення. Основним недоліком логічних моделей є неможливість отримання висновків в ситуаціях,

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

коли потрібні правдоподібні висновки і результат виходить із певною оцінкою упевненості в його істинності. Такі моделі характеризуються монотонним характером висновків, що означає, що в базу знань добавляються тільки істинні ствердження, а це виключає можливість суперечностей. Таким чином, за допомогою логічних моделей дуже важко або взагалі неможливо реалізувати немонотонні міркування, які дуже часто зустрічаються в практиці. Для формалізації і представлення міркувань, неточних, нечітких знань, якими оперує людина, використовуються такі підходи, як байєсовська логіка, теорія Демпстера-Шефера і найпоширеніша нечітка логіка.

### *Нечітка логіка*

Використання природної мови зі всім набором наявних в ньому засобів для виразу людських міркувань і прийняття рішень за допомогою якісних уявлень, понять і оцінок, дозволяє всесторонньо описувати загальну смислову постановку задач прийняття рішень, що виникають в процесі функціонування підприємства. Ефективним засобом формалізації і представлення нечітких понять, категорій і знань, у тому числі лінгвістичних висловів є теорія нечіткої множини і заснована на ній нечітка логіка. Отримані в результаті інтерпретації цих описів в термінах нечітких множин логіко-лінгвістичні або нечіткі моделі є конструктивною основою для розробки методів і алгоритмів моделювання процесів в складних системах в умовах невизначеної і неповної інформації. Перевагою нечіткої логіки є можливість використання експертних знань про вирішувані проблеми або структуру об'єкта у вигляді лінгвістичних висловлювань, які представляються нечіткою базою правил: „якщо <входи>, тоді <вихід>”.

Нечітка логіка ближче по духу до людського мислення і природних мов, ніж формальна двозначна логіка. Нечітка логіка забезпечує ефективні засоби відображення невизначеностей і неточностей реального світу. Наявність математичних засобів відображення нечіткості первинної інформації дозволяє побудувати модель, адекватну реальності.

В якості базового теоретичного матеріалу розглянемо основні поняття теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Теорія множин являє собою потужний інструмент математики. Однак у її основі лежить аксіома виключеного третього,

Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата

стверджуюча, що елемент або належить множині або не належить, що часто робить цю теорію непридатною в реальних завданнях, у яких застосовуються нечіткі оцінки, такі як: «більший прибуток», «високий тиск», «помірна температура», «надійні інструменти», «безпечні умови» і т.п. На жаль, подібні висловлення не можуть бути адекватно формалізовані звичайними математичними методами.

Спроба розвитку формального апарата для залучення часткової належності в теорію множин була почата в середині 60-х років Заде. Він увів поняття нечіткої множини як збірки елементів, які можуть належати цій множині зі ступенем від 0 до 1. Причому 0 позначає абсолютну неналежність, а 1 - абсолютну належність множині). Це було зроблено шляхом застосування поняття функції належності, що ставить у відповідність кожному елементу універсальної множини число з інтервалу  $[0,1]$ , що позначає ступінь належності. Поняття функції належності є узагальненням

поняття характеристичної функції чіткої множини, що оперує значеннями  $[0,1]$ . Тому основні властивості й операції над нечіткими множинами, уведені Заде і його численними послідовниками, є узагальненнями відповідних властивостей й операцій класичної теорії множин.

З метою формалізації нечітких понять і відносин природної мови скористаємося визначенням нечіткої множини.

Визначення 1. Нечітка множина визначається математично як сукупність впорядкованих пар:

$$A = \{(x, \mu_A(X))\}$$

де елементи  $x \in X$ , а  $X$  - універсальна множина нечіткої множини  $A$ , що являє собою всю предметну область визначення відповідних функцій належності  $\mu_A(X)$ . При цьому функція належності відображає елементи множини  $X$  на множину чисел в інтервалі  $[0,1]$ , тобто  $\mu_A: X \rightarrow [0,1]$  - представляє собою деяку суб'єктивну міру належності елемента  $x \in X$  до нечіткої множини  $A$ . Якщо універсальна множина  $X$  охоплює кінцеве число елементів  $x_1, x_2, \dots, x_n$ , то нечітку множину  $A$  можна представити символічно у вигляді об'єднання:

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$A = \frac{\mu_A(x_1)}{x_1} + \frac{\mu_A(x_2)}{x_2} + \dots + \frac{\mu_A(x_n)}{x_n}$$

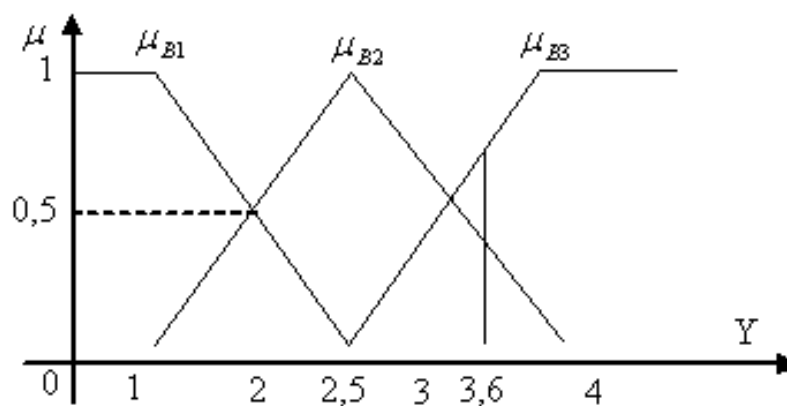
причому, у виразі знак "+" не є операцією складання, а інтерпретується як сума множини елементів  $(x_i, \mu_A(x_i))$ , які інакше означають присвоєння певним елементом  $x_i$  ступеню належності  $\mu_A(x_i)$ .

Поняття функції належності є основним формалізмом теорії нечітких множин, за допомогою якого експертні знання ("Якщо - То") перетворюються на строгі математичні моделі.

Функції належності характеризують суб'єктивну міру упевненості експерта в тому, що деяка величина належить певному нечіткому поняттю - терму, яким характеризується та або інша вхідна (вихідна) змінна. При цьому можна виділити три випадки:

- $\mu_A(X) = 1$ , що означає повну належність елемента  $x$  до нечіткої множин  $A$ , тобто  $x \in A$  ;
- $\mu_A(X) = 0$  означає відсутність якої-небудь належності  $x$  нечіткій множині  $A$ ;
- $0 < \mu_A(X) < 1$  означає часткову належність елемента  $x$  до нечіткої множин  $A$ .

На рис.4.4 представлена графічна ілюстрація функції належності змінної  $Y$ , що показує на прикладі "Ціну", для трьох нечітких значень („низька”, „середня”, „висока”).

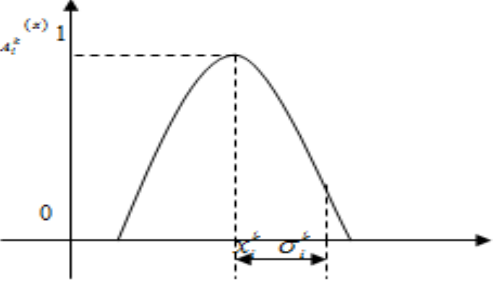
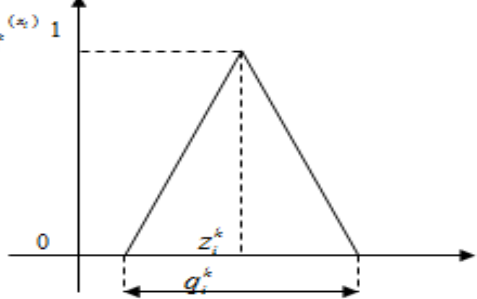
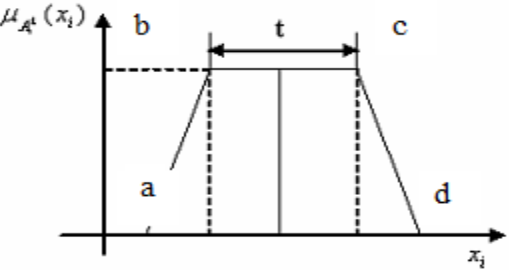
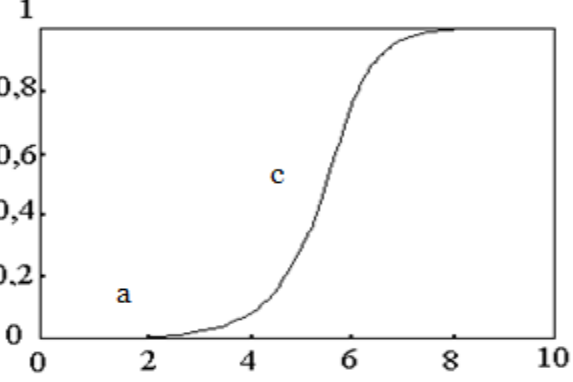


**Рис.4.4. Функції належності нечітких множин „низька” ( $\mu_{B1}$ ), „середня” ( $\mu_{B2}$ ), „висока” ( $\mu_{B3}$ ) змінної “Ціна”.**

Для задання функції належності використовуються типові види функцій, представлені в таблиці 4.1 (вибирається та функція, яка найкращим чином апроксимує експертні оцінки).

Таблиця 4.1.

Типові види функцій, що використовується для задання функцій належності.

Назва функції і формула	Графічне представлення
<p>Функція Гауса</p> $\mu_{A_i^k} = \exp \left[ - \left( \frac{X - X_i^{*k}}{\sigma_i^k} \right)^2 \right]$	
<p>Трикутного вигляду (trimf)</p> $\mu_{A_i^k} = \begin{cases} 1 - 2 x_i - z_i^k  / q_i^k \\ \text{для }  x_i - z_i^k  \leq q_i^k / 2 \\ \text{інакше } 0 \end{cases}$	
<p>трапеціадальна (trapmf)</p> $\text{trapmf}(x, a, b, c, d) = \max \left[ \min \left( \frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{c-d} \right), 0 \right]$	
<p>сигмоїдальна (sigmf)</p> $f(x, a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}}$	

Визначення 2: Підмножина елементів  $S \subset X$ , для яких  $\mu_A(x) > 0$  називається носієм (суппортом – англ. Support) нечіткої множини  $A$  і позначається наступним чином:  $\text{Supp}^* A = \{x \in X; \mu_A(x) > 0\}$ .

Визначення 3: Нечіткою змінною називається набір  $\langle \alpha, X, C \rangle$ , де  $\alpha$  - найменування нечіткої змінної;  $X = \{x\}$  - область визначення;  $C = \bigcup_{x \in X} \mu_x / x$  - нечітка множина на  $X$ , що описує обмеження на можливі значення нечіткої змінної  $\alpha$ .

Згідно з визначенням Л.Заде, „під лінгвістичною змінною розуміється така змінна, значеннями якої є слова і словосполучення на деякій природній або штучній мові". Формально лінгвістичну змінну можна визначити таким чином:

Визначення 4. Лінгвістична змінна - це набір п'яти елементів:  $\langle X, T(X), U, G, M \rangle$ ,

де  $X$  - ім'я змінної;  $T(X)$  - множина термів, тобто множина імен (позначень) лінгвістичних значень  $X$ ;  $U$  - область міркувань (the universe of discourse);  $G$  - правило (the grammer) генерації імен;  $M$  - множина семантичних правил скріплення кожного  $X$  з тим, що воно позначає. Наприклад, для опису вартості виробу в процесі прийняття рішень скористаємося такою лінгвістичною змінною:  $\langle \text{Вартість}, T, [500, 1200], G, M \rangle$

де  $T = \{\text{МАЛА, НЕВЕЛИКА, СЕРЕДНЯ, ВЕЛИКА}\}$ ;  $G$  - процедура вибору елементів множини  $T$ ;  $M$  - процедура експертного опитування.

Для розуміння основних логічних операцій над нечіткою множиною, що виконуються в процесі логічного нечіткого виведення введемо таке визначення.

Визначення 5: Трикутною  $T$ -нормою називається функція двох змінних  $T$ :  $T : [0,1] * [0,1] \rightarrow [0,1]$ , яка задовольняє таким умовам:

- Функція  $T$  є монотонною незростаючою для двох змінних :  
 $T(a, c) \leq T(b, d)$ , для  $a \leq b, c \leq d$ ;
- Функція  $T$  є обмеженою:  
 $T(a, 0) = 0, T(a, 1) = a$ , де  $a, b, c, d \in [0, 1]$ ;
- Функція  $T$  задовольняє умові асоціативності:  $T(T(a, b), c) = T(a, T(b, c))$ ;
- Функція  $T$  задовольняє умові комутативності:  $T(a, b) = T(b, a)$ .

Дію  $T$ -норми на аргументах  $a$  і  $b$  позначаємо таким чином:

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$T(a, b) = a^T * b.$$

Частіше всього як функція T використовуються такі вирази:

$$T(a, b) = \min(a, b)$$

$$T(a, b) = a * b \text{ (добуток } a, b)$$

$$T(a, b) = \max(0, a + b - 1).$$

Якщо змінними a і b є функції належності нечіткої множини A і B, тоді можемо записати таку рівність:

$$\mu_{A \cap B}(x) = T(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x)^T * \mu_B(x)$$

де T - є однією з вище представлених функцій.

Визначення 6: Трикутною S-нормою називається функція двох змінних S:

$S : [0,1] * [0,1] \rightarrow [0,1]$ , якщо є незростаючою і задовольняє таким умовам:

- комутативності:  $S(a, b) = S(b, a)$ .
- асоціативної:  $S(S(a, b), c) = S(a, S(b, c))$ ;
- обмеженості -  $S(1, 1) = 1$ ;  $S(a, 0) = a$ ;  $S(a, 1) = 1$ ;

Функція S називається також конормою або нормою дуальною відносно до T-норми.

Дія S - норми на аргументах a і b позначаємо таким чином:

$$S(a, b) = a^S * b$$

Приклади S-норми:

$$S(a, b) = \max(a, b);$$

$$S(a, b) = a + b - a * b;$$

$$S(a, b) = \min(1, a + b).$$

Якщо змінними a і b є функції належності нечіткої множини A і B, тоді суму цієї множини (об'єднання) можемо записати таким чином:

$$\mu_{A \cup B}(x) = S(\mu_A(x), \mu_B(x)) = \mu_A(x)^S * \mu_B(x)$$

де S-норма є однією з вище представлених функцій.

Нечіткі відношення грають фундаментальну роль в теорії нечітких множин і логіки при моделюванні складних систем, оскільки із їх допомогою виконується операція нечіткого логічного виведення.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Подібно нечіткій множині, нечітке відношення можна задати за допомогою його функції належності:

$$\mu_R : X_1 * X_2 \dots * X_n \rightarrow L$$

де  $L$  - може бути множиною дійсних чисел, відрізком  $[0,1]$  дійсної прямої, множиною лінгвістичних змінних або повною дистрибутивною ґраткою. Тоді під нечітким відношенням  $R$  розуміється функція  $R : X_1 * X_2 \dots * X_n \rightarrow L$ , що відображує декартовий добуток множин  $X_1, X_2, \dots, X_n$  в  $L$ .

Визначення 7: Нечітким відношенням  $R$  між множинами  $X$  і  $Y$  називається функція

$$R : X * Y \rightarrow L$$

де в загальному випадку передбачається, що  $L$  - це повна дистрибутивна ґратка.

Якщо нечіткі множини  $X \subset U$  і  $Y \subset V$ , задані на деякій універсальній множині:  $U = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$  а  $V = \{v_1, v_2, \dots, v_m\}$ , є складовими нечіткого правила „ЯКЩО  $X$ , ТО  $Y$ “. Тоді нечітке відношення між множинами  $X$  і  $Y$  представляють собою матрицю вигляду:

$$R = X * Y = \sum_{i=1}^k \sum_{j=1}^m \{ \mu_X(x_i) \wedge \mu_Y(v_j) \} / (x_i, v_j),$$

в якій елементи, розташовані на перетині  $i$ -того рядка і  $j$ -того стовпця визначаються таким чином:

$$\mu_R(x, v) = \mu_X(x) \wedge \mu_Y(v)$$

Операція нечіткого логічного виведення має такий вигляд:

$$X \rightarrow Y$$

$$X' \rightarrow Y'$$

Такий запис інтерпретується таким чином:

ЯКЩО факт  $X$  виходить з факту  $Y$ , ТО факт  $X'$  виходить з  $Y'$ ,

де  $X, Y, X', Y'$  - нечіткі множини.

При цьому  $Y'$  визначаємо за формулою:

$$Y' = X' \circ R = X' \circ (X * Y) = \sum_{j=1}^m \vee_{x_j \in U} \{ \mu_{X'}(x_i) \wedge \mu_R(x_i, v_j) \} / v_j,$$

$$X, X' \subset U, Y, Y' \subset V$$

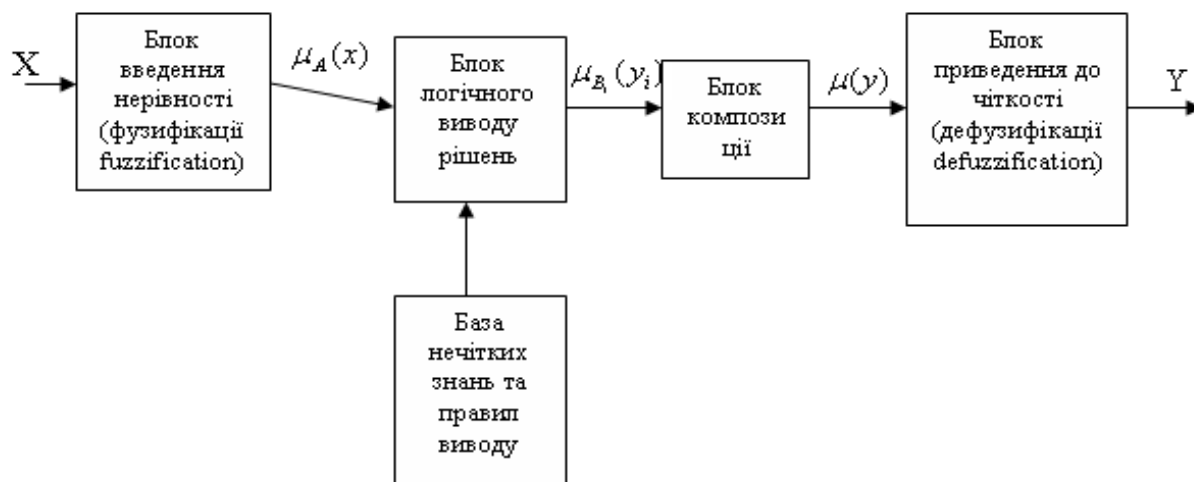
					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Визначення 8: Система нечіткого виведення представляє собою сукупність таких елементів:

- блок введення нечіткості (fuzzification);
- другий блок – це основа системи – база нечітких знань, що формується спеціалістами предметної області у вигляді сукупності нечітких предикатних правил;
- механізм логічних виводів рішень
- блок приведення до чіткості (defuzzification).

Функціональна структура системи нечіткого виводу приведена на рисунку, яка в літературі називається системою Мамдані-Заде.

В блоці введення нечіткості виконується перетворення множини вхідних даних  $X = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$ , в нечітку множину  $A$ , що характеризується функцією належності  $\mu_A(x)$ .



**Рис.4.5. Функціональна структура системи нечіткого виводу**

Одним із методів моделювання багатомірних залежностей в складних задачах прийняття рішень є їх опис нечіткими базами знань, що призначені для формалізації причинно-наслідкових зв'язків між змінними “вхід-вихід”, які характеризують ту чи іншу конкретну залежність.

*Нечітка база знань* представляє собою сукупність правил “ЯКЩО <входи> - ТО <вихід>”, які відображають знання експерта і його розуміння причинно-наслідкових зв'язків, що характерні для об'єкта, який моделюється, або процесу.

Нечітка база знань являє собою опис цих зв'язків на звичайній мові з використанням нечітких множин та лінгвістичних змінних.

В блоці приведення до чіткості – дефузифікації формується однозначне рішення відносно значення вихідної змінної на підставі нечітких висновків, отриманих в результаті логічного висновку рішень. В блоці дефузифікації формується нечітка множина в повністю детерміноване точкове рішення.

Основою дій нечіткого логічного висновку є нечітке спільне правило “modus-ponens”, яке може бути визначено таким чином:

Визначення 9: Нечітке узагальнене правило “modus-ponens” визначає така схема висновку:

Передумова:	$x \in A'$
Імплікація:	ЯКЩО $x \in A$ , ТО $y \in B$
Висновок:	$y \in B'$ ,

де  $A, A' \subseteq X$  і  $B, B' \subseteq Y$ , є нечіткими множинами, визначеними на  $X, Y$  – які є непустими універсальними множинами, а  $x$  і  $y$  – лінгвістичні змінні. Тоді висновок нечіткого правила може бути записаний з допомогою нечіткої імплікації  $R = A \rightarrow B$  таким чином:

$$B' = A' \oplus R = A' \oplus (A \rightarrow B),$$

де “ $\oplus$ ” означає операцію композиції.

Як було вище зазначено, нечітка імплікація рівносильна деякому нечіткому відношенню  $R \subseteq X \times Y$ , з функцією належності  $\mu_R(x, y)$ . Тому функцію належності нечіткої множини  $B'$  можемо знайти за такою формулою:

$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in X} \{ \mu_{A'}(x)^T * \mu_{A \rightarrow B}(x, y) \},$$

де  $\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_R(x, y)$ . При цьому, в залежності від того яким чином реалізується Т-норма, формула може прийняти другий вигляд, тобто якщо Т-норма визначається як мінімум (min), тоді формула прийме такий вигляд:

$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in X} \{ \min[\mu_{A'}(x), \mu_{A \rightarrow B}(x, y)] \},$$

або виконується операція множення:

$$\mu_{B'}(y) = \sup_{x \in X} \{ \mu_{A'}(x) \cdot \mu_{A \rightarrow B}(x, y) \}$$

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Крім представленої нечіткої правила висновку “modus-ponens” в нечіткій логіці використовується узагальнене нечітке правило “modus-tollens”.

Визначення 10: Узагальнене нечітке правило “modus-tollens” визначає наступну схему висновку:

Передумова:	$y \in B'$
Імплікація:	ЯКЩО $x \in A$ , ТО $y \in B$
Висновок:	$x \in A'$ ,

де  $A, A' \in X$  і  $B, B' \in Y$ , є нечіткими множинами, визначеними на  $X, Y$  – які є непустими універсальними множинами,  $x$  і  $y$  – лінгвістичні змінні. Нечітка множина в схемі нечіткого висновку визначається в результаті композиції відношення:

$$A' = (A \rightarrow B) \circ B'$$

при цьому

$$\mu_{A'}(x) = \sup_{y \in Y} \{ \mu_{A \rightarrow B}(x, y)^T * \mu_{B'}(y) \}$$

Якщо Т-норма є типу min, тоді попередня формула прийме такий вигляд

$$\mu_{A'}(x) = \sup_{y \in Y} \{ \min[\mu_{A \rightarrow B}(x, y), \mu_{B'}(y)] \}$$

В даний час відомо багато різних методів нечіткої імплікації. Розглянемо найбільш відомі з них.

#### *Методи визначення функції належності нечіткої імплікації*

Нечітка імплікація типу  $A \rightarrow B$  представляє собою набір правил, що визначають спосіб розрахунку функції належності нечіткого відношення  $R \subseteq X \times Y$ , тобто

$$\mu_R(x, y) = \mu_{A \rightarrow B}(x, y)$$

на основі відомих функцій належності  $\mu_A(x, y)$  і  $\mu_B(x, y)$  нечіткої множини  $A \subseteq X$  і  $B \subseteq Y$ .

> Нечітка імплікація Mamdani:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_A(x) \wedge \mu_B(y) = \min(\mu_A(x), \mu_B(y)),$$

> Нечітка імплікація Zadeh:

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \max(\min(\mu_A(x), \mu_B(y)), 1 - \mu_A(x))$$

> Нечітка імплікація Larsena:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \mu_A(x) \mu_B(y)$$

> Нечітка імплікація Kleene-Dienes:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = [1 - \mu_A(x)] \vee \mu_B(y) = \max(1 - \mu_A(x), \mu_B(y))$$

> Нечітка імплікація Lukasiewicza:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min(1, 1 - \mu_A(x) + \mu_B(y))$$

> Нечітка імплікація Yager'a:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{якщо } \mu_A(x) = 0 \\ \mu_B(y)^{\mu_A(x)} & \text{якщо } \mu_A(x) > 0 \end{cases}$$

> Нечітка імплікація Willmott'a:

$$\mu_{A \rightarrow B}(x, y) = \min[\max(1 - \mu_A(x), \mu_B(y)), \max(\mu_A(x), 1 - \mu_B(y)), \min(1 - \mu_A(x), \mu_B(y)))]$$

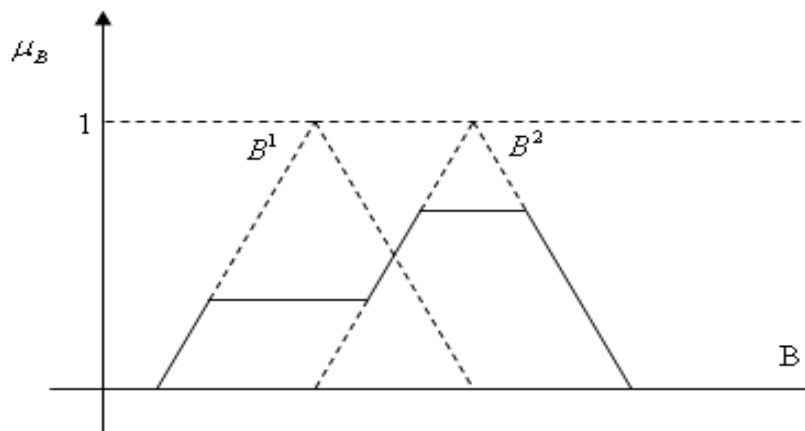
*Методи приведення до чіткості*

Трансформація нечіткої множини в єдине точкове рішення може бути виконана декількома відомими способами.

> Метод центру тяжіння області (Center of Area method = COA). Це найбільш широко використовуваний метод дефазифікації. Формула виглядає таким чином:

$$y_0 = \frac{\int y \mu(y) dy}{\int \mu(y) dy}$$

Спосіб визначення  $y_0$  показаний на рисунку



**Рис.4.6. Ілюстрація методу центра тяжіння області**

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

В дискретному випадку розрахунок проводиться за формулою:

$$y_0 = \frac{\sum_i \mu(y_i) y_i}{\sum_i \mu(y_i)}$$

> Метод максимуму критерію (max criterion method).

Суть цього методу полягає у виборі значення  $y_0$ , при якому нечітка множина  $\{\mu_{x_1}, \dots, \mu_{x_n}, \mu_r(y)\}$  має максимальну ступінь належності:

$$\mu_{B^r}(y_0) = \sup_{y \in Y} \mu_{B^r}(y)$$

> Перший максимум (First-of-Maxima), Чітка величина висновку знаходиться як найменше значення, при якому досягається максимум кінцевої нечіткої множини:

$$y_0 = \min \left\{ y \mid C(y) = \max_U C(U) \right\}$$

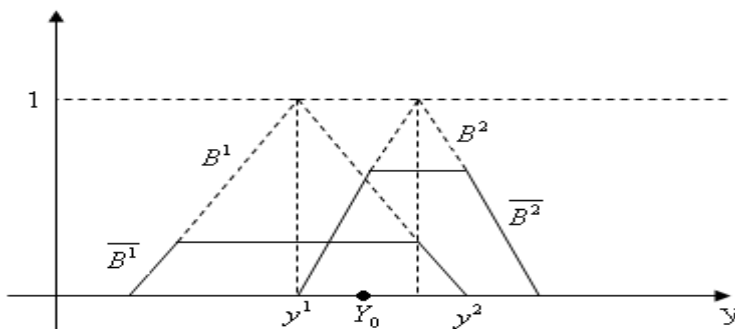
> Метод середнього центру (Center Average Defuzzyfication) визначає значення  $y_0$  за такою формулою:

$$y_0 = \frac{\sum_{k=1}^N \mu_{B^{-k}}(y^{-k}) y^{-k}}{\sum_{k=1}^N \mu_{B^{-k}}(y^{-k})}$$

де  $y^{-k}$  є точкою, в якій функція належності  $\mu_{B^{-k}}(y)$  приймає максимальне значення

$$\mu_{B^{-k}}(y^{-k}) = \max_y \mu_{B^{-k}}(y)$$

Точка  $y^{-k}$  називається центром нечіткої множини  $B^k$ . На рисунку показана суть цього методу для  $N=2$ .



**Рис.4.7. Ілюстрація методу середнього центру**

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

> Метод середнього значення максимуму (mean of maximum method=MOM)

$$y_0 = \frac{1}{\max(\mu_{x_1, \dots, x_2}^{\text{output}})} \sum_{y \in \max(\mu_{x_1, \dots, x_2}^{\text{output}})} y$$

На практиці частіше всього застосовуються методи середнього центру.

#### Алгоритми нечіткого логічного висновку

Нечіткий логічний висновок пов'язаний з виконанням розрахунків на нечітких множинах, які визначають значення деяких лінгвістичних змінних, що описані в нечіткій базі знань. Ці розрахунки виконують згідно з правилами висновку і узагальненим нечітким правилом “*modus ponens*”.

Перше правило нечіткого логічного висновку було запропоновано L.Zadeh і носить назву композиційного правила висновку. В наш час використовують різні методи нечіткого висновку, які відрізняються, перш за все, використанням методом імплікації і композиції.

Розглянемо найбільш розповсюджені модифікації алгоритму нечіткого виведення, вважаючи, що база знань складається з **3** двох нечітких правил вигляду:

$P_1$  : якщо  $x \in A_1$  і  $y \in B_1$ , тоді  $z \in C_1$ ,

$P_2$  : якщо  $x \in A_2$  і  $y \in B_2$ , тоді  $z \in C_2$ ,

де  $x$  і  $y$  — вхідні змінні,  $z$  — змінна висновку,  $A_1, A_2, B_1, B_2, C_1, C_2$  — деякі задані функції належності.

Чітке значення  $z_0$  необхідно визначити на основі наведеної інформації і чітких значень  $x_0$  і  $y_0$ .

1) Розглянемо найпопулярніший *алгоритм Мамдані*.

Математично алгоритм Мамдані може бути описаний таким чином:

> На етапі введення нечіткості знаходяться ступені істинності для передумов кожного правила:

$A_1(x_0), A_2(x_0), B_1(x_0), B_2(x_0)$ .

> В процесі логічного виведення знаходяться рівні «відсічення» для передумов кожного з правил (з використанням операції  $\min$ ):

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0), \quad \text{де через "}\wedge\text{" позначена операція} \quad \alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0)$$

логічного мінімуму (min).

Потім знаходяться «відсічені» функції належності:

$$C_1' = (\alpha_1 \wedge C_1(z))$$

$$C_2' = (\alpha_2 \wedge C_2(z))$$

> Наступний етап - композиція (або інакше агрегація). Проводиться об'єднання знайдених усічених функцій з використанням операції max (позначається як « $\vee$ »), що приводить до отримання результуючої нечіткої підмножини для змінної виходу із функцією належності:

$$\mu_{\Sigma}(z) = C(z) = C_1'(z) \vee C_2'(z) = (\alpha_1 \wedge C_1(z)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(z))$$

> Приведення до чіткості виконується методом центру тяжіння області.

## 2) Алгоритм Tsukamoto

В цьому алгоритмі передбачається, що функції  $C_1(z), C_2(z)$  є монотонними.

> Введення нечіткості виконується аналогічно, як в алгоритмі Mamdani.

> В процесі логічного виведення спочатку також знаходяться рівні «відсічення» для передумов кожного з правил, як і в алгоритмі Mamdani, тобто визначаються  $\alpha_1$  і  $\alpha_2$ , а потім розв'язанням рівнянь:

$$\alpha_1 = C_1(z_1) \quad \text{і} \quad \alpha_2 = C_2(z_2)$$

визначаються чіткі значення ( $z_1$  і  $z_2$ ) для кожного початкового правила.

> В процесі дефазифікації визначається чітке значення змінної висновку (як зважене середнє  $z_1$  і  $z_2$ ):

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2}{\alpha_1 + \alpha_2},$$

або в загальному випадку для n правил згідно з дискретним варіантом методу центру тяжіння області (COM):

$$z_0 = \frac{\sum_{i=1}^n \alpha_i z_i}{\sum_{i=1}^n \alpha_i}.$$

## 3) Алгоритм Takagi та Sugeno

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

Розглянемо спочатку перший спрощений алгоритм, розроблений Takagi та Sugeno, який послужив їм за основу при розробці узагальненого алгоритму і моделі.

Takagi та Sugeno використовували набір правил в наступній формі (наведемо приклад двох правил):

$$P_1 : \text{якщо } x \in A_1 \text{ і } y \in B_1 \text{ то } z_1 = a_1x + b_1y$$

$$P_2 : \text{якщо } x \in A_2 \text{ і } y \in B_2 \text{ то } z_2 = a_2x + b_2y$$

Алгоритм можемо представити таким чином:

> Введення нечіткості виконується також аналогічно, як у алгоритмі Mamdani.

> В процесі нечіткого логічного висновку знаходяться

$$\alpha_1 = A_1(x_0) \wedge B_1(y_0), \quad \alpha_2 = A_2(x_0) \wedge B_2(y_0) \quad \text{та індивідуальні виходи правил:}$$

$$z_1 = a_1x_0 + b_1y_0 \quad \text{і} \quad z_2 = a_2x_0 + b_2y_0.$$

> Визначається чітке значення змінної висновку за формулою:

$$z_0 = \frac{\alpha_1 z_1 + \alpha_2 z_2}{\alpha_1 + \alpha_2}$$

Узагальнена модель нечіткого висновку Takagi-Sugeno придбала велику популярність завдяки представленню висновку у вигляді функціональної залежності, що дозволило значно спростити висновок, ліквідувавши необхідність дефазифікації. Загальна форма запису запису нечітких правил в моделі TS може бути представлена таким чином:

$$R^{(k)} : \text{IF } x_1 \text{ IS } A_1^k \text{ AND } x_2 \text{ IS } A_2^k \text{ AND } \dots \text{ AND } x_n \text{ IS } A_n^k$$

$$\text{THEN } y_k = f^{(k)}(x_1, x_2, \dots, x_n)$$

де  $f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  - чітка функція. В представленні висновку у вигляді функціональної залежності і полягає принципова відмінність системного нечіткого висновку від наведених раніше підходів. Частіше всього представлення цієї функції є поліноміальною функцією декількох змінних, а на практиці – це поліном першого порядку:

$$y = f(x) = p_0 + \sum_{i=1}^N p_i x_i,$$

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

в якому коефіцієнти  $p_0, p_1, \dots, p_N$  - це цифрові ваги, які підбираються в процесі навчання.

Якщо на вхід системи подається вектор  $\bar{x} = (\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ , тоді для визначення вихідного сигналу  $\bar{y}$  для правила  $R^{(k)}$  необхідно розрахувати функції належності

$\mu_{A_1^k}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^k}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{A_n^k}(\bar{x}_n)$ , а також ваги  $w^k$  кожного правила в системі таким

чином:

$$w^k = \begin{cases} \min\{\mu_{A_1^k}(\bar{x}_1), \mu_{A_2^k}(\bar{x}_2), \dots, \mu_{A_n^k}(\bar{x}_n)\} \\ \text{або} \\ \mu_{A_1^k}(\bar{x}_1) \mu_{A_2^k}(\bar{x}_2) \dots \mu_{A_n^k}(\bar{x}_n) \end{cases}$$

і величину  $\bar{y}_k = f^{(k)}(\bar{x}_1, \bar{x}_2, \dots, \bar{x}_n)$ .

Вихідний сигнал системи нечіткого висновку Такагі-Сугено визначається як середньозважене значення:

$$\bar{y} = \frac{\sum_{k=1}^N w^k \bar{y}_k}{\sum_{k=1}^N w^k}$$

Слід зазначити, що використовувані в моделі ваги  $w^k$  є нелінійними параметрами функції  $y$  і піддаються навчанню для досягнення найкращої пристосованості моделі до заданих умов.

Теорія нечітких множин і заснована на ній нечітка логіка є в даний час найефективнішим засобом формалізації представлення нечітких понять, категорій знань, у тому числі лінгвістичних висловлювань.

## 4.2. Інтелектуальна підсистема визначення якості хлібу на основі нечіткої логіки

Для створення нечіткої інтелектуальної підсистеми якості хлібу було обрано параметри технологічного процесу випікання хлібу по зонах печі. Структурна система показана на рис. 4.8.

За основу взято три вхідні змінні:

T-1зона: [(120-140)°C] – температура в 1 зоні печі;

T-2зона: [(280-290)°C]] – температура в 2 зоні печі;

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

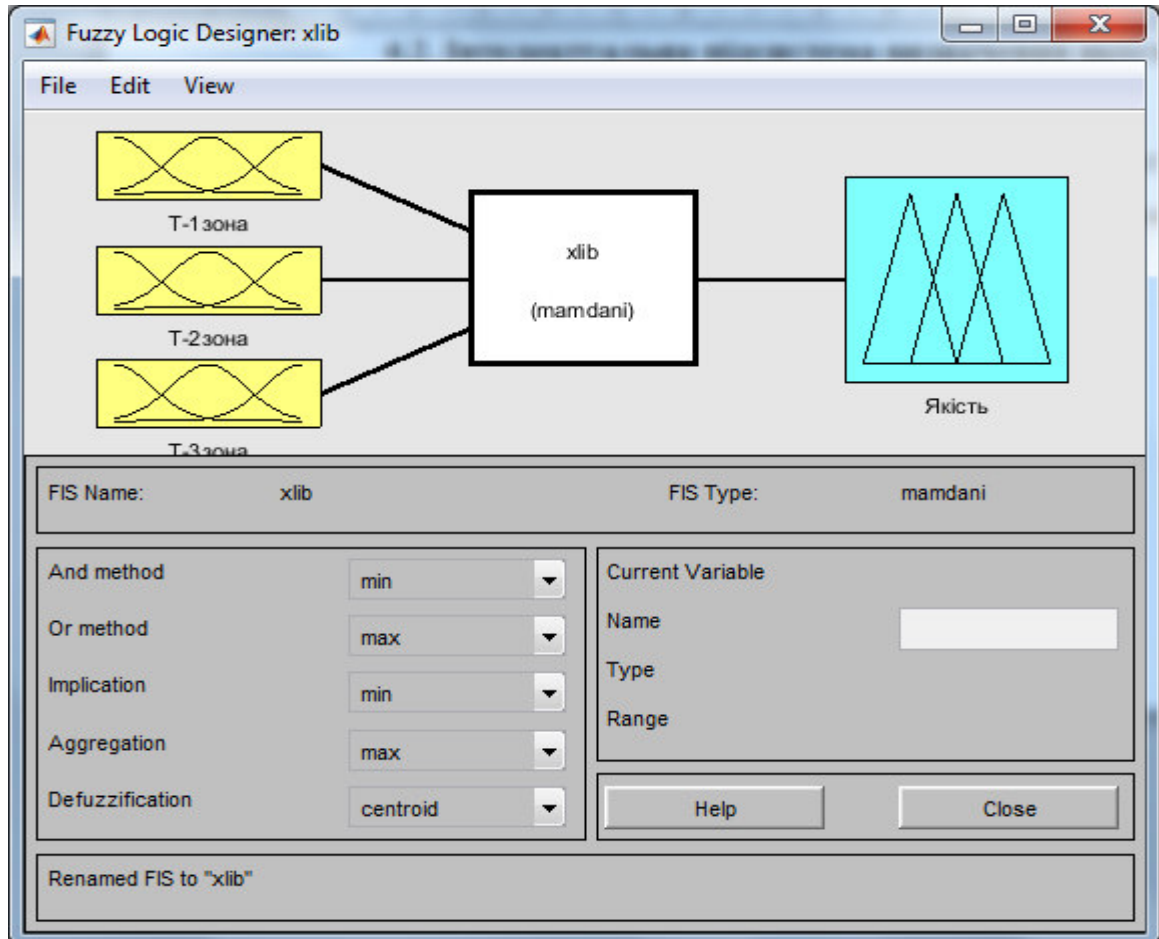
Т-зона:  $[(230-240)^\circ\text{C}]^3$  – температура в 3 зоні печі.

Вихідна змінна:

Y: [0-100] – якість;

В роботі використовуються трикутні і функції належності.

Нечіткі змінні: „Низька”, „Нормальна”, „Висока”.



*Рис. 4.8. Структура нечіткої підсистеми*

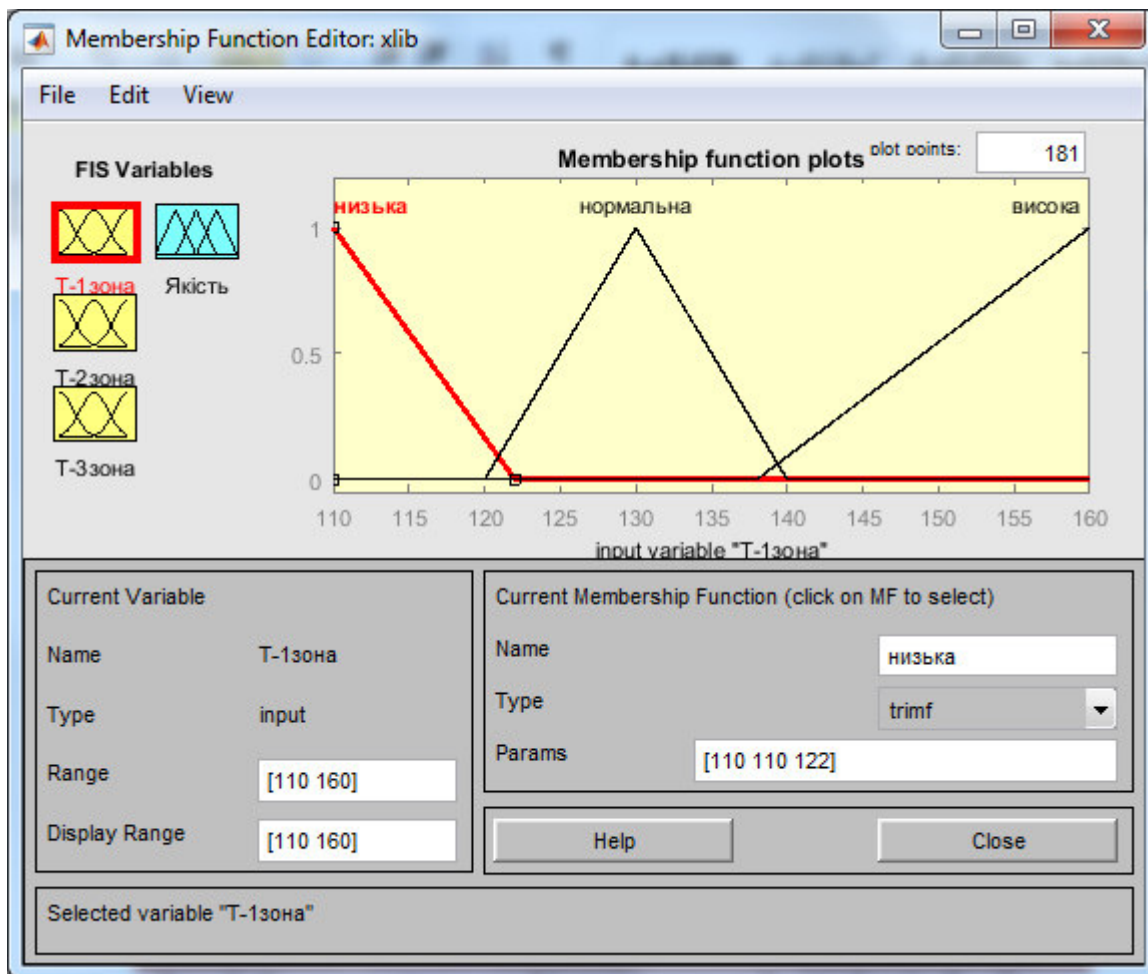
Викликати інструментальну підсистему створення нечітких систем FIS Editor Fuzzy Logic Toolbox шляхом введення команди **fuzzy** в командному рядку середовища Matlab.

Відкривши меню Edit системи FIS Editor (рис. 4.8), додати два входи: Add Variable...→Input. За необхідністю, в зоні параметрів Current Variable, є можливість перейменувати параметр Name на назву входу, що відповідає реальній назві вхідної змінної.

Кожний вхід відредаговується на три функції належності:

Виділити відповідний вхід і подвійним натисканням лівої клавiшi мишi відкрити вікно Membership Function Editor (рис. 4.9-4.12).

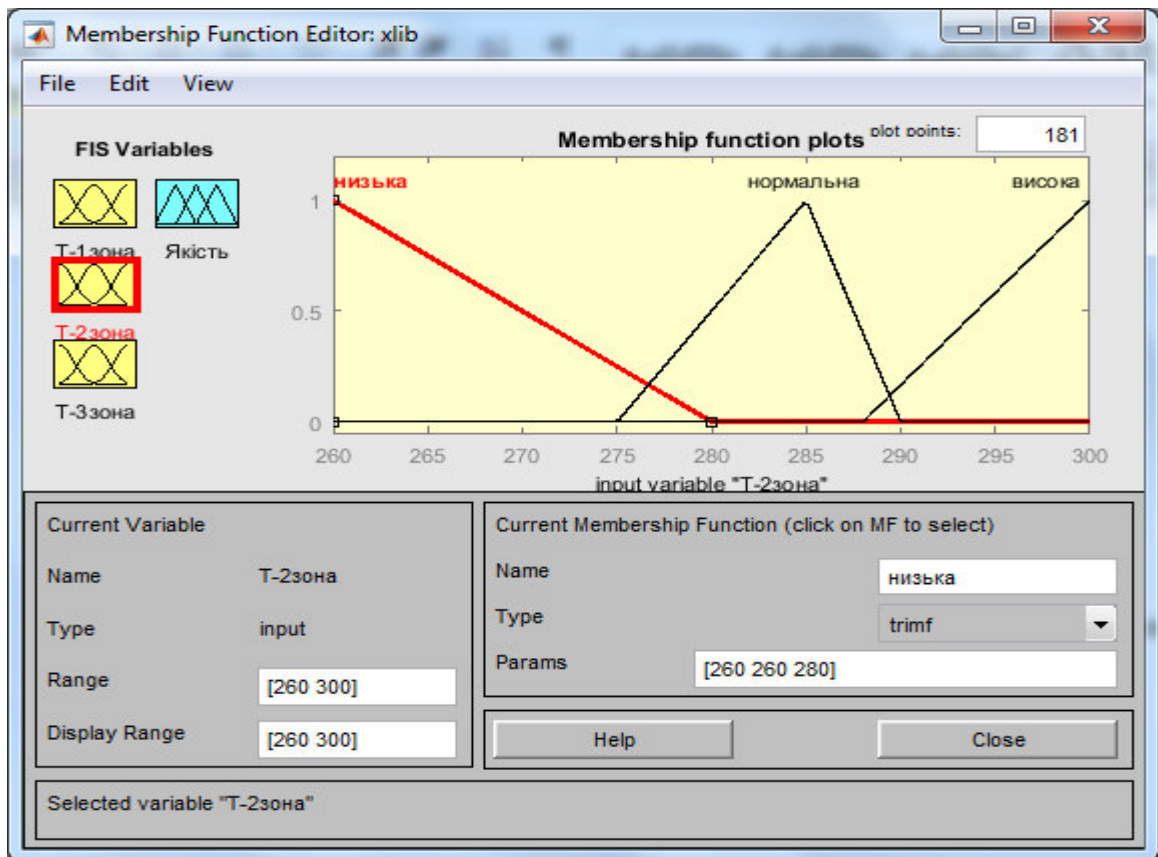
Відкрити меню Edit та вибрати пункт підменю Add MFs... – додати необхідні типи (MF type) та кількість (Number of MFs) функцій.



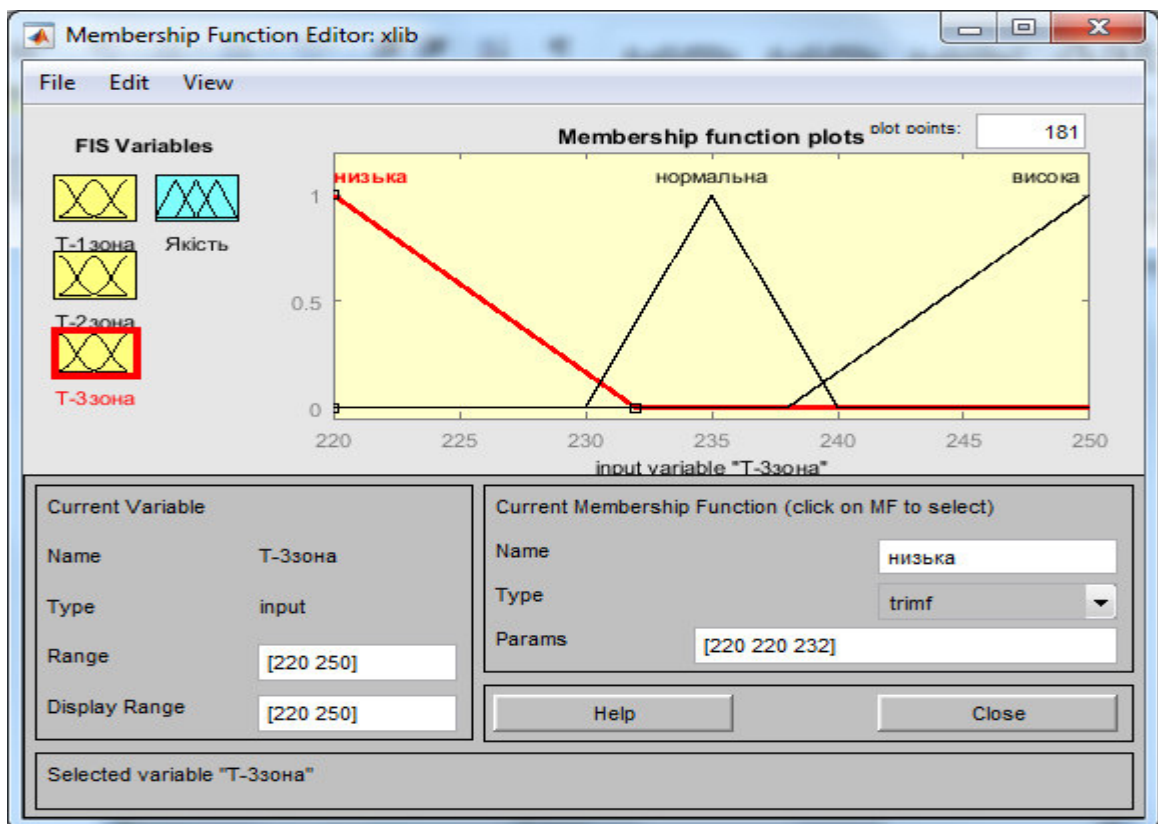
**Рис. 4.9. Вікно редагування функцій належності  
вхідного параметру Т-Зона печі**

У вікні Member Function Editor (рис. 4.9), налаштовуємо параметри кожної функції належності.

Виділяємо курсором миші функцію належності і в нижній частині вікна змінюємо в зоні параметрів Current Variable параметри Range (ряд) і Display Range (ряд, що відображається) – діапазон змінювання вхідного параметру. Як правило, це мінімальне і максимальне значення параметру, яке обирається виходячи із температурного режиму печі по зонам.



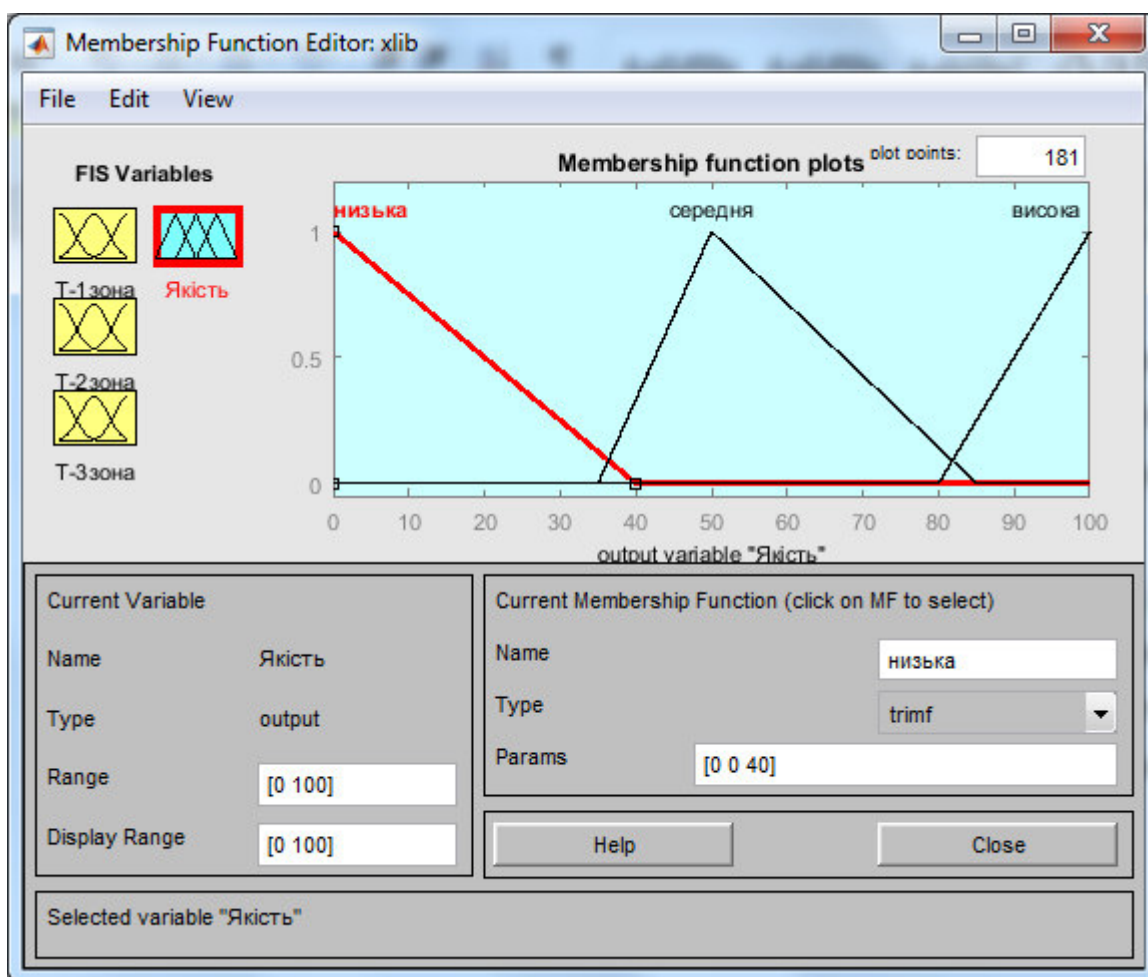
*Рис. 4.10. Вікно редагування функцій належності  
вхідного параметру T-2зона печі*



*Рис. 4.11. Вікно редагування функцій належності  
вхідного параметру T-3зона печі*

В зоні параметрів Current Membership Function є можливість змінити назву лінгвістичної змінної в полі Name, тип функції належності Type і параметри в полі Params. Останній параметр можливо також змінити переміщенням курсору миші на поточній функції належності.

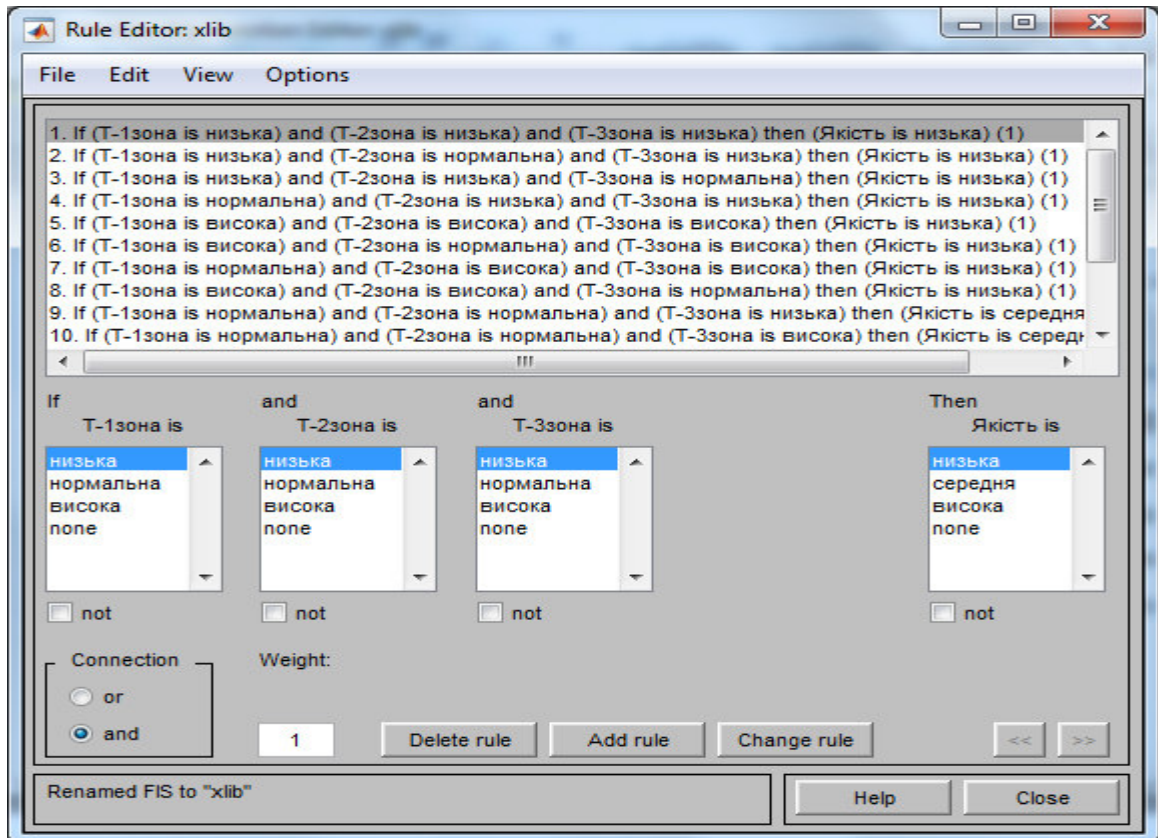
В головному вікні FIS Editor в меню Edit→Rules... відкриється вікно Rule Editor. Це вікно також відкриється подвійним натисканням лівої клавіші миші на центральному білому прямокутнику. В даному вікні визначаються нечіткі правила поведінки системи, що створюється (рис. 4.13). Правила формуються виходячи із технологічних параметрів процесу випікання, а також використовуючи досвід експертів технологів.



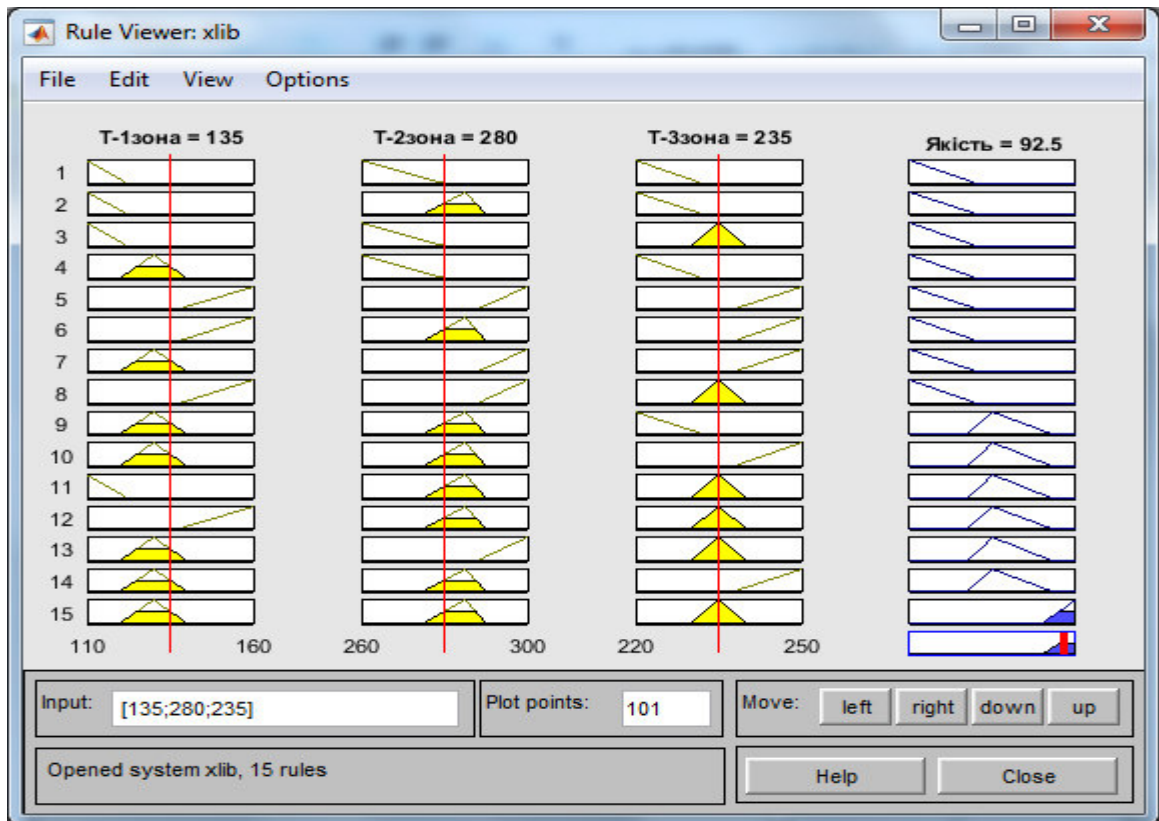
**Рис. 4.12. Вікно редагування функцій належності вихідного параметру якості хлібу**

Для перегляду результату роботи системи (підсистеми) нечіткої логіки в головному вікні FIS Editor обирають в меню View команду Rules – графічне

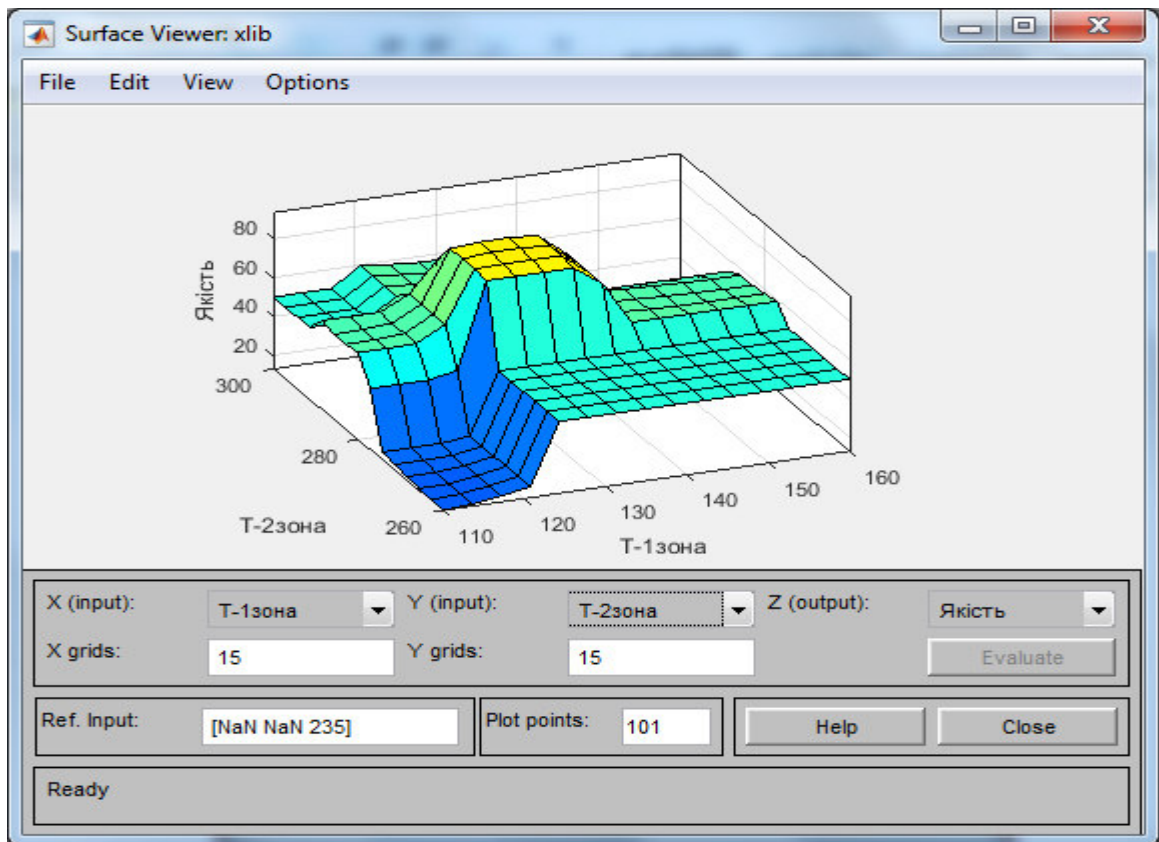
відображення роботи алгоритму нечіткого висновку (рис. 4.14) або команду Surface – відображення поверхні відгуку (рис. 4.15-4.17). За допомогою даних графічних відображень, ми можемо перевірити достовірність створеної нечіткої системи, адже змінюючи параметри у Rules, ми можемо бачити відсоток якості хлібу за певного температурного режиму. Аналогіно відображає процес випікання хлібу і графічне відображення Surface.



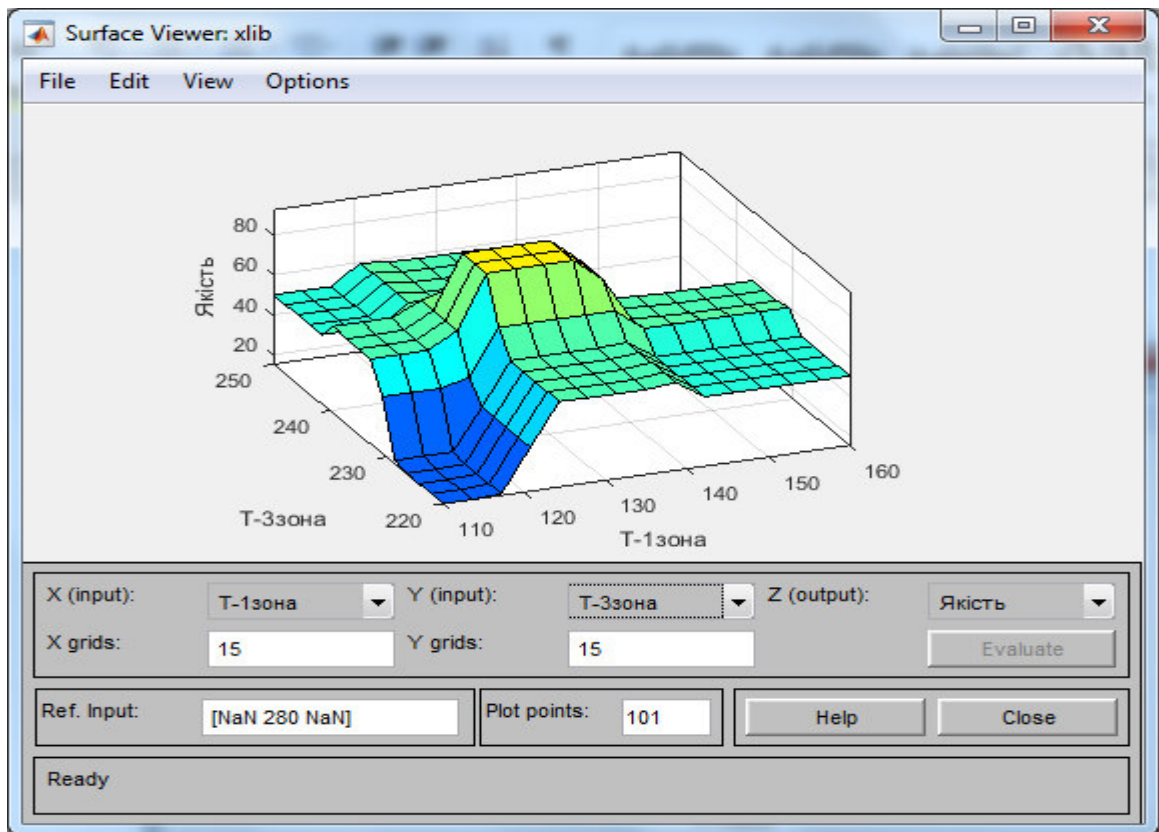
*Рис. 4.13. Вікно редагування правил нечіткого висновку*



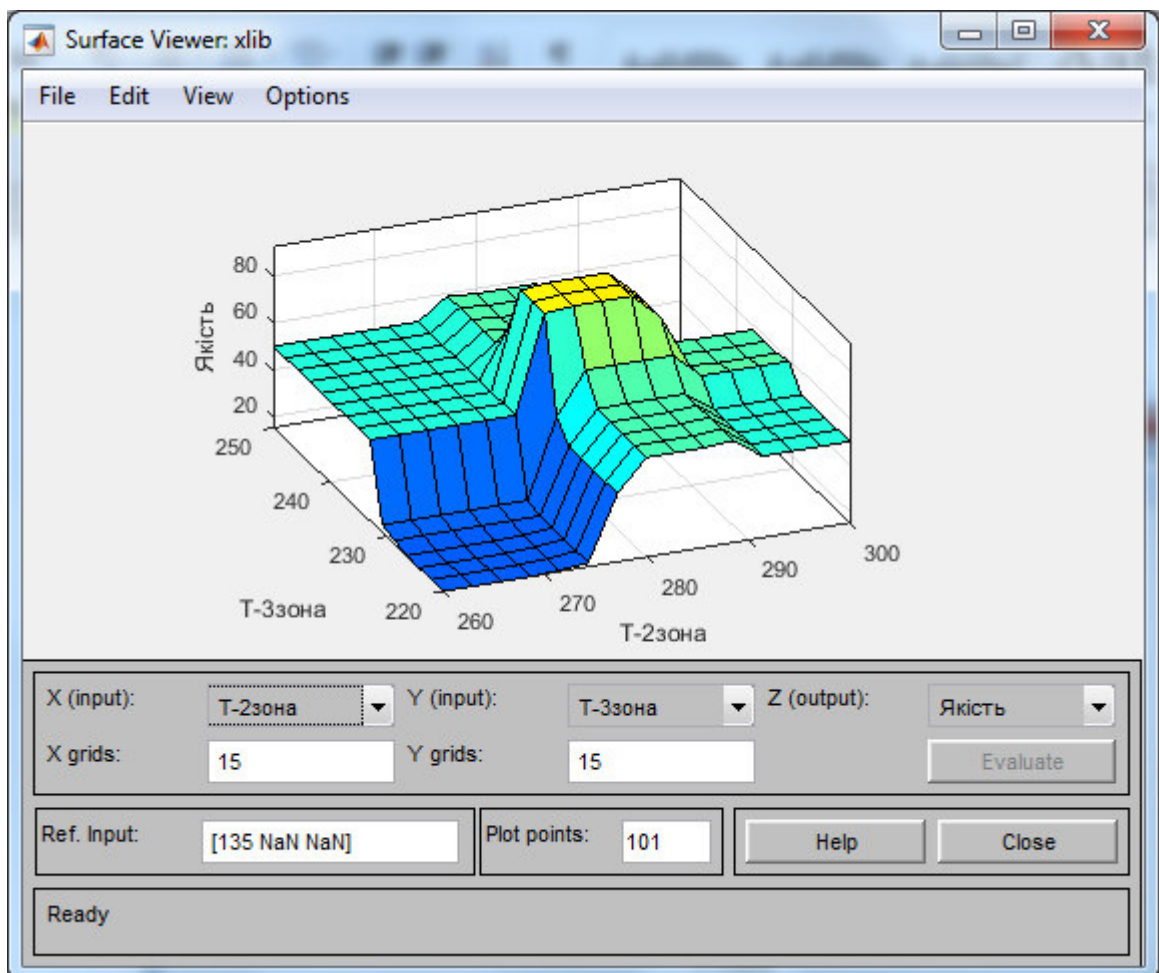
**Рис. 4.14. Вікно графічного відображення роботи алгоритму нечіткого висновку**



**Рис. 4.15. Вікно відображення поверхні відгуку залежності T-1зона – T-2зона**



*Рис. 4.16. Вікно відображення поверхні відгуку залежності T-зона – T-зона*



*Рис. 4.17. Вікно відображення поверхні відгуку залежності T-зона – T-зона*

## Висновок

Внаслідок впровадження автоматизованої системи керування хлібопекарською піччю тунельного типу підвищилась надійність системи, значно покращилась якість готової продукції, зменшився відсоток браку в готовій продукції за рахунок якісного контролю за основними технологічними показниками процесу, а також зменшились втрати енергоресурсів за рахунок зменшення часу випікання та ефективної роботи діючого обладнання.

Запропонована система передбачає збільшення техніко – економічних показників, що значною мірою впливає на стабільну роботу всього підприємства та покликана приносити прибутку.

Розроблена система автоматизації відповідає вимогам якості, надійності, сучасності, а також базується на використанні переважно закордонної техніки. Завдяки використанню підібраної в кваліфікаційній роботі мікропроцесорної техніки було забезпечено високу точність регулювання і стабілізацію роботи відділення, що значно підвищує рівень надійності спроектованої системи і забезпечує якісне регулювання виробничим процесом. Використання контролера Modicon M340, що є порівняно недорогим на ринку автоматизації, дає змогу в автоматичному режимі програмно керувати технологічним процесом – отримати систему керування, яка забезпечує: контроль та реєстрацію регульованих величин, відображення ходу технологічного процесу на мнемосхемі, ручне керування виконавчими механізмами, покращення якості кінцевого продукту, яка досягається шляхом введення точних налаштувань регуляторів.

Розроблено програмне забезпечення для керування піччю використавши Unity Pro від фірми Schneider Electric. Це дає можливість застосовувати для оперативного управління SCADA – програму реалізовану з допомогою Vijeo Citect 7.0.

В результаті з'явилась можливість отримувати дані про перебіг процесу як в реальному часі так і з історичної бази даних. Відмінне програмне забезпечення дає змогу оператору відділення керувати технологічним процесом з локальної станції, швидко і без зайвих зусиль з єдиного операторського пункту керувати роботою всього відділення, не марнуючи час на керування з місцевих пунктів, а

					Кваліфікаційна робота	Стр.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

також завжди мати оперативну та достовірну інформацію на мнемосхемі про роботу всіх підсистем відділення в зручному для сприйняття вигляді.

Виконано якісну та кількісну заміну існуючих датчиків для вимірювання вологості в зоні зволоження тістових заготовок в печі. Причому при пошуку можливих варіантів було враховано технологічні особливості та принципові різниці в місцях відбору ТП. Враховуючи це було обрано високоточний датчик фірми JUMO, що складається з занурювального зонда з подовжуючим кабелем для важкодоступних місць та вимірювального перетворювача вологості 907023/333.

Інтелектуальна підсистема оптимального керування процесом випікання хліба базується на нечітких системах FIS, яка реалізована в середовищі Matlab в Editor Fuzzy Logic Toolbox. Завдяки створеній базі знань, алгоритму нечіткого висновку та бази правил ми можемо визначити відсоток якості хлібу за певного температурного режиму.

					Кваліфікаційна робота	Стр.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

## Список використаної літератури

1. Дробот В.І. „Технологія хлібопекарського виробництва / В.І. Дробот. – К.: Логос, 2002. – 365с.
2. Ладанюк А.П. Автоматизація технологічних процесів і виробництв харчової промисловості”/А.П. Ладанюк, В.Г. Трегуб, І.В. Ельперін, В.Д. Цюцюра. -: Аграрна освіта, 2001. – 478 с.
3. Методичні рекомендації до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «бакалавр» спеціальності 151 “Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології” денної та заочної форм навчання : / уклад. І.В. Ельперін, В.М. Сідлецький, Н.М. Луцька, Є.С. Проскурка. – НУХТ, 2020. – 73 с.
4. Трегуб В.Г. Проектирование, монтаж й эксплуатация систем автоматизации в пищевой промышленности / В.Г. Трегуб, А.П. Ладанюк, Л.Н. Плужников. – М.: Агропромиздат, 1995. – 536 с.
5. Трегуб В.Г. Основи проектування систем автоматизації [Текст]: Метод.вказівки до вивч. дисц. та викон. контрол. роботи для студ. напр. 0925 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» ден. та заоч. форм навч. / В.Г. Трегуб. – К.: НУХТ, 2006. – 20 с.
6. Ладанюк А. П. Особенности задач робастного управления технологическими объектами. Часть 1. Технологические объекты и их математические модели / А. П. Ладанюк, Н. Н. Луцкая // Проблемы управления и информатики. – 2016. – №5. – С. 16-23.
7. Ладанюк А. П. Методи сучасної теорії управління: Навч. посіб. / А.П. Ладанюк, В. Д. Кишенько, Н. М. Луцька, В. В. Іващук. – К.: НУХТ, 2010. - 196 с.
8. Пупена О.М. Контролери та їх програмне забезпечення. Курс лекцій для студ. напр. 6.050202 «Автоматизація та комп’ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання. Частина 3. / О.М. Пупена, І.В. Ельперін. – К.: НУХТ, 2011. – 48 с.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

9. 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.

10. Ладанюк А.П. Основи системного аналізу: Навчальний посібник./ А.П. Ладанюк – Вінниця.: Нова книга, 2004. – 176 с.

11. Coughanowr, Donald R. Process systems analysis and control.—3rd ed. / Donald R. Coughanowr, Steven E. LeBlanc. – NY: McGraw-Hill, 2009. – 602 p.

12. Волкова В. Н. Теория систем: Учеб. пособие / В. Н. Волкова, А. А. Денисов. – М.:Высш.шк., 2006. – 511 с.

13. Разладин Ю. С. Справочное пособие по экономии топливных энергоресурсов на предприятиях пищевой промышленности / Ю. С. Разладин, С. Ю. Разладин. – К.: Щек, 2010. – 582 с.

14. Гончаренко Б. М. Автоматизація виробничих процесів харчових технологій : підручник / Б. М. Гончаренко, А. П. Ладанюк. – К. : НУХТ, 2014. – 530 с.

15. Ладанюк А. П. Теорія автоматичного керування технологічними об'єктами : навч. посіб. / А. П. Ладанюк, К. С. Архангельська , Л. О. Власенко — К.: НУХТ, 2014. — 274 с.

16. Гончаренко Б.М. Автоматизація виробничих процесів: підручник для студ. ВТНЗ / Б. М. Гончаренко, С. І. Осадчий, Л. Г. Віхрова, В. М. Каліч, О. К. Дідик

17. Rodic A. D. Automation & Control: Theory and Practice / A. D. Rodic. – Croatia: In-Teh, 2009. – 350 p.

18. Ladanyuk A. Automation of Evaporation Plants Using Energy-Saving Technologies / A. Ladanyuk, O. Shkolna, V. Kyshenko // Advances in Intelligent Systems and Computing, Warsaw, Poland, 2016. - Volume 543. – P. 220-226.

19. Благовещенская М. М. Автоматика и автоматизация пищевых производств / М. М. Благовещенская. – М.: Агропромиздат, 1991. – 239 с.

20. Луцька Н. М. Дослідження та синтез оптимальних регуляторів для систем автоматизації технологічних комплексів неперервного типу: автореф. дис. канд. техн. наук: 05.13.07 / Н. М. Луцька. – К.: НУХТ, 2006. – 16 с.

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Elhaq S. Experimental identification of five-effect evaporator in sugar industry / S. Elhaq, F. Giri, H. Unbehauen // Ecole Mohammadia d'Ingénieurs. – Ruhr-University. – 1996. – P. 12 – 16.

22. Документація на датчик вологості для вимірювання при високих температурах типу 907023/333 фірми JUMO.

23. Кишенько В.Д. Інтелектуальні системи. Метод. вказівки до викон. лаб. робіт для студ. за напр. підготовки 6.050202 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» денної та заочної форм навчання / Уклад.: В.Д. Кишенько, Я.В. Смітюх, М.Д. Місюра, Є.С. Проскурка. – К.: НУХТ, 2011. – 48 с.

24. Дорф Р. Современные системы управления / Р. Дорф, Р. Бишоп – М.: Лаборатория Базовых Знаний, 2002. – 832 с.

25. Пупена, О.М. Програмування промислових контролерів у середовищі Unity Pro. [Текст]/ О.М. Пупена, І.В. Ельперін //Навч. посібник. – К.: Видавництво Ліра-К. – 2013. – 340с.

26. SCADA. – Режим доступа: www. URL: <https://uk.wikipedia.org/wiki/SCADA>

27. Citect SCADA - ПО для построения систем диспетчеризации. - Режим доступа:<https://www.se.com/ru/ru/product-range-presentation/1500-citect-scada/>

					Кваліфікаційна робота	Стор.
Изм.	Лист	№ докum.	Підпис	Дата		