

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)  
\_\_\_\_\_ (підпис)  
Форсюк А.В. (прізвище та ініціали)

« \_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

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

« 10 » лютого 2021 р.

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА  
НА ЗДОБУТТЯ ОСВІТНЬОГО СТУПЕНЯ МАГІСТРА

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

освітньо-професійної програми Інтелектуальні комп'ютерні системи керування  
на тему: Автоматизоване керування технологічним комплексом виготовлення клею крохмального з використанням інтелектуальних методів

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

Мерзлов Дмитро Герасимович  
(прізвище, ім'я, по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Керівник: Ладанюк Анатолій Петрович  
(прізвище, ім'я та по батькові повністю)

\_\_\_\_\_ (підпис)

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

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент Самсонов В.В.  
(прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

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

Здобувач \_\_\_\_\_ (підпис)

Київ - 2021р.

НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ХАРЧОВИХ ТЕХНОЛОГІЙ

Інститут (факультет) Автоматизації і комп'ютерних систем

Кафедра Автоматизації та комп'ютерних технологій систем управління

Освітній ступінь магістр

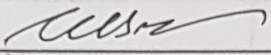
Спеціальність 151 "Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології"  
(код і назва)

Освітньо-професійна програма Інтелектуальні комп'ютерні системи керування  
(назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**

Завідувач

кафедри АКТСУ Ельнери І.В.

  
"09" листопада 2020 року

**ЗАВДАННЯ**

**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ ЗДОБУВАЧА**

Мерзлова Дмитра Герасимовича

(прізвище, ім'я, по батькові)

Тема роботи Автоматизоване керування технологічним комплексом виготовлення клею крохмального з використанням інтелектуальних методів

керівник роботи Ладанюк Анатолій Петрович, д.т.н., професор,

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

затверджені наказом закладу вищої освіти від "9" листопада 2020 року №933-кк

2. Строк подання здобувачем роботи 09 лютого 2021 року

3. Вихідні дані до роботи характеристика об'єкта автоматизації, технологічний регламент, вимоги до системи автоматизації та ін.

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

Розділ 1– Характеристика об'єкта дослідження, аналітичний огляд літератури

та постановка задач дослідження, 1.2 Технологічний опис об'єкта

автоматизації. Розділ 2. Загальносистемні рішення: 2.1. Розробка підсистеми

управління технологічним процесом (комплексом), 2.2 Опис функцій, що

інтелектуалізуються. Розділ 3 – Розробка інформаційного та програмного

забезпечення ІСК. 3.1 Адаптивна система нейро-нечіткого висновку (ANFIS),

Висновки, Список використаної літератури.

5. Перелік графічного матеріалу

Requirements diagram, Основні елементи Use Case diagram, Розробка BDD

технологічної, технічної та інформаційної складових системи, BDD diagram,

Визначення життєвого циклу ІСК та її процесів (State Machine diagram,

Activity diagram), Вирішення проблеми синхронізації підсистем (Sequence

diagram), Структура системи адаптивного нейро-нечіткого висновку.



## **Анотація**

В дипломному проекті розглядається автоматизоване керування технологічним комплексом виготовлення клею крохмального з використанням інтелектуальних методів.

В проекті представлено опис технологічного процесу виготовлення модифікованого крохмального клею.

Розкрита тема виготовлення клею крохмального їх способи та варіанти нанесення клею.

Описана характеристика об'єкта дослідження, аналітичний огляд літератури та постановка задач дослідження, технологічний опис об'єкта автоматизації.

Описанні деякі інтелектуальні системи та їх призначення.

**Ключові слова:** модифікований крохмальний клей, інтелектуальні методи, інтелектуальні системи керування, контактний спосіб.

## **Annotation**

The diploma project considers the automated control of the technological complex of starch glue production with the use of intelligent methods.

The project presents a description of the technological process of manufacturing modified starch glue.

The topic of making starch glue, their methods and options for applying glue.

Describes the characteristics of the object of study, analytical review of the literature and setting research objectives, technological description of the object of automation.

Describes some intelligent systems and their purpose.

**Key words: modified starch glue, intelligent methods, intelligent control systems, contact method.**

# Зміст

Вступ	4
Розділ 1	8
• 1.2 Технологічний опис об'єкта автоматизації.	13
2. Загальносистемні рішення	
• 2.1. Розробка підсистеми управління технологічним процесом (комплексом)	27
• 2.2 Опис функцій, що інтелектуалізуються	40
Розділ 3 – Розробка інформаційного та програмного забезпечення ІСК	50
• 3.1 Адаптивна система нейро-нечіткого висновку (ANFIS)	50
Висновки	71
Список літератури	72

## Вступ

В магістерській роботі в якості інструменту при проектуванні ІСК обрано міжнародний стандарт SysML. SysML (англ. The Systems Modeling Language, мова моделювання систем) – предметно-орієнтована мова моделювання систем. Підтримує визначення, аналіз, проектування, перевірку та підтвердження відповідності широкого спектра систем. SysML спочатку розроблявся в рамках проекту специфікації з відкритим вихідним кодом, і має відкриту ліцензію для поширення і використання. Як мова, SysML є розширенням частини мови UML.

У порівнянні з UML, орієнтованим на моделювання програмних продуктів, SysML надає системному інженерові додаткові можливості:

- Більша гнучкість і виразність. SysML прибирає програмно-орієнтовані обмеження UML за рахунок введення двох додаткових типів діаграм: діаграми вимог і параметричної діаграми. Перша, очевидно, служить для збору вимог, а друга для кількісного аналізу та аналізу продуктивності. В результаті стає можливим моделювання широкого спектра систем, які можуть включати обладнання, програмне забезпечення, інформацію, процеси, персонал і виробництва.
- SysML більш компактна мова, її легше вивчати і застосовувати, так як вона позбавлена багатьох програмно-орієнтованих особливостей UML.
- Таблиці розподілу SysML підтримують загальні типи розподілів. У той час як UML надає лише обмежену підтримку
- Конструкції мови для управління моделлю підтримують моделі, уявлення (англ. Views), і точки зору (англ. Viewpoints) (використовуються для створення уявлень). Ці конструкції розширюють можливості UML і архітектурно стоять в одному ряду з IEEE-Std-1471-2000 (Рекомендована IEEE практика для архітектурного опису програмно-навантажених систем)

англ. (IEEE Recommended Practice for Architectural Description of Software Intensive Systems).

SysML визначає наступні діаграми:

- Структурні діаграми:
  - Діаграма визначення блоків (Block Definition Diagram – BDD), що замінює діаграму класів UML2;
  - Внутрішня блокова діаграма або діаграма внутрішньої структури (Internal Block Diagram – IBD), що замінює діаграму композитних структур UML2;
  - Параметрична діаграма (Parametric Diagram), розширення SysML для аналізу критичних параметрів системи;
  - Діаграма пакетів (Package Diagram) залишається незмінною;
- Динамічні діаграми:
  - Діаграма активності (Activity diagram) була злегка змінена в SysML;
  - Діаграми послідовності, діаграми стану та випадків використання (sequence, state chart, and use case diagrams) залишаються незмінними;
- Діаграми вимог (Requirements diagrams) – це розширення SysML.

Використана література[1, с.5 - 6]

### **Інтелектуальні системи керування**

Інтелектуальні СК – це СК, здатні до «розуміння» і навчання щодо ОК, збурень, зовнішнього середовища та умов роботи. Основна відмінність інтелектуальних систем полягає в наявності

Механізму системного оброблення знань. Головна архітектурна особливість, яка відрізняє інтелектуальні СК від традиційних, – це механізм отримання, зберігання та оброблення знань для реалізації функцій керування.

В основу створення інтелектуальних СК покладено два узагальнені принципи:

- керування на основі аналізу зовнішніх даних, ситуацій та подій (ситуаційне керування);
- використання сучасних інформаційних технологій оброблення знань.

Розрізняють декілька сучасних інформаційних технологій, що дозволяють створювати інтелектуальні СК:

- експертні системи;
- штучні нейронні мережі (artificial neural networks);
- нечітка логіка (fuzzy logic);
- еволюційні методи та генетичні алгоритми (genetic algorithms)

В основу концепції інтелектуальності покладено: – уміння працювати з формалізованими знаннями людини (експертні системи, нечітка логіка); – властиві людині способи навчання і мислення (нейронні мережі, генетичні алгоритми).

Структурно інтелектуальні СК містять додаткові блоки, які виконують системне опрацювання знань на основі цих інформаційних технологій. Такі блоки можна виконувати або як надбудову над звичайним регулятором, налагоджуючи належним чином його параметри, або безпосередньо включатися у контур керування.

Основним призначенням та перевагами ефективного застосування інтелектуальних систем керування (ІСК) є можливість гарантованого досягнення мети керування. при цьому передбачається, що процес керування складним технологічним об'єктом (технологічним процесом, агрегатом, комплексом) здійснюється в умовах невизначеностей за допомогою ієрархічної структури прийняття рішень та формування керувальних дій.

Таким чином, якість керування оцінюється на верхніх рівнях, а нижній рівень – «об'єкт – регулятор» забезпечує ефективні витрати необхідних матеріальних та енергетичних ресурсів.

Використана література[2, с.12 - 13]

## **Розділ 1 – Характеристика об'єкта дослідження, аналітичний огляд літератури та постановка задач дослідження**

Пристрій BVG-Super-ECC розроблений для приготування природного крохмалю в клей крохмальний. Цей пристрій працює за принципом безперервної ферментативної переробки з температурою переробки в 85 ° C / 185 ° F. Фермент служить каталізатором, при певних умовах піддає гідролізу молекули крохмалю.

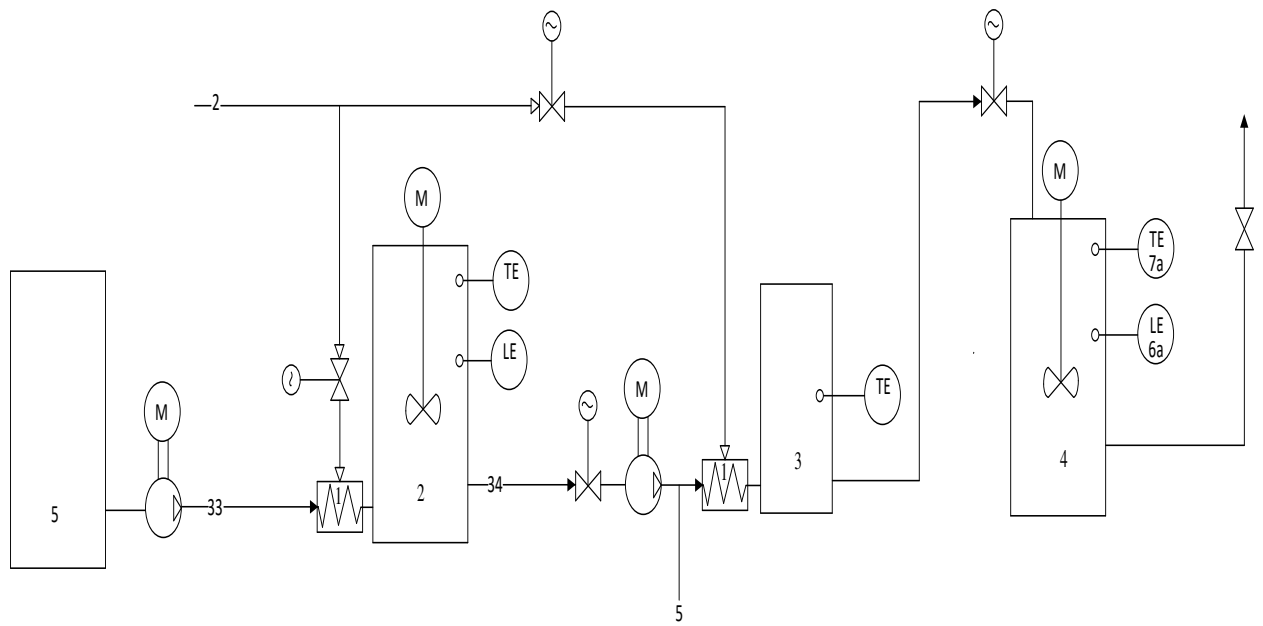
Крохмальна гідросуміш виготовляється в баку. Крохмальний порошок за допомогою вібропристрою потрапляє в пристрій дозування. Дозуючий пристрій поставляє крохмаль в бак з сумішшю. Вода подається механічним шляхом за допомогою поплавкового розподільчого клапану і перемішуючий двигун переміщує весь вміст.

Дозування крохмалю визначається обсягом. Приплив води вимірюється витратоміром. У бак перемішування суміші додається певна кількість ферменту за допомогою маленького дозуючого насосу. Насос суміші переправляє суміш крохмалю через трубу Вентурі в автоклав.

Пар контрольовано додається в трубу Вентурі і створює желеподібний крохмаль. Роздрібнення відбувається в автоклаві при 85 ° C / 185 ° F. Температура в автоклаві контролюється за допомогою клапана контролю пара. Мішалка забезпечує м'яку гомогенізацію крохмального клею.

Через 16-20 хвилин крохмаль буде роздрібненим і перекачано в деактиватор за допомогою об'ємного насоса. Шляхом додавання свіжої пари через клапан контролю крохмаль нагрівається до 125 ° C / 257 ° F за допомогою іншої труби Вентурі і в ув'язненні деактивує до необхідної температури. Всі ферменти виявляються тоді денатуровані.

Насос працює з підстроюванням частоти і регулюється рівнем автоклава. Рівень в автоклаві визначає час перебування в автоклаві. Після деактивації крохмаль подається в бак для зберігання.



Позначення	Найменування
1	Труба всугурі
2	Автоклав
3	Деактиватор
4	Бак для зберігання
5	Бак для зберігання суспензії

-2-	пара
-33-	Суспензія
-34-	Крохмальний клей

На мою думку для даного пристрою найкраще буде підходити ІСК прогнозування стану/ситуації. Дана ІСК працює на основі бази даних і має розташовуватися на середньому рівні побудови системи. Данна система повинна передбачати стани/ситуації виходячи з бази даних і вже на основі прийнятих рішень виконувати певні дії.

## Характеристика об'єкта дослідження

В дипломній роботі буде розглянуто виробництво клею крохмального модифікованого. Який застосовується для склеювання картону.

Для виробництва гофрокартону використовуються різні клеї, в залежності від способу нанесення, можливостей підприємства для його приготування, або використовується готовий клей.

На виробничому підприємстві використовується два види клею, один для склеювання шарів гофрокартону, інший для склеювання продукції з гофрокартону. Склеювання коробів проводиться як воднодисперсійними, так і термоплавкими клеями. Для кожного з типів клеїв характерні свої клейові системи. А для клейових систем характерний свій спосіб нанесення клею. На сучасному етапі скріплення коробів скобами відходить в минуле, а на передній план виходять два основних способи склеювання коробів і гофрокоробів: контактний і безконтактний. Є ще роликівий спосіб нанесення, але він не користується популярністю у фахівців, так як не дозволяє швидко переналагоджувати систему під нове замовлення, під нові параметри.

Контактний спосіб - це системи низького тиску клею з простою клейовий головкою, зазвичай входить в контакт з оброблюваною поверхнею під певним кутом. Безконтактний спосіб нанесення став можливий після винаходу швидкодіючих електричних клапанів. Це дозволило наносити клей з деякої відстані від картону.

Контактна система часто використовується при склеюванні гофрокартону, а безконтактна - для склеювання тари з картону.

Кожен із способів має свої переваги. І не можна сказати, що якийсь спосіб однозначно краще, а якийсь гірше. Просто кожен з них виконує свої завдання. Обраний спосіб нанесення визначає вибір клею. Правильний підбір клею - найважливіше з умов чіткої та безперебійної роботи клейової системи.

## **Контактний спосіб нанесення клею**

В основі клеїв, використовуваних для контактного методу, лежать клеї з високою в'язкістю. Головка в такий клейовий системі має досить великі розміри (діаметр від 1 до 1.5 мм). І тільки при достатній в'язкості можлива безперебійна подача достатньої кількості клею в зону контакту форсунки і картону при роботі на тиск 1: 1

У разі контактного нанесення сам контакт з оброблюваною поверхнею допомагає «витягати» клей з клапана на поверхню картону. Даний метод вимагає повного контакту форсунки і картону. При його порушенні клей не завжди потрапляє на картон і часто викидається з клею наносячої установки в напрямку руху картону, що викликає забруднення установки і клейові сліди на підлозі. Тому важливим елементом є правильна настройка напрямних і пружин, які забезпечують можливість правильного нанесення клею. На обладнанні, що працює на швидкостях до 20000 коробок / год, обов'язково використовуються напрямні.

При безконтактному нанесенні необхідний викид клею на відстань приблизно 10 мм. Відповідно, потрібне створення досить високого тиску для додання достатньої швидкості потоку клею, щоб забезпечити його нанесення в потрібне місце на поверхні картону. При недостатньому тиску клею можлива закупорка форсунки. Тому для цього методу використовуються рідкі клеї на основі каучуку. Тільки при низькій в'язкості в даних умовах можна забезпечити чистоту нанесення і переривання на голівці. Низька в'язкість клею обумовлена також, меншим розміром отворів в форсунках і великими швидкостями.

Безконтактні системи зазвичай засновані на використанні одного великого клапана і спеціальних насадок з декількома отворами, або декількох клапанів, вбудованих в одну лінію. В результаті ширина клейового малюнка обмежена 2-4 лініями (краплями) з відстанню 0,6 см між їх центрами або сумарною

шириною малюнка в 2,5 см. Дані характеристики дуже хороші при роботі на малих машинах і з невеликими коробками, але для коробок більшого розміру покриття не вистачає.

Для безконтактного методу характерні високі швидкості виробництва і відповідно - висока продуктивність. У безконтактному методі нанесення є особливість - діаметр отвору форсунки менше, а саме малий отвір, через яке проходить клей - довше, ніж в контактних системах. При просте протягом декількох хвилин в голівці може застигнути достатню кількість клею, що, в свою чергу, може зіпсувати першу коробку, яка буде оброблятися після запуску системи.

Для запобігання цього недоліку використовується спеціальний ізолятор, який накриває форсунку, коли на вході немає картону, і устаткування простоює. Після запуску конвеєра ізолятор відкривається, свіжий клей надходить на оброблюваний матеріал, і перша коробка відмінно склеюється.

Готовий клей для виробництва гофрокартону.

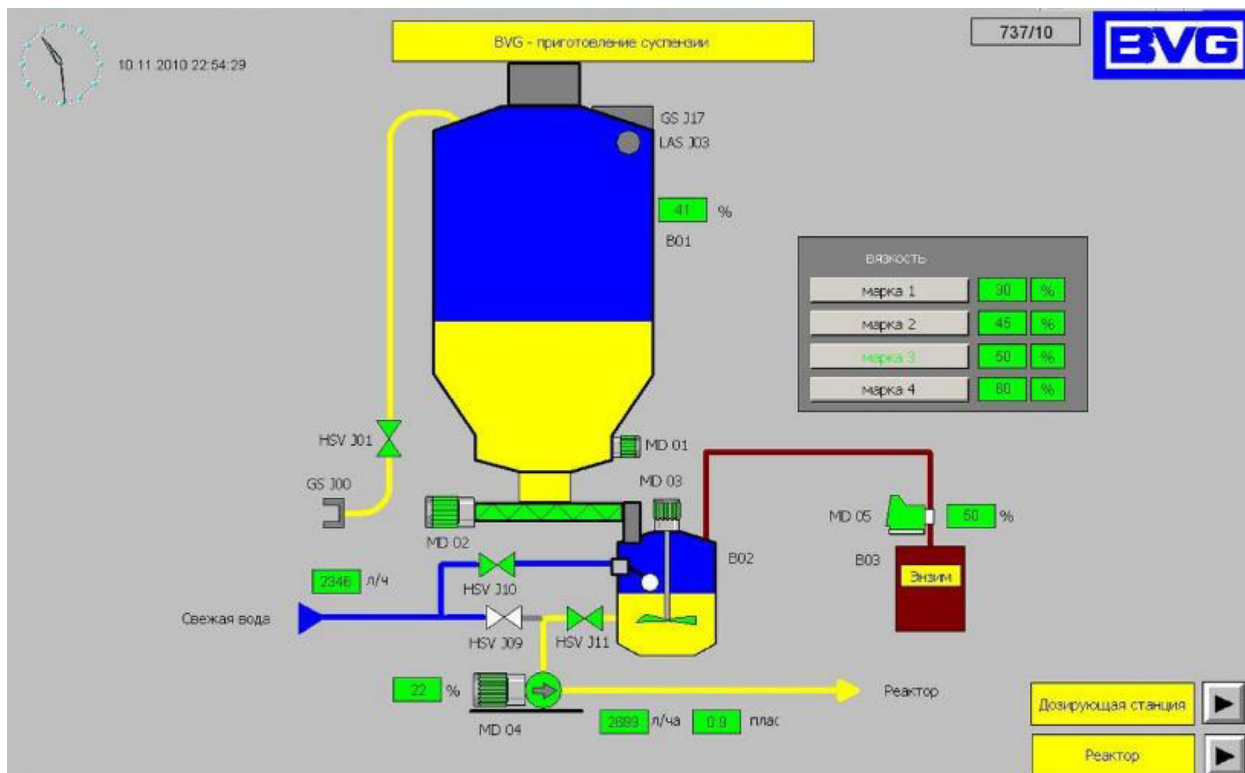
Головними передумовами створення нових клеїв є наступні:

У зв'язку зі збільшенням виробництва гофротари в складі макулатурної сировини для виробництва картону та паперу зростає частка гофрокартону, який несе в собі значну кількість залишкового крохмального клею. Даний клей створює проблеми при виробництві картону і паперу з вторинної волокна і створює проблеми зі стічними водами;

Використана література[3]

## 1.2 Технологічний опис об'єкта автоматизації.

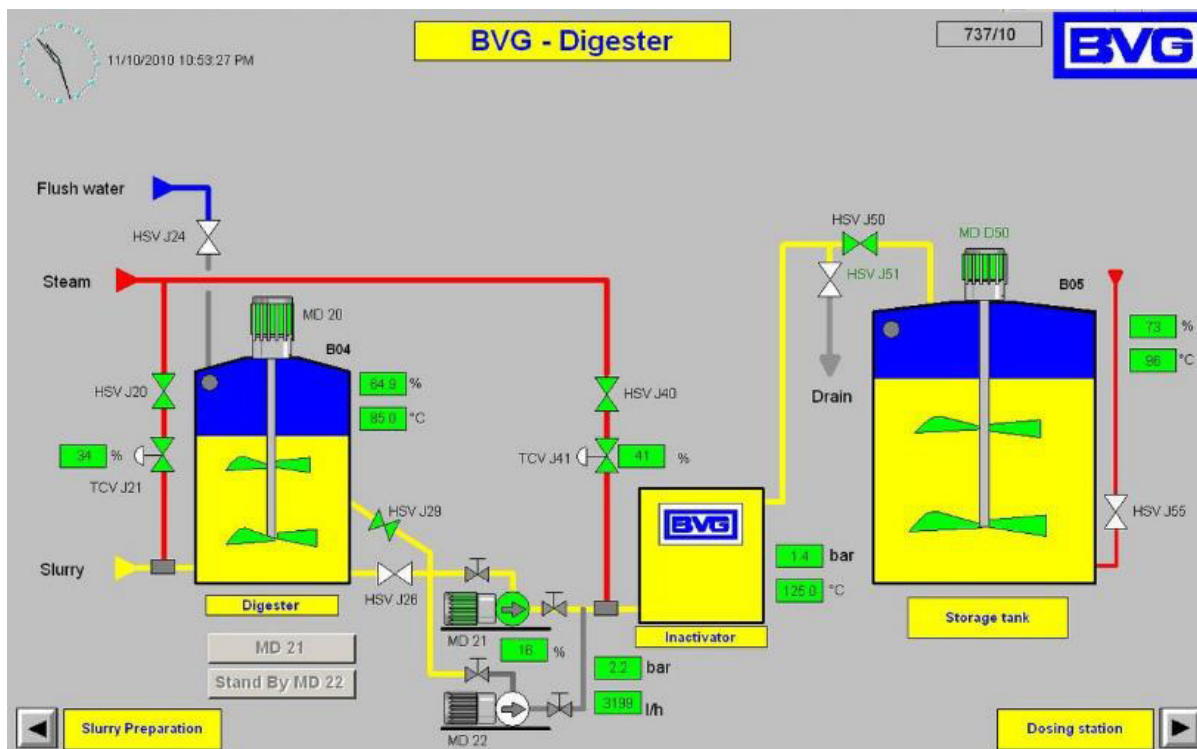
Пристрій BVG-Super-ECC розроблений для приготування природного крохмалю для приготування природного крохмалю. Цей пристрій працює за принципом безперервної ферментативної переробки з температурою переробки в 85 ° С / 185 ° F. Фермент служить каталізатором, при певних умовах піддає гідролізу молекули крохмалю.



Малюнок 1.1 схема виробництва клею на підприємстві вироблення крохмальної суспензії

Крохмальна гідросуміш виготовляється в баку, що знаходиться під системою сховища. Доставлений крохмаль зберігається в сховищі. Крохмальний порошок за допомогою вібропристрою (MD / D01) потрапляє в пристрій дозування. Дозуючий гвинт поставляє крохмаль в бак з сумішшю (B02). Вода подається механічним шляхом за допомогою поплавкового розподільчого клапану і перемішуючий двигун (MD / D03) перемішує весь вміст. Дозування крохмалю визначається обсягом. Приплив води вимірюється витратоміром

(FIQ / J05). У бак перемішування суміші додається певна кількість ферменту за допомогою маленького дозуючого насосу (MD / D05) з (B03). Насос суміші (MD / D04) переправляє суміш крохмалю через трубу Вентурі (JET20) в автоклав (B04).



Малюнок 1.2 схема виробництва клею на підприємстві вироблення крохмального клею

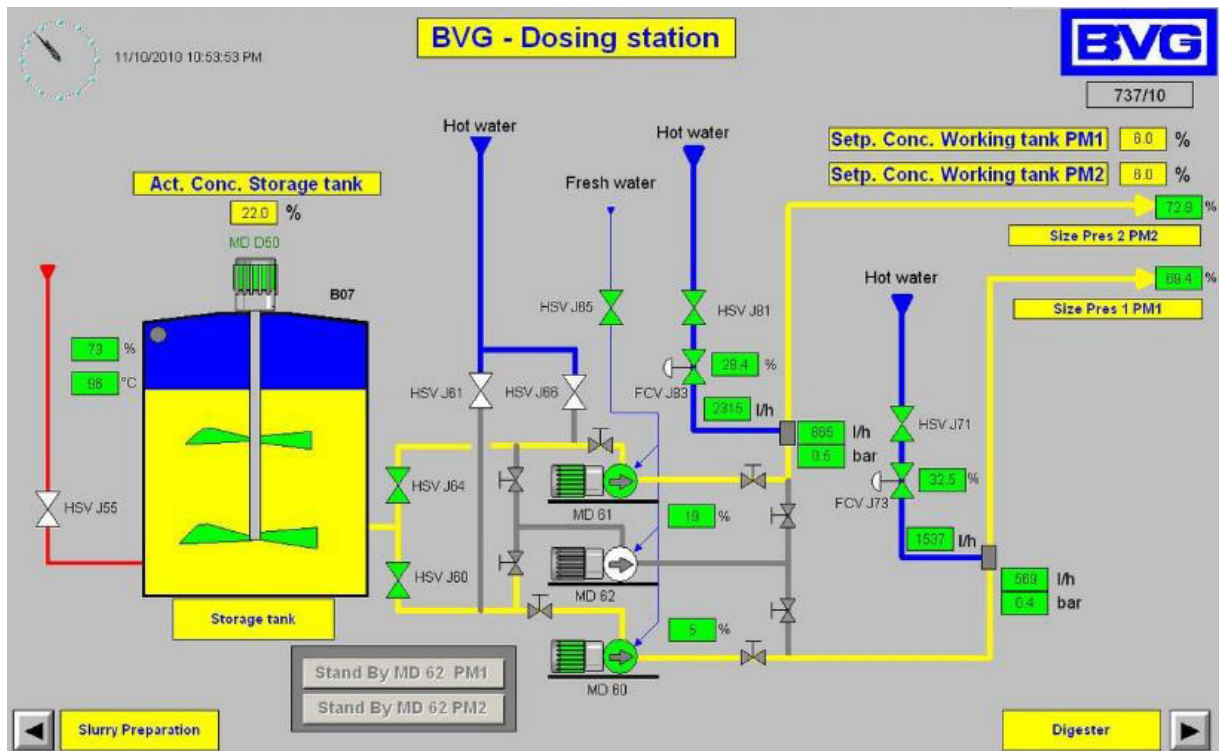
Пар контролювано додається в трубу Вентурі (JET20) і створює желеподібний крохмаль. Роздрібнення відбувається в автоклаві при 85 ° C / 185 ° F. Температура в автоклаві контролюється за допомогою клапана контролю пара (TCV / J21) і передавача температур (TIC / J22).

Мішалка (MD / D20) забезпечує м'яку гомогенізацію крохмального клею.

Через 16-20 хвилин крохмаль буде роздрібненим і перекачано в деактиватор (X40) за допомогою об'ємного насоса (MD / D21 / D22). Шляхом додавання свіжої пари через клапан контролю (TCV / J41) крохмаль нагрівається до 125

° C / 257 ° F за допомогою іншої труби Вентурі (JET40) і в ув'язненні деактивує необхідної температурою. Всі ферменти виявляються тоді денатуровані.

Насос (MD / D21 / D22) працює з підстроюванням частоти і регулюється рівнем (LIC / J24) автоклава. Рівень в автоклаві визначає час перебування крохмалю в автоклаві.



Малюнок 1.3 схема виробництва клею на підприємстві розповсюдження клею на підприємство та зберігання

Після деактивації крохмаль подається в бак для зберігання (B05).

В баку для зберігання повинна бути мешалка і він повинен відправляти приладу сигнал про рівень (LIS / J54) 4-20 міліампера (mA) для того, щоб включити або відключити BVG SUPER ECC в залежності від рівня в баку.

Після бака для зберігання (B05) крохмальний клей поступово розріджується. Разжижающая вода контролюється клапанами для води (FCV / J73) PM1 і (FCV / J83) PM2 відповідно до показань витратомірів (FIC / J72) і (FIC / J82)

## Інтелектуальні системи керування

Інтелектуальні СК – це СК, здатні до «розуміння» і навчання щодо ОК, збурень, зовнішнього середовища та умов роботи. Основна відмінність інтелектуальних систем полягає в наявності.

Механізму системного оброблення знань. Головна архітектурна особливість, яка відрізняє інтелектуальні СК від традиційних, – це механізм отримання, зберігання та оброблення знань для реалізації функцій керування.

В основу створення інтелектуальних СК покладено два узагальнені принципи:

- керування на основі аналізу зовнішніх даних, ситуацій та подій (ситуаційне керування);
- використання сучасних інформаційних технологій оброблення знань.

Розрізняють декілька сучасних інформаційних технологій, що дозволяють створювати інтелектуальні СК:

- експертні системи;
- штучні нейронні мережі (artificial neural networks);
- нечітка логіка (fuzzy logic);
- еволюційні методи та генетичні алгоритми (genetic algorithms)

В основу концепції інтелектуальності покладено: – уміння працювати з формалізованими знаннями людини (експертні системи, нечітка логіка); – властиві людині способи навчання і мислення (нейронні мережі, генетичні алгоритми).

Структурно інтелектуальні СК містять додаткові блоки, які виконують системне опрацювання знань на основі цих інформаційних технологій. Такі блоки можна виконувати або як надбудову над звичайним регулятором,

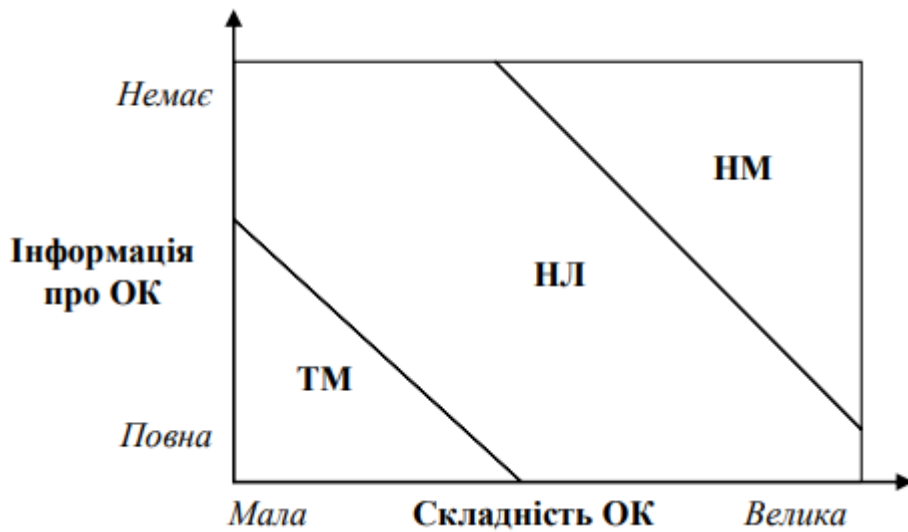
налагоджуючи належним чином його параметри, або безпосередньо включатися у контур керування.

### **Застосування інтелектуальних систем керування**

Найбільш суттєві причини поширення інтелектуальних СК такі: – особливі якості інтелектуальних СК, зокрема мала чутливість до зміни параметрів ОК; – те, що синтез інтелектуальної СК із застосуванням сучасних засобів апаратної та програмної підтримки часто простіший, ніж традиційних.

Є випадки, коли застосування інтелектуальних СК виправдане і дає кращий результат: – системи регулювання, для яких модель ОК визначена лише якісно або її немає взагалі; – як надбудова над традиційними системами для надання їм адаптивних властивостей; – відтворення дій людини-оператора; – системи організаційного керування верхніх (стратегічного і тактичного) рівнів.

Сфера ефективного застосування традиційних, нейромережових та нечітких СК щодо ОК, показані на рис. 1.4. Застосування гібридного підходу (поєднання традиційних методів керування, нечіткої логіки та нейронних мереж) дозволяє створювати СК, ефективні в усьому спектрі ситуацій, і тому межі різних підходів, показаних на рис. 1.4, вельми умовні.



*Малюнок 1.4 Сфера ефективного застосування різних систем керування*

ТМ-системи які використовують традиційні методи керування;

НЛ-системи системи з нечіткою логікою; НМ-системи керування на нейронних мережах;

Використана література[2, с.12 - 14]

## Експертні системи

Експертна система (ЕС) - це система штучного інтелекту, що використовує накопичені знання для забезпечення високоефективного рішення задач у вузькій професійній області. Експертні системи відносяться до систем підтримки прийняття рішень (СППР), заснованим на знаннях.

Традиційні СППР універсальні і застосовуються для рішення унікальних проблем у різних предметних областях, а ЕС дають відповіді на питання у вузькій предметній області і роблять висновки, що міг би зробити людина-професіонал високої кваліфікації. Інтеграція традиційної СППР із ЕС утворить більш складний вид - так називану експертну систему підтримки прийняття рішень (ЕСППР).

Така система, виходячи з загальних вимог, пропонованих до ЕС, повинна пояснювати свої ради кінцевому користувачу, і, крім того, надавати йому універсальні засоби вільного моделювання. Таким чином, саме такий варіант організації системи буде розглядатися в магістерській роботі, тому що він надає найбільше раціональний підхід до одержання результативного аналізу.

У загальному випадку дані в системі підтримки прийняття рішень - це відособлена база, дані якої отримані або від експерта - людини, або просто як статистична інформація, що збирається за визначеними правилами в пліні деякого проміжку часу. Інструментальними засобами побудови ЕС служать мова програмування і підтримуючий пакет програм, використовувані при створенні ЕС.

ЕС являють собою реальний практичний додаток штучного інтелекту, що підкреслено ще одним визначенням: ЕС - це інформаційну систему, заснована на знаннях визначеної комплексної предметної області, що виконує роль експерта-консультанта для кінцевих користувачів. Ресурсними компонентами ЕС є апаратні, програмні і людські ресурси.

Апаратні ресурси складаються з автономних мікрокомп'ютерних систем, а також мікрокомп'ютерних робочих станцій і терміналів, приєднаних до мінікомп'ютерів чи великих ЕОМ за допомогою телекомунікаційної мережі. Складні ЕС іноді розробляються на могутніх комп'ютерах спеціального призначення, безпосередньо спроектованих для передових програмних пакетів розробки експертних чи систем мов програмування ЛІСП чи ПРОЛОГ.

Програмні ресурси - це механізм введення-висновку і представлення інформації, а також засобу для роботи зі знаннями і для зв'язку з кінцевими користувачами. Програми одержання знань не є частиною експертної системи, а є програмними засобами тільки для розробки бази знань.

База знань у розроблювальній системі заснована на концепції сховища даних. За допомогою цієї концепції можна досить просто агрегувати дані з різних джерел, різного формату, розміру і способу представлення. Зручними засобами розробки ЕС на основі сховища даних є програми-оболонки експертних систем без її ядра (основного змісту), тобто без її баз знань і фактів. Загально визнано також, що кінцевим користувачам і експертам великі практичні можливості створення ЕС надають кошти СКБД (Microsoft SQL, Oracle і т. д).

Особливо корисні при розробці СППР, заснованих на сховищах даних, реляційні СКБД, що підтримують багатомірне представлення даних. Засіб СКБД називають також обмеженими генераторами підтримки прийняття рішень, оскільки вони надають користувачу кілька основних аналітичних інструментів (запити "якщо", кореляційно-регресійний і деякі інші види статистичного аналізу, оптимізацію, побудову й аналіз трендів). Для рішення складних задач аналізу і прогнозу цих засобів недостатньо, у зв'язку з чим виникає задача розробки або добірки необхідних методів.

Людські ресурси. Коли створюється велика ЕС, те база знань і процес експертизи звичайно проектується інженером по знаннях з фактів і правил, наданих експертом. ЕС дає рекомендації кінцевому користувачу. Експерти і кінцеві користувачі можуть бути і самі собі інженерами по знаннях, якщо уміють використовувати програмні оболонки ЕС чи інтелектуальні можливості електронних таблиць.

По сферах використання ЕС їх можна розділити на виробничі й управлінські. Виробничі ЕС дають експертний висновок по керуванню виробничими процесами, управлінські - допомагають менеджерам приймати рішення. У даній роботі буде розглядатися варіант комбінованої системи, тому що керуючому персоналу необхідне як рішення задач по організації навчального процесу, так і можливість одержання аналітичної інформації з визначених питань.

На початку 80-х років у дослідженнях зі штучного інтелекту сформувався самостійний напрямок, що одержав назву "експертні системи" (ЕС).

Основним призначенням ЕС є розробка програмних засобів, які при рішенні задач, важких для людини, одержують результати, що не уступають по якості й ефективності розв'язків, розв'язкам, одержаним людиною-експертом. ЕС використовуються для рішення так званих неформалізованих задач, загальним для яких є те, що:

- задачі не можуть бути задані в числовій формі;
- висновки не можна виразити в термінах точно визначеної цільової функції;
- не існує алгоритмічної розв'язки задачі;
- якщо алгоритмічна розв'язка є, то його не можна використовувати через;
- обмеженості ресурсів (час, пам'ять).

Крім того неформалізовані задачі мають помилковість, неповнотою, неоднозначністю і суперечливістю як вихідних даних, так і знань про розв'язувану задачу.

Експертна система - це програмний засіб, що використовує експертні знання для забезпечення високоефективного рішення неформалізованих задач у вузькій предметній області. Основу ЕС складає база знань (БЗ) про предметну область, що накопичується в процесі побудови й експлуатації ЕС. Нагромадження й організація знань - найважливіша властивість усіх ЕС.

Знання є явними і доступними, що відрізняє ЕС від традиційних програм, і визначає їхні основні властивості, такі, як:

- Застосування для рішення проблем високоякісного досвіду, що представляє рівень мислення найбільш кваліфікованих експертів у даній області, що веде до рішень творчим, точним і ефективним.
- Наявність прогностичних можливостей, при яких ЕС видає відповіді не тільки для конкретної ситуації, але і показує, як змінюються ці відповіді в нових ситуаціях, з можливістю докладного пояснення яким образом нова ситуація привела до змін.
- Забезпечення такої нової якості, як інституціональна пам'ять, за рахунок вхідної до складу ЕС бази знань, що розроблена в ході взаємодій з фахівцями організації, і являє собою поточну політику цієї групи людей. Цей набір знань стає зводом кваліфікованих думок і постійно обновлюваним довідником найкращих стратегій і методів, використовуваних персоналом. Провідні спеціалісти ідуть, але їхній досвід залишається.

- Можливість використання ЕС для навчання і тренування керівників, забезпечуючи нових службовців великим багажем досвіду і стратегій, по яких можна вивчати політику, що рекомендується, і методи.

### **Штучні нейронні мережі**

Штучні нейронні мережі (ШНМ) використовуються при вирішенні проблем, які не можуть бути точно сформульовані. Слово “нейронні”, яке фігурує у назві розділу, застосоване тому, що багато що в теорію ШНМ прийшло з нейробіології, хоча насправді при вивченні дисципліни не розглядаються мережі реальних біологічних нейронів. Моделювання функцій мозку – абсолютно інша наукова сфера, але з цієї області в теорію ШНМ внесені деякі біологічні аналогії. Як визначення нейронних мереж може бути прийнято.

ШНМ – паралельно розподілена структура обробки інформації, що складається з окремих елементів (нейронів), сполучених між собою зв'язками. На сьогоднішній день традиційні методи організації обчислювального процесу в ЕОМ є неефективними при вирішенні ряду задач, що відносяться до класів, неформалізованих або випадкових, які вимагають обробки великих масивів інформації, перевірки безлічі альтернативних гіпотез, пошуку їх в базах даних. Застосування ШНМ дозволяє залучити в обчислювальну техніку методи обробки інформації, характерні для високоорганізованих біологічних систем, зокрема принцип паралелізму.

На відміну від Фон-Нейманівської архітектури, яка використовується в традиційних ЕОМ, в ШНМ і комп'ютерах, побудованих на їх основі, роль програмування виконує навчання, під яким розуміється зміна стану самих нейронів і зв'язків між ними. Мозок людини перевершує комп'ютер при вирішенні багатьох задач.

Вдалий приклад зіставлення – це обробка візуальної інформації: однорічна дитина краще і швидше розпізнає предмети, обличчя і т.п., ніж це робить найдосконаліша система штучного інтелекту. Тільки в одній задачі комп'ютер перевершує можливості мозку: при виконанні арифметичних операцій. В той же час мозок володіє рядом характерних властивостей, які можуть бути використані в штучних системах:

- мозок стійкий до пошкоджень. Нервові клітини мозку вмирають щодня без якого-небудь відчутного впливу на функціонування нервової системи;
- мозок гнучкий. Він легко може налаштуватися на нове оточення за допомогою “навчання” (не вимагає програмування на якій-небудь стандартній мові);
- мозок пов'язаний з інформацією, що є ймовірнісною, нечіткою, спотвореною перешкодами;
- має високий ступінь паралелізму;
- мозок малий, компактний і споживає мало енергії.

Ці властивості мозку є реальною мотивацією для вивчення ШНМ, які служать альтернативою традиційній обчислювальній парадигмі, яка введена Фон-Нейманом і використовується сьогодні практично у всіх комп'ютерах. ШНМ називають ще штучними нейронними системами, паралельно розподіленими системами, конекціоністськими моделями, нейрокомп'ютерами.

Такі системи – слідство спроб імітувати, принаймні частково, структуру, функції мозку і нервової системи живих істот. Одна з привабливих сторін ШНМ покладена в їх здатності адаптуватися до зовнішніх умов шляхом зміни зв'язків або структури. ШНМ іноді розглядаються як значно спрощені моделі людського мозку.

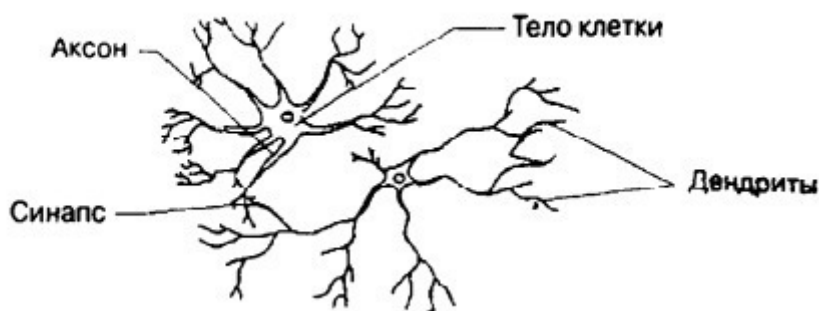
Такий погляд дещо перебільшений і вводить в оману, оскільки мозок людини ще не повністю вивчений і його поведінка дуже складна. Мозок містить

близько 1011 нейронів (нервових клітин) різних типів. На рис. 1 показане схематичне зображення одного нейрона.

Мережі нервових волокон, що розгалужуються, які називаються дендритами, з'єднуються на тілі клітини (соне), де розташоване її ядро. З тіла клітини виходить аксон, що є нервовим волокном, який розгалужується на безліч пасм. Аксон може бути як коротким (0,1 мм), так і довгим (понад 1 м), розповсюджуючись в іншу частину тіла людини. На кінцях своїх гілок аксон має передаточні закінчення синаптичних з'єднань (синапсів), за допомогою яких сигнал передається в інші нейрони через дендрити, а в деяких випадках – безпосередньо в тіло клітини.

Існує величезне число синаптичних зв'язків від аксона до аксона, від аксона до тіла клітини, від дендрита до дендрита. На відміну від електричних ланцюгів, синаптичні контакти не є фізичними або електричними з'єднаннями. Натомість є вузький простір, який називається синаптичною щілиною, яка відділяє дендрит від передавального аксона.

Особливі хімічні речовини (нейротрансмітери), що викидаються аксоном у синаптичну щілину, дифундують до дендрита, а потім уловлюються рецепторами на дендриті і втілюються в тіло клітини. Визначено понад 30 видів нейротрансмітерів, деякі з них є такими, що збуджують і прагнуть викликати збудження (активізацію) клітини і виробляти вихідний імпульс, інші ж – такими, що гальмують і пригнічують такий імпульс.



### *Малюнок 1.5 Схематичне зображення біологічного нейрона*

Тіло клітини сумує сигнали, що одержані від дендритів, і у разі перевищення результуючого сигналу над пороговою величиною виробляє імпульс, що проходить по аксону до інших нейронів. Кожен нейрон здатний генерувати імпульс, який збуджує або загальмовує сотні і тисячі інших нейронів; останні, у свою чергу, через свої дендрити впливають на інші тисячі нейронів. Такий високий ступінь зв'язку забезпечує мозку обчислювальну потужність.

Топологія ШНМ – це логічна структура, в якій безліч вузлів (комірок, нейронів) з'єднані між собою за допомогою синапсів. Така топологія деякою мірою імітує структуру біологічних прототипів. При цьому довготривала пам'ять мережі представлена станами синаптичних зв'язків між нейронами, в той час як короткочасна пам'ять – станами самих нейронів. Обидва види інформації, що запам'ятовується, визначають характер відгуку мережі на вхідні дії.

Один з найпривабливіших аспектів використання нейронних мереж полягає у тому, що хоча елементи такої мережі мають дуже обмежені обчислювальні можливості, вся мережа в цілому, об'єднуючи велику кількість таких елементів, виявляється здатною виконувати досить складні задачі.

#### **Постановка задачі дослідження**

Дослідити об'єкт автоматизації, розробити систему автоматизації з підсистемою інтелектуального керування.

## 2. Загальносистемні рішення

### 2.1. Розробка підсистеми управління технологічним процесом (комплексом)

Пристрій BVG-Super-ECC розроблений для приготування природного крохмалю в клей крохмальний. Цей пристрій працює за принципом безперервної ферментативної переробки з температурою переробки в 85 ° C / 185 ° F. Фермент служить каталізатором, при певних умовах піддає гідролізу молекули крохмалю.

Крохмальна гідросуміш виготовляється в баку. Крохмальний порошок за допомогою вібропристрою потрапляє в пристрій дозування. Дозуючий пристрій поставляє крохмаль в бак з сумішшю. Вода подається механічним шляхом за допомогою поплавкового розподільчого клапану і перемішуючий двигун перемішує весь вміст.

Дозування крохмалю визначається обсягом. Приплив води вимірюється витратоміром. У бак перемішування суміші додається певна кількість ферменту за допомогою маленького дозуючого насоса. Насос суміші переправляє суміш крохмалю через трубу Вентурі в автоклав.

Пар контрольовано додається в трубу Вентурі і створює желеподібний крохмаль. Роздрібнення відбувається в автоклаві при 85 ° C / 185 ° F. Температура в автоклаві контролюється за допомогою клапана контролю пара. Мішалка забезпечує м'яку гомогенізацію крохмального клею.

Через 16-20 хвилин крохмаль буде роздрібненим і перекачано в деактиватор за допомогою об'ємного насоса. Шляхом додавання свіжої пари через клапан контролю крохмаль нагрівається до 125 ° C / 257 ° F за допомогою іншої труби Вентурі і в ув'язненні деактивує до необхідної температури. Всі ферменти виявляються тоді денатуровані.

Насос працює з підстроюванням частоти і регулюється рівнем автоклава. Рівень в автоклаві визначає час перебування в автоклаві. Після деактивації крохмаль подається в бак для зберігання.

## Завдання на роботу системи автоматизації

Табл1 Специфікація

№	Машина, агрегат, установка	Параметр, місце відбору сигналу	Припустиме значення параметра	Вид автоматизації	Характер контролю чи управління	Засоби управління та контролю, реалізації управляючої дії	Додаткові умови
1	Автоклав	Температура	85°C ± 2°C	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан контролю пари	
2	Деактиватор	Температура	125°C ± 3°C	Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан контролю пари	
3	Бак для зберігання	Температура	100°C ±3°C	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан контролю пари	
4	Автоклав	Рівень	70%±2%	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан контролю пари	
5	Бак для зберігання	Рівень	70%±2%	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора	
				Регулювання	Стабілізація	Вплив на клапан подачі крохмального клею	

6	Деактиватор	Тиск	3бар	Контроль	Відображення, реєстрація	АРМ оператора	
7	Автоклав	Частота обертання	3000об/х в	Регулювання	Стабілізація	Вплив на мішалку роздрібнення крохмальної суспензії	Ручне управління зі АРМ оператора
8	Бак для зберігання	Частота обертання	3000об/х в	Регулювання	Стабілізація	Вплив на мішалку деактивованого крохмалю	Ручне управління зі АРМ оператора

Функціональна схема автоматизації (ФСА) призначена для визначення основних контурів контролю і регулювання основних технологічних параметрів.

Схема автоматизації приготування клею крохмального складається з контурів вимірювання, сигналізації та регулювання, температури, тиску і рівня.

*Контур вимірювання та регулювання температури:*

Вимірювання і регулювання температури відбувається в автоклаві (1а), деактиваторі (4а), бак зберігання (7а). Вимірюємо за допомогою термоперетворювача опору ДТСхх5.И в комплекті з нормуючим перетворювачем рt100. Сигнал із датчика передається на модуль аналогових входів МПК, сигнал опрацьовується в програмі, і якщо є розузгодження із заданим значенням, то на виході з МПК подається управляючий сигнал 4-20 мА, який надходить надходить електропневматичний перетворювач (2713-WP) який здійснює живлення пневматичного перетворювача (KUP) (поз.1б,4б) а також на електромагнітне реле relpol R3(N)-2013-23-5024-WTL яке здійснює керування двигуном М8.

*Контур вимірювання та регулювання рівня:*

Вимірювання і регулювання температури відбувається в автоклаві (2а), деактиваторі (6а). Вимірюємо за допомогою безконтактного лазерного датчика рівня. Від них уніфікований сигнал 4-20мА надходить до аналогового входного модуля ПЛК, де відображається. У відповідь на вхідний сигнал ПЛК виробляє управляючу дію, яка надходить на Перетворювач частоти серії ATV61 (поз.2б,6б) який регулює двигуни М2 та М7.

*Контур вимірювання та регулювання тиску:*

Вимірювання і регулювання тиску відбувається в деактиваторі (3а, 5а). Вимірюємо за допомогою перетворювачів тиску Sitrans P200. Сигнал із датчика передається на модуль аналогових входів МПК, сигнал опрацьовується в програмі, і якщо є розузгодження із заданим значенням, то на виході з МПК подається управляючий сигнал 4-20 мА, який надходить надходить на електромагнітне реле relpol R3(N)-2013-23-5024-WTL яке здійснює керування двигуном М3.

## **Обґрунтування вибору технічних засобів для виконавчих механізмів (ВМ) та регулюючих органів (РО)**

В даному дипломному проекті для вимірювання температури використовується термопревворювач опору ОВЕН ДТСхх5.І так як він є оптимальним варіантом для нашої системи автоматизації.

Термометри опору з вихідним сигналом 4 ... 20 мА ДТСхх5Е мають вид вибухозахисту «іскробезпечне електричне коло» і призначені для установки і роботи у вибухонебезпечних зонах приміщень і зовнішніх установок згідно з розділом 7.3 ПУЕ та іншим нормативним документам, що регламентують застосування електрообладнання у вибухонебезпечних умовах.

Область застосування датчиків - системи контролю, автоматичного регулювання і обліку в різних галузях промисловості, і в житлово-комунальному господарстві.

Особливості термосопротивлений з струмовим виходом 4 ... 20 мА у вибухозахищеному виконанні ЕХІА

Тип виходу: аналоговий, багатограничний

Діапазон вимірюваних температур: -50 ... + 500 ° С

НСХ: Pt100

Вихідний сигнал: 4 ... 20 мА, HART

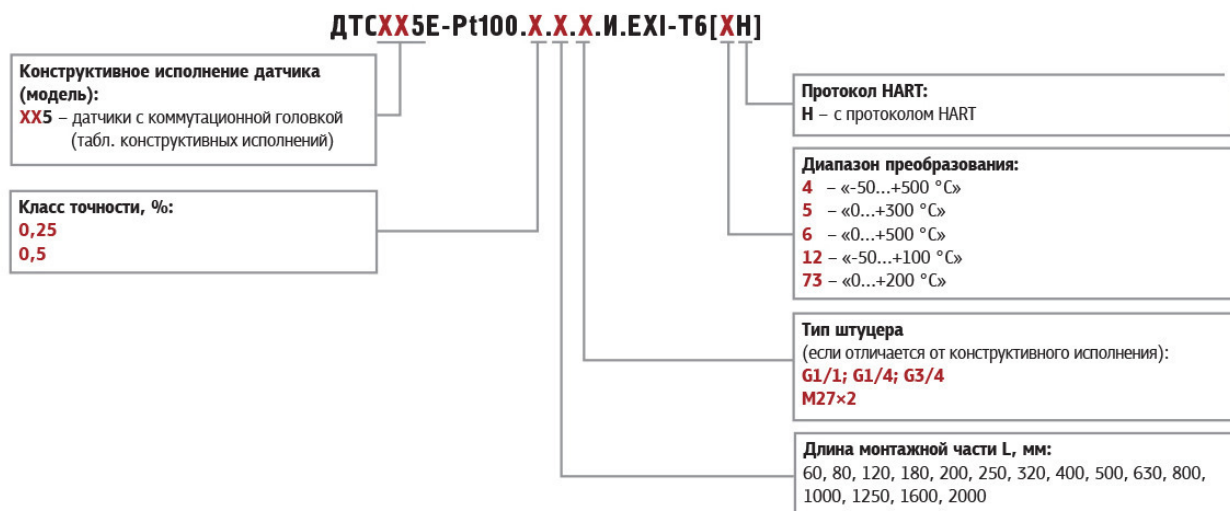
Клас точності: ± 0,25%; ± 0,5%

Міжповірочний інтервал - 2 роки

## Технические характеристики

Найменування	значення
Напруга	
Номинальне значення напруги живлення (постійного струму), В	24
Діапазон допустимих напруг живлення (постійного струму), В	8...30
Максимальна потужність споживання, Вт	0,8
Захист від зворотної полярності напруги живлення	єсть
Вихідний сигнал	
Діапазон вихідного струму, мА	4...20
Вихідний сигнал на підводному човні (обрив або коротке замикання чутливого елемента), мА	23
Вид залежності «ток від температури»	лінійна
Діапазон перетворення температур	визначається при замовленні
Діапазон допустимих опорів навантаження, Ом *	250...956
Час встановлення робочого режиму після включення напруги живлення, сек, не більше	30
Інтерфейс	HART
Конструкція	
Спосіб контакту з вимірюваним середовищем	занурюваної
Ступінь захисту корпусу датчика (по ГОСТ 14254)	IP65
Надійність	
Середнє напрацювання на відмову, год, не менше	15 000
Середній термін служби при номінальній температурі застосування, років, не менше: - для ДТП-І.Ех - для ДТЗ-І.Ех	810
Параметри вибухозахисту	
Маркування	0 Ex ia IIC T6 Ga
Максимальні значення для підключення по кола струму	= 30 В, = 10 мкГн,

## Позначення при замовленні

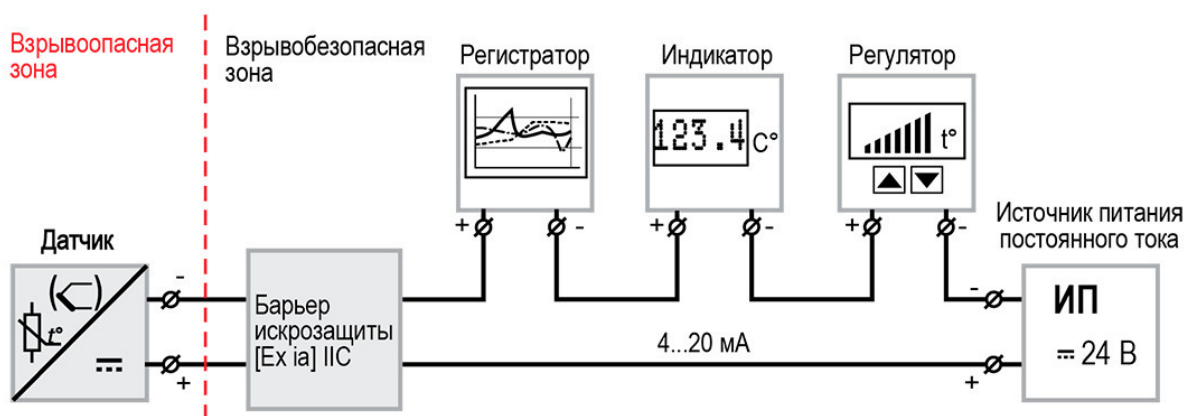


Приклад позначення при замовленні: ОВЕН ДТС045E-PT100.0,5.120.II.EXI-T6 [12H]

Це означає, що виготовлення і постачання підлягає термометр опору платиновий PT100, модель 045, клас точності 0,5%, довжина монтажної частини 120 мм, вибухозахисне виконання (іскробезпечний ланцюг 0Ex іа ІІС Т6 Ga X), температурний клас Т6, діапазон перетворення температур: -50 ... + 100 ° с, з HART-протоколом.

## Схеми підключення

Датчик може бути підключений до декількох вторинним пристроїв. При цьому сумарне значення номінального навантаження (при напрузі живлення 24 В) має бути близько 695 Ом ± 5,0%.



Датчик має можливість передавати інформацію про вимірювану величину в цифровому вигляді HART-протоколу разом з аналоговим сигналом постійного струму 4 ... 20 мА. Цей цифровий сигнал може прийматися і оброблятися будь-яким пристроєм, що підтримує протокол HART (наприклад, HART-комунікатором або ПК з HART-модемом).

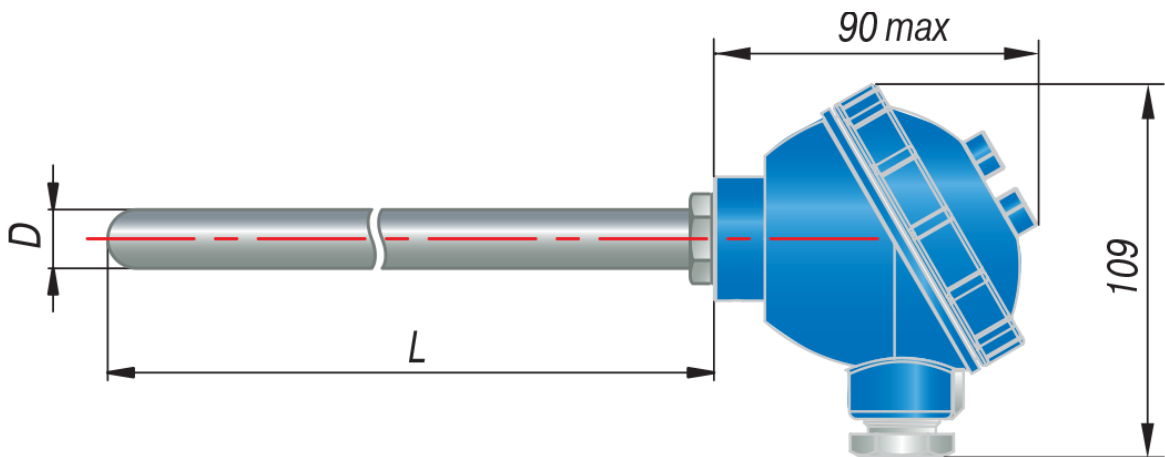
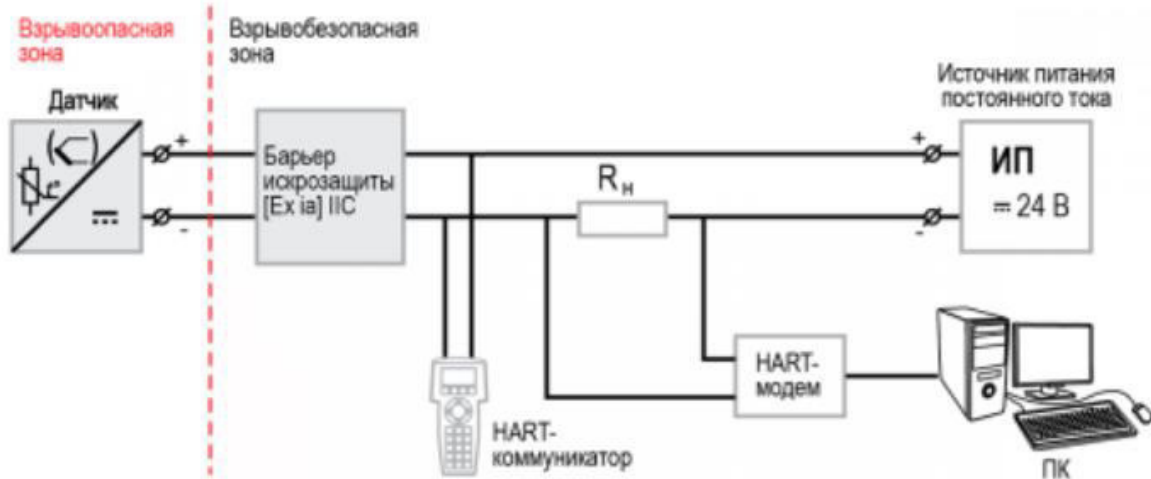


Рис. 2.2. Габаритні розміри датчика ДТСxx5.И

### Датчик рівня:

В даному дипломному проекті для вимірювання рівня використовується безконтактний лазерний датчик рівня O1D300 так як він є оптимальним варіантом для нашої системи автоматизації.

Тип: безконтактний лазерний датчик рівня. Застосування: непрозорі рідини, сипучі речовини. Діапазон вимірювання: 0,2 ... 10 м. Джерело випромінювання: лазер (клас 2), червоний. Частота вимірів: 1-33 Гц. Вихідний сигнал: 4 ... 20 мА / 0 ... 10 В + PNP NO / NC. Температурний діапазон експлуатації: -10 ... + 120 ° С. Напруга: 18 ... 30 V DC. Підключення: роз'єм M12 4 pin.



Диапазон измерения, м	до 10 м
Выходной сигнал	Аналоговый, 0-10 В , Аналоговый, 4-20 мА , Дискретный, PNP

*Рис. 2.3 O1D300 рівнемір лазерний*

### Датчик тиску:

В даному дипломному проекті для вимірювання тиску використовується безконтактний лазерний датчик рівня SITRANS P200 так як він є оптимальним варіантом для нашої системи автоматизації.

Вимірювальний перетворювач SITRANS P200 призначений для вимірювання надлишкового та абсолютного тиску.

Вихідний сигнал: 4 ... 20мА.

переваги

- Висока точність вимірювання
- Міцний корпус з нержавіючої сталі
- Висока стійкість до перевантажень
- Для агресивних і неагресивних речовин
- Для вимірювання тиску рідин, газів і парів
- Компактний дизайн



*Рис. 2.4 Вимірювальний перетворювач SITRANS P200*

### **Перетворювач електропневматичний 2713-WP**

Перетворювач електропневматичний для перетворення аналогово сигналу постійного струму: 4-20 мА в уніфікований пневматичний сигнал 20-100кПа. Рживл.=140 кПа, напруга живлення 24 DC.



*Рис. 2.5 Перетворювач електропневматичний 2713-WP*

### **Пневматичний привід KUP**

Пневматичний привід для управління клапанами заслінками управляючий сигнал -20...100кПа



*Рис. 2.6 Пневматичний привід KUP*

## Перетворювач частоти Schneider Electric Altivar ATV61

Характеристики Schneider Electric ATV61HD45N4

- \* Силова частина: 380-480В, 45кВт, 94А;
- \* Габарити в стандартному виконанні (без комплектів IP): 320x290x630 мм;
- \* Вага без упаковки: 44 кг;

Загальні характеристики моделі Schneider Electric Altivar 61:

- \* Метод управління: скалярний U / f по 2-м і 5-й точках / векторний без ОС по швидкості / енергозбереження;
- \* Запас по перевантаженню: 130% протягом 60сек;
- \* Запуск з пошуком швидкості;
- \* Втроеенная ЕМС-фільтр;
- \* Вбудований гальмівний транзистор (переривник) до 220кВт;
- \* Діапазон вихідної частоти: 1 ... 1000Гц
- \* ПІД-регулятор з автоматичним і ручним режимами роботи;
- \* Сплячий режим;
- \* Захист від терморезисторів РТС;
- \* Інтерфейси: Modbus RTU (тип роз'єму RJ45), CANopen (тип роз'єму Вилка SUB-D 9 на RJ45);
- \* Ступінь захисту IP20, (IP21, IP41, IP54 - опціонально);

**ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЬ ЧАСТОТЫ  
Schneider Electric Altivar 61**



*Рис. 2.7 Пневматичний привід КUP*

## 2.2 Опис функцій, що інтелектуалізуються

В даному випадку ІСК буде впроваджуватися для запобігання втрати продукції, а саме:

- зменшення втрати продукції перед автоклавом;
- нормального розподілення продукції в баки для проміжного зберігання і подальшого розподілення продукції далі по виробництву.

Позначення	Найменування функцій/задач	Закон/алгоритм	Період	Примітка
TE/1a	Регулятор температури в автоклаві	ПІ	500 мс	
TE/4a	Регулятор температури в деактиваторі	ПІ	500 мс	
TE/7a	Температура в баці для зберігання	МРС-алгоритм	1 с	
LE/6a	Рівень в баці для зберігання	МРС-алгоритм	1 с	

*Табл2 Перелік функцій та задач АСУ ТП та ІСК*

## Розробка вимог до ІСК (Requirements diagram)

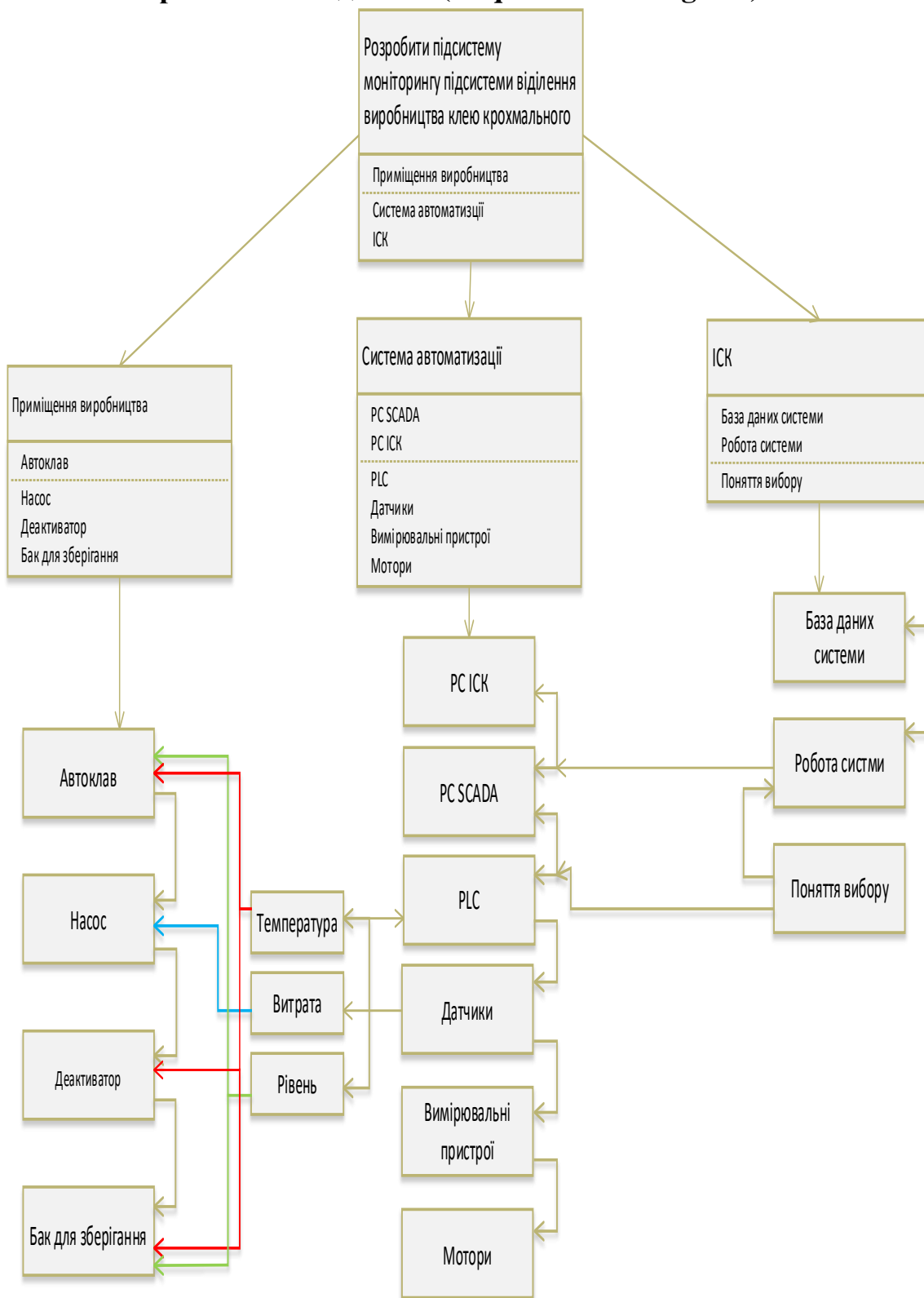


Рис. 2.8 Requirements diagram

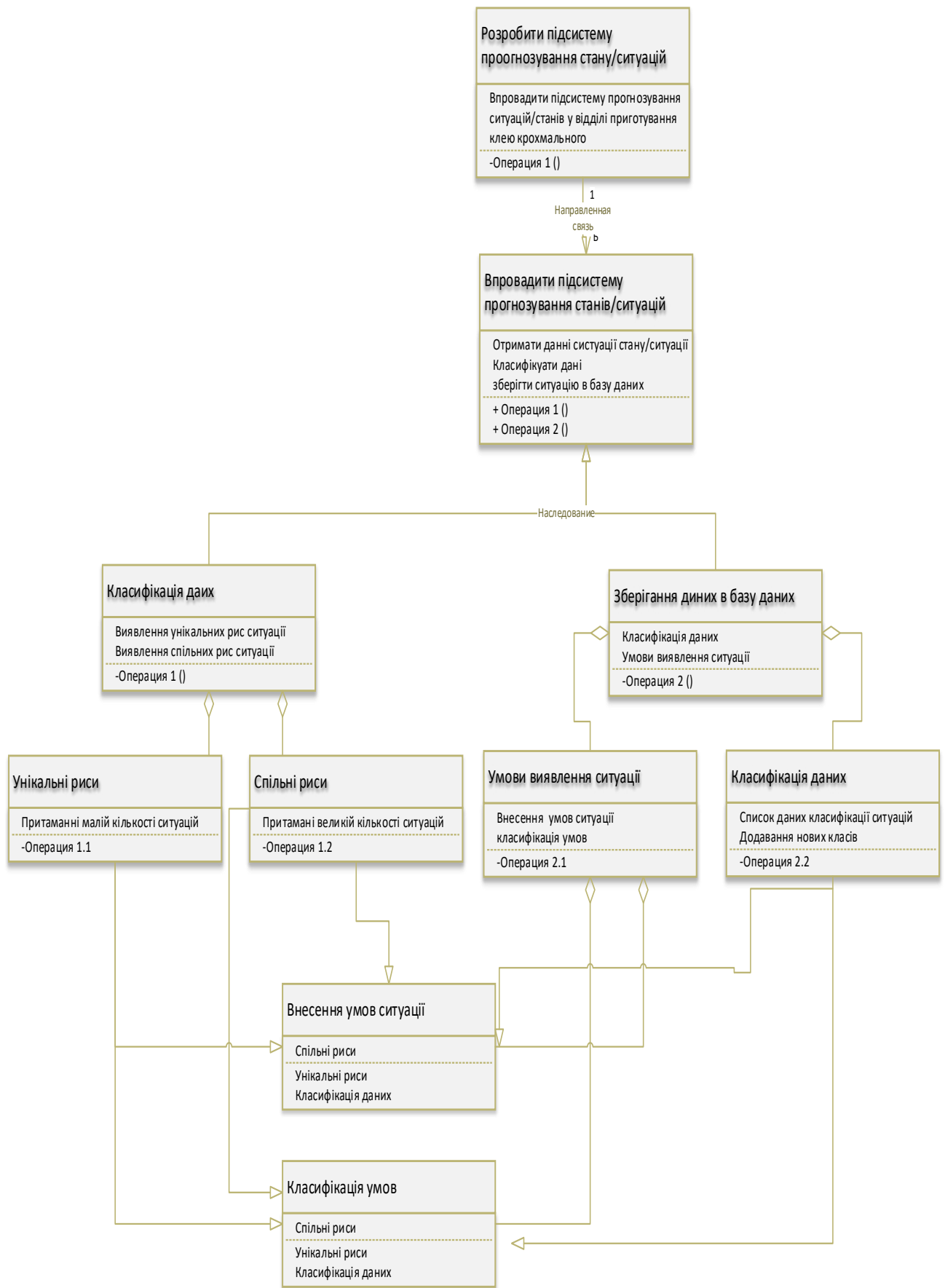


Рис. 2.9 Requirements diagram

## Визначення функцій користувачів (Use Case diagram)

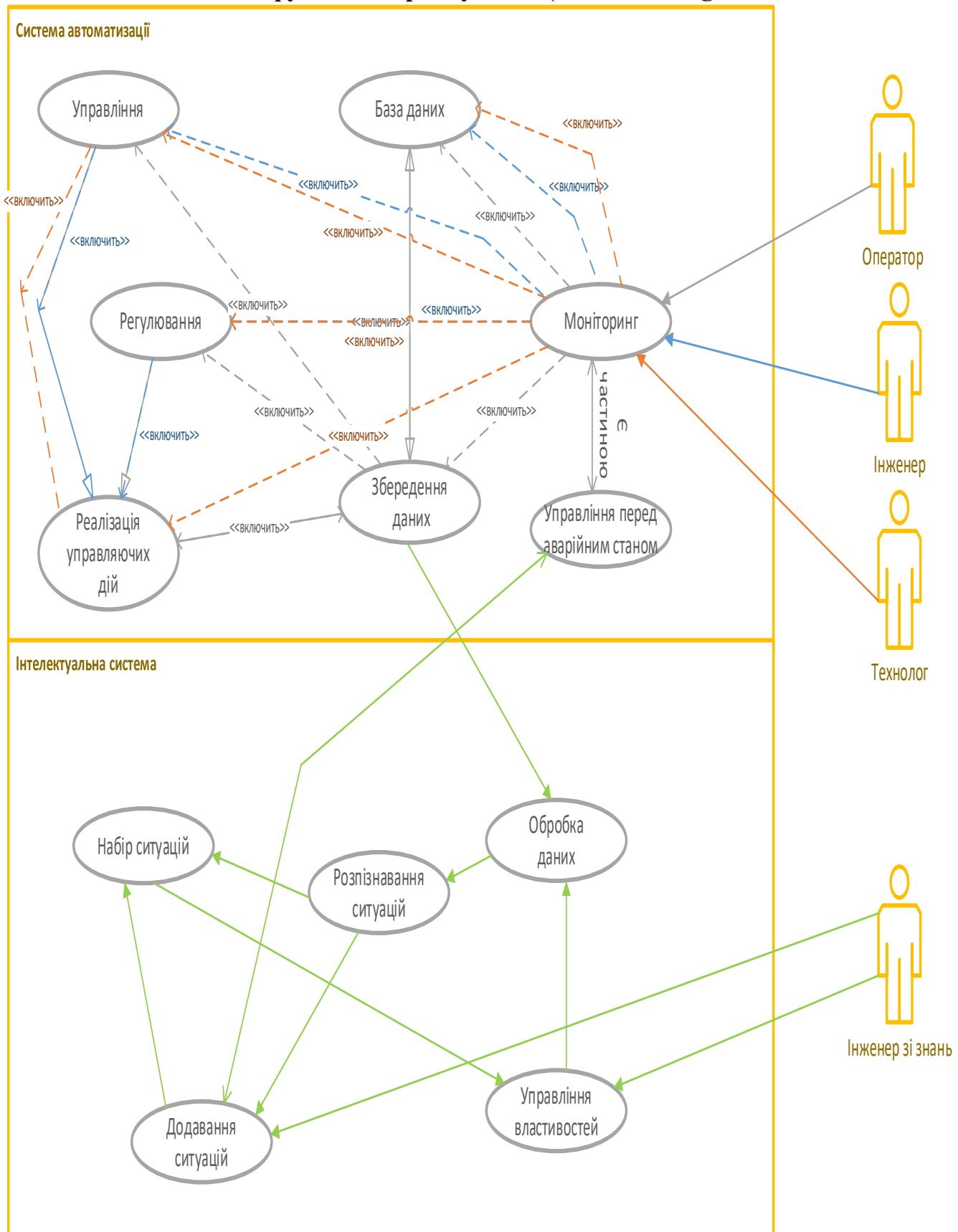
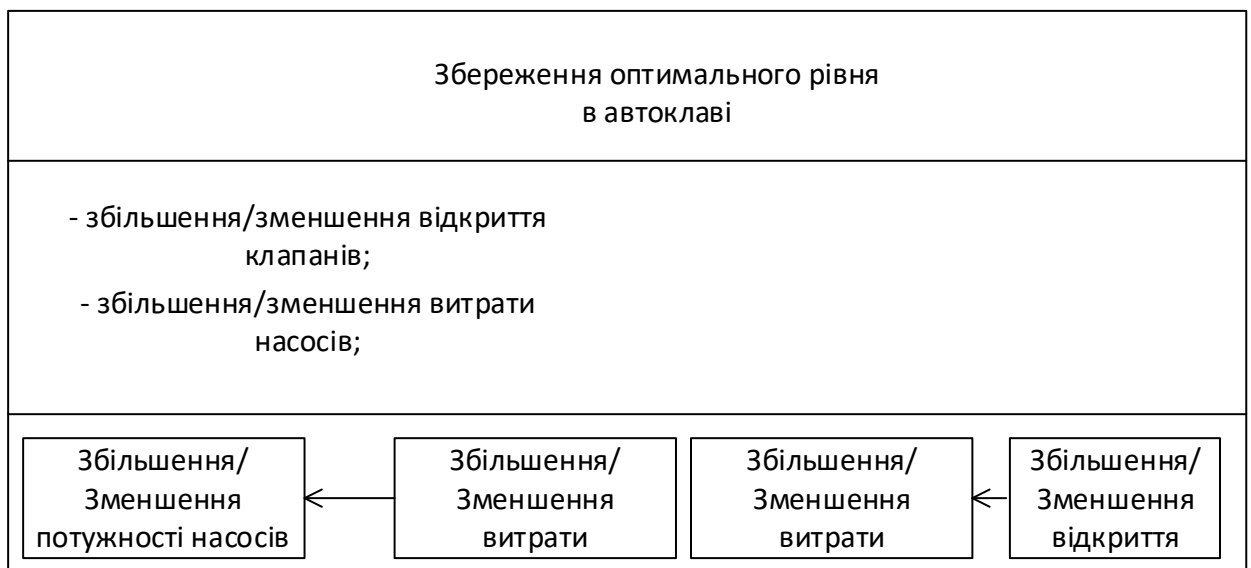
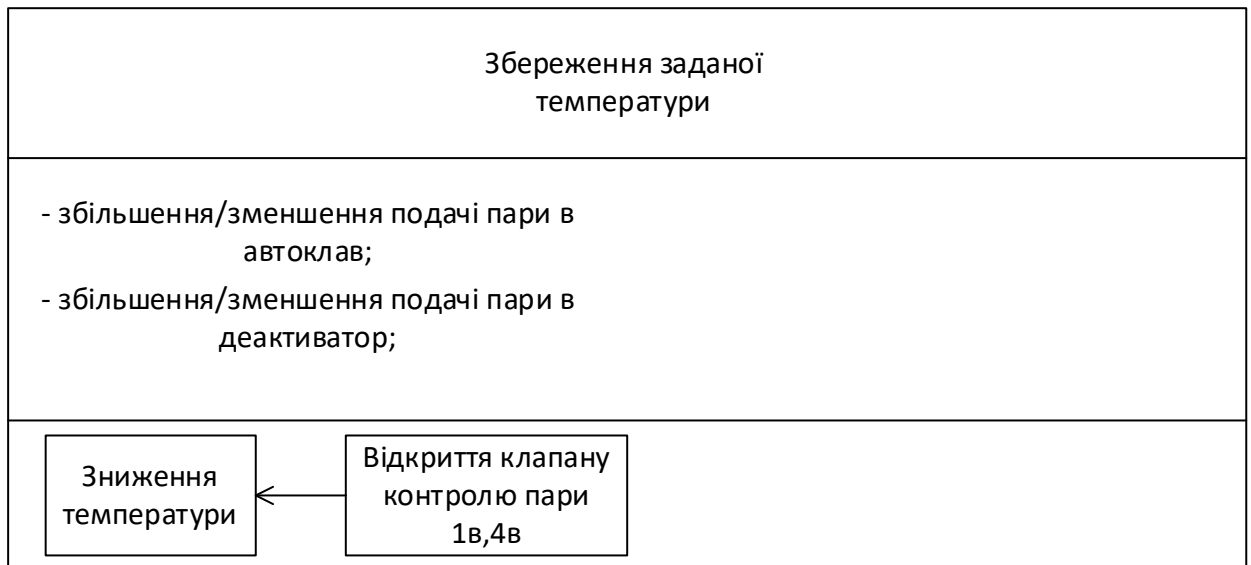


Рис. 2.10. Основні елементи Use Case diagram

## Розробка BDD технологічної, технічної та інформаційної складових системи.



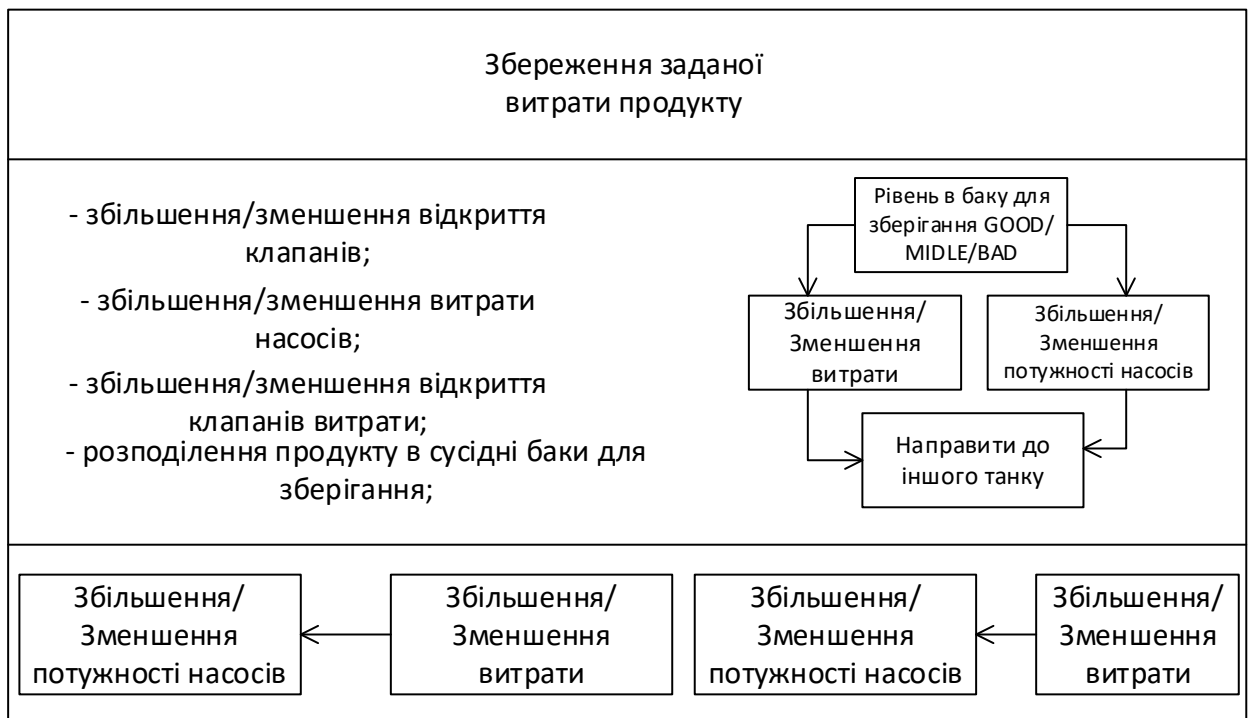
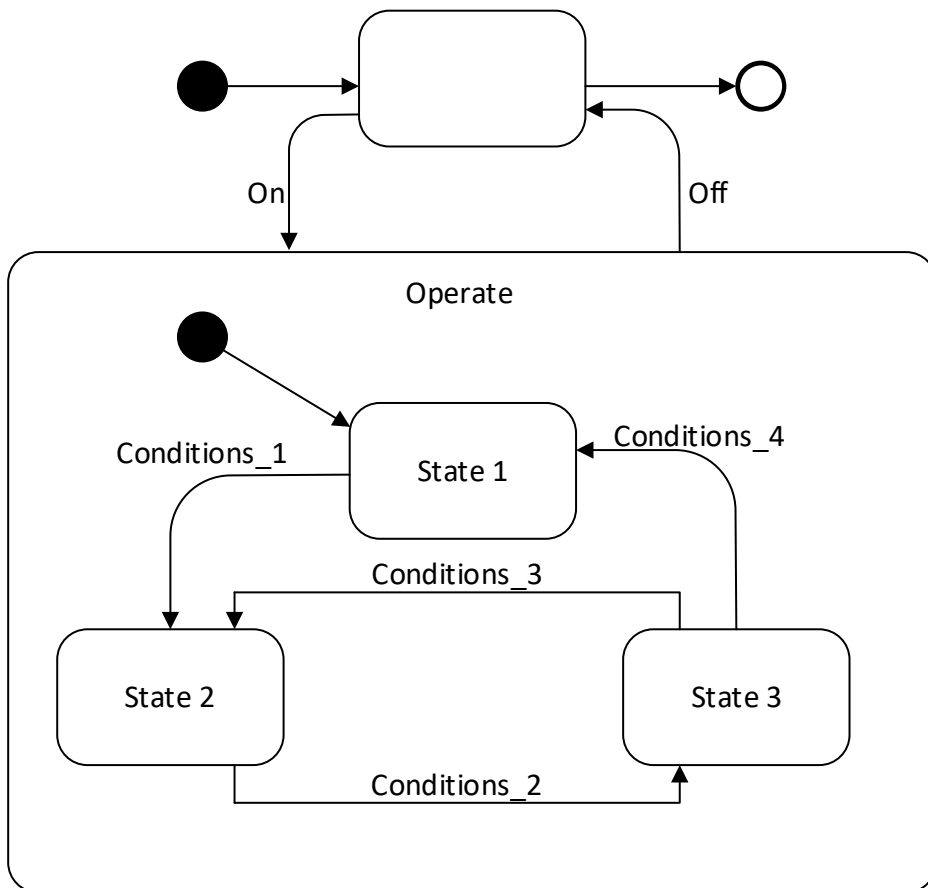
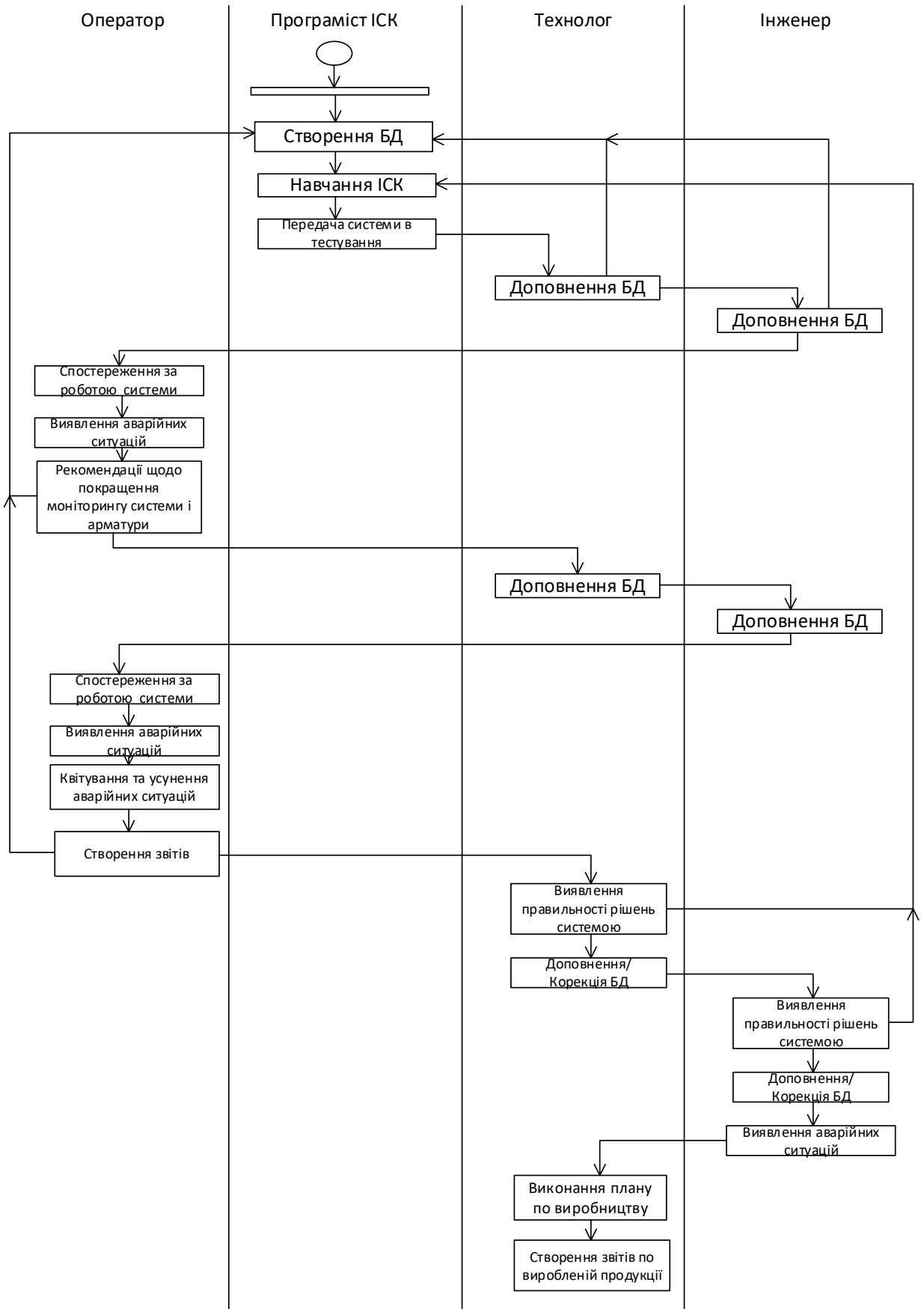


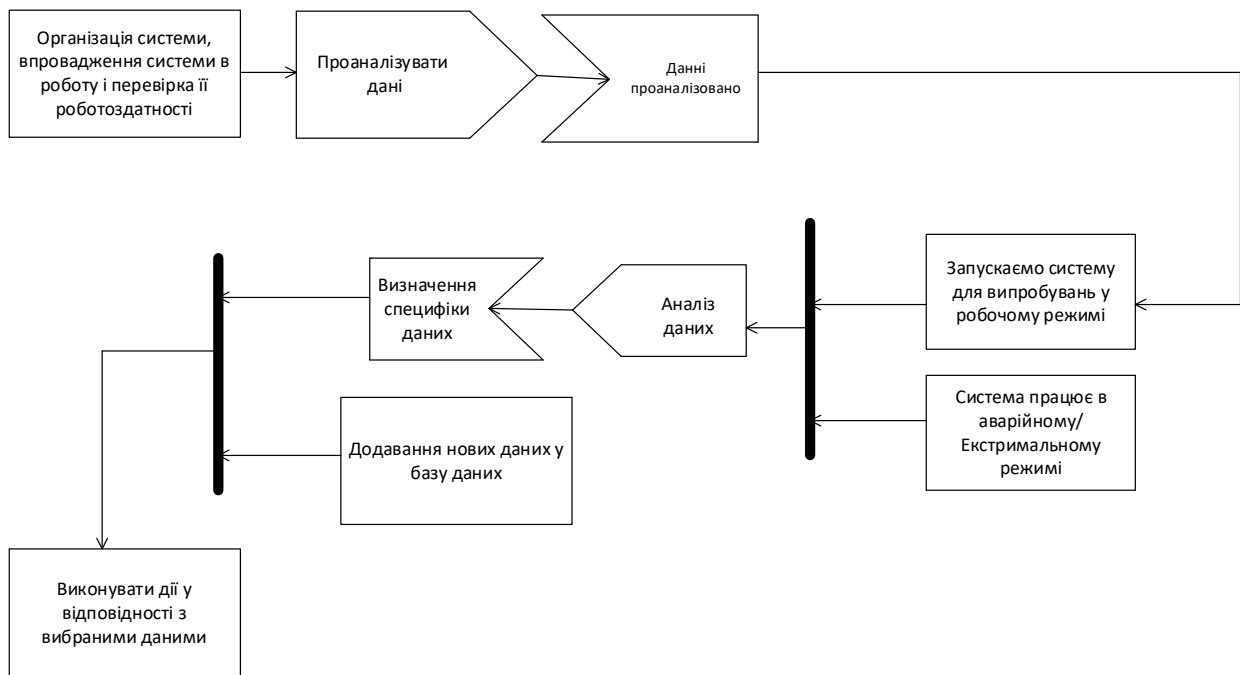
Рис. 2.11. BDD diagram

**Визначення життєвого циклу ІСК та її процесів (State Machine diagram, Activity diagram)**

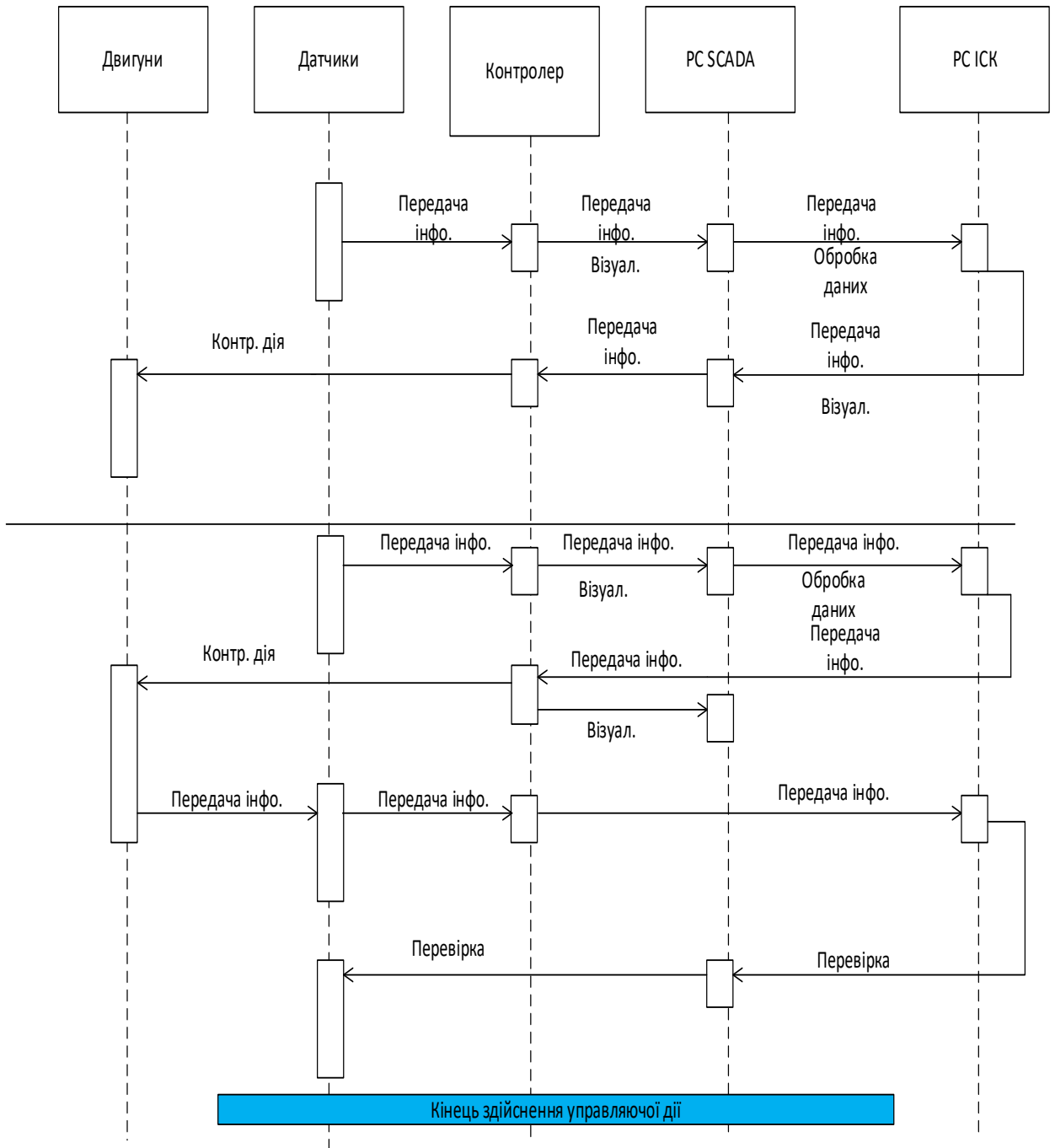


*Рис. 2.12. BDD diagram State Machine diagram*





## Вирішення проблеми синхронізації підсистем (Sequence diagram)



## Розділ 3 – Розробка інформаційного та програмного забезпечення ІСК

### 3.1 Адаптивна система нейро-нечіткого висновку (ANFIS)

В магістерській роботі було застосовано інтелектуальні методи керування, які враховують змінюванні умови роботи, що до сировини та зовнішнього середовища і можуть забезпечити зменшення енергетичних та ресурсних витрат.

ANFIS-це штучна нейронна мережа, яка має унікальну якість вивчення вхідних та вихідних наборів даних для системи та відтворення точних значень відповідно до даних.

З іншого боку, нечітка логіка має можливість інтерпретувати, систематизувати, представляти, а також додавати елемент аргументації до застосованих даних. Система нечіткого висновку (FIS-Fuzzy Inference System) складається з чотирьох різних компонентів, а саме розмивача, нечітких правил, механізму виведення та розмивача. З даним набором даних вхідних даних вихід FIS визначається шляхом побудови нечітких правил, нечіткого введення за допомогою функцій приналежності, розвитку сили правила та пошуку його наслідків.

Потім наслідки об'єднуються для отримання розподілу випуску, який потім дезінфікується. Існує два типи FIS, тип Mamdani та Sugeno. FIS типу Mamdani вимагає використання нечітких правил для зв'язування нечіткого набору з виходами, які дефuzифіковані для отримання скалярних змінних. Sugeno FIS цілком схожий на тип Mamdani, однак у систему не входить функція розподілу вихідних даних або приналежність до вихідних даних. Натомість для отримання вихідних даних вхідні дані множаться на константу, а результати додаються.

Штучні нейронні мережі (ANN), які зазвичай просто називають нейронними мережами (NN), - це обчислювальні системи, нечітко натхненні біологічними нейронними мережами, які складають мозок тварин.

ANN базується на колекції з'єднаних одиниць або вузлів, званих штучними нейронами, які вільно моделюють нейрони біологічного мозку. Кожне з'єднання, як синапси в біологічному мозку, може передавати сигнал іншим нейронам. Штучний нейрон, який отримує сигнал, потім обробляє його і може сигналізувати про нейрони, підключені до нього. "Сигнал" у зв'язку є дійсним числом, і вихід кожного нейрона обчислюється якоюсь нелінійною функцією суми його входів. З'єднання називаються ребрами. Нейрони та краї зазвичай мають вагу, яка регулюється в процесі навчання.

Вага збільшує або зменшує силу сигналу при з'єднанні. Нейрони можуть мати такий поріг, що сигнал надсилається лише в тому випадку, якщо сукупний сигнал перетинає цей поріг. Як правило, нейрони агрегуються в шари. Різні шари можуть виконувати різні перетворення на своїх входах. Сигнали рухаються від першого шару (вхідного шару) до останнього шару (вихідного шару), можливо, після багаторазового обходу шарів.

Отже, поєднання ANN та FIS використовує архітектуру ANN з її здатністю до навчання та інтегрує нечіткі міркування, щоб додати логіку та ефект попереднього знання. За допомогою цього методу ANN точно засвоює функції приналежності нечіткої логічної системи для побудови вхідних даних моделі, яка організована FIS як нечіткі IF-THEN правила.

Ця гібридизація проводиться для забезпечення оптимізації параметрів, що використовуються при розробці FIS, із застосуванням алгоритму навчання для відображення вводу-виводу.

Архітектура ANFIS представлена на рис. 3.1. Для побудови цієї моделі використовується п'ять шарів. Кожен шар містить кілька вузлів, описаних функцією вузла. Адаптивні вузли, позначені квадратами, представляють набори параметрів, які можна регулювати в цих вузлах. І навпаки, фіксовані вузли, позначені колами, представляють набори параметрів, які зафіксовані в моделі. Проста архітектура ANFIS, яка використовує дві змінні (T1 і T2) як входи та один вихід (F: тепловий дрейф), буде описана в цьому розділі, щоб пояснити концепцію структури ANFIS.

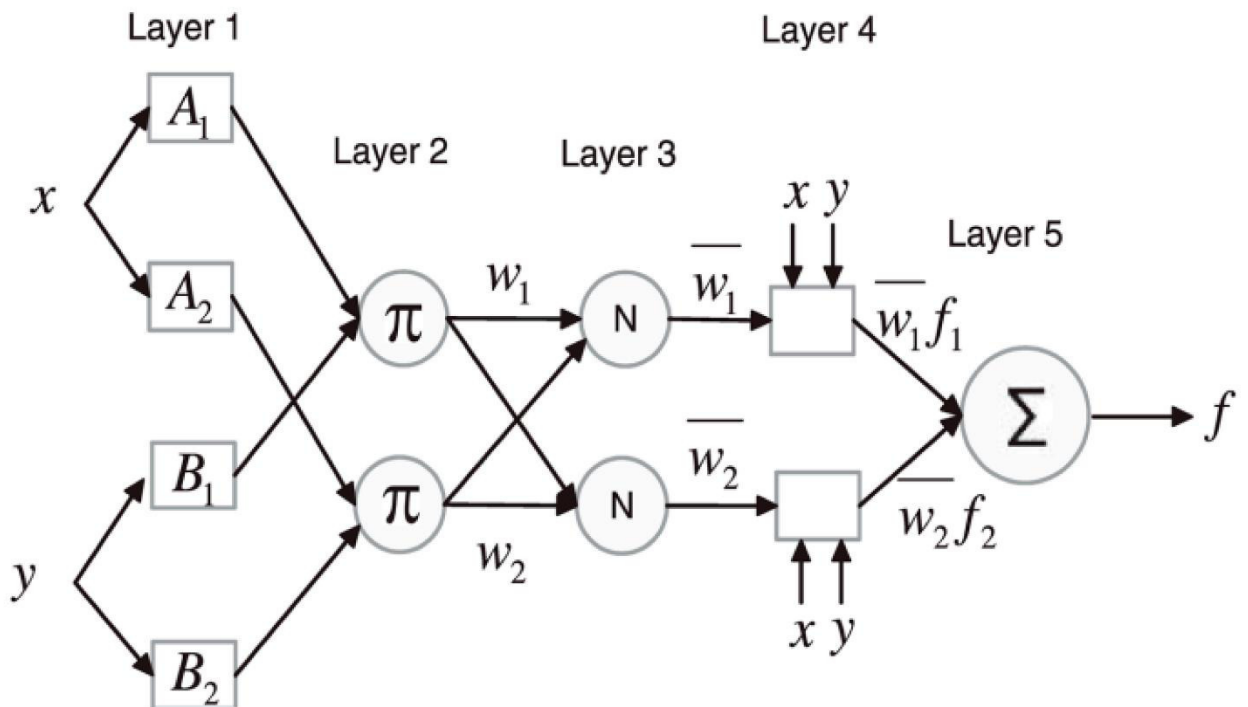


Рисунок 3.1. Структура системи адаптивного нейро-нечіткого висновку.

Шар 1: Перший шар - це нечіткий шар, який перетворює входні дані в нечіткий набір за допомогою функцій приналежності. Він містить адаптивні вузли з функціями вузлів, що описуються як:

$$O_{1,i} = \mu_{A_i}(T_1), \text{ for } i = 1,2 \quad (1)$$

$$O_{1,i} = \mu_{B_{i-2}}(T_2), \text{ for } i = 3,4 \quad (2)$$

де  $T_1$  і  $T_2$  - вхідний вузол і,  $A$  і  $B$  - умовні мітки, пов'язані з цим вузлом,  $\mu(T_1)$  і  $\mu(T_2)$  є функціями приналежності. Існує багато типів функцій приналежності, які можна використовувати. Однак зазвичай адаптується гауссова функція з максимумом і мінімумом, рівними 1 і 0. Параметри цього шару визначаються як параметри приміщення.

Шар 2: Кожен вузол у цьому шарі є фіксованим вузлом, позначеним колом та позначеним  $\Pi$ , з функцією вузла, помноженою на вхідні сигнали, що служать вихідним сигналом.

$$O_{2,i} = w_i = \mu_{A_i}(T_1) \cdot \mu_{B_{i-2}}(T_2), \text{ for } i = 1,2 \quad (3)$$

де  $O_{2,i}$  - вихідний рівень рівня 2. Вихідний сигнал  $w_i$  являє собою силу спрацьовування правила.

Шар 3: Кожен вузол у цьому шарі вважається фіксованим вузлом, позначеним колом і позначеним  $N$ , з функцією вузла для нормалізації сили стрільби шляхом обчислення відношення сили стрільби  $i$ -го вузла до суми сили стрільби всіх правил.

$$O_{3,i} = \bar{w} = \frac{w_i}{w_1 + w_2}, \text{ for } i = 1,2 \quad (4)$$

де  $O_{3,i}$  - вихідний рівень шару 3. Кількість відома як нормована сила випалу.

Шар 4: Кожен вузол у цьому шарі є регульованим вузлом, позначеним квадратом, з функцією вузла наступним чином:

$$O_{4,i} = \bar{w}_i \cdot f_i, \text{ for } i = 1,2 \quad (5)$$

де  $f_1$  і  $f_2$  є нечіткими, if – then правила наступні:

- Правило 1 IF  $T_1$  is  $A_1$  and  $T_2$  is  $B_1$ , THEN  $f_1 = p_1 T_1 + q_1 T_2 + r_1$

- Правило 2 IF  $T_1$  is  $A_2$  and  $T_2$  is  $B_2$ , THEN  $f_2 = p_2 T_1 + q_2 T_2 + r_2$

де  $p_i$ ,  $q_i$  та  $r_i$  - це набір параметрів, що посилаються на наступні параметри.

Шар 5: Кожен вузол у цьому шарі є фіксованим вузлом, позначеним також колом і позначеним  $\Sigma$ , з функцією вузла для обчислення загального виходу за допомогою:

$$O_{5,i} = \sum_i \bar{w}_i \cdot f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{w_i} = f_{out} = \text{Overall output} \quad (6)$$

Найпростішим правилом навчання ANFIS є "зворотне розповсюдження", яке обчислює сигнали помилок рекурсивно від вихідного рівня (рівень 5) назад до вхідних вузлів (рівень 1). Це правило навчання точно таке ж, як правило навчання зворотного розповсюдження, яке використовується у загальних нейронних мережах. Хоча цей метод можна застосовувати для ідентифікації параметрів у мережі ANFIS, метод, як правило, повільний і, ймовірно, потрапляє в локальні мінімуми. Для вирішення цієї навчальної проблеми можуть бути застосовані різні техніки навчання, такі як алгоритм гібридного навчання або генетичний алгоритм. Краща ефективність моделей ANFIS була продемонстрована завдяки застосуванню методу швидкого гібридного навчання, який інтегрує метод градієнтного спуску та метод найменших квадратів для оптимізації параметрів.

#### Вилучення початкової нечіткої моделі

Для того, щоб розпочати процес моделювання, слід вивести початкову нечітку модель. Ця модель потрібна для вибору вхідних змінних, розділення або кластеризації вхідного простору, вибору кількості та типу функцій приналежності для входів, створення нечітких правил та їх передумов та частин висновків. Для даного набору даних різні моделі ANFIS можуть бути побудовані з використанням різних методів ідентифікації, таких як розділення сітки та кластеризація нечітких с-засобів.

Метод розділення ANFIS-Grid - це поєднання розділу сітки та ANFIS. Простір даних ділиться на прямокутні підпростори, використовуючи паралельні осі розділи на основі заздалегідь визначеної кількості функцій приналежності та їх типів у кожному вимірі. Обмеження цього методу полягає в тому, що кількість правил швидко зростає зі збільшенням кількості входів (датчиків). Наприклад, якщо кількість вхідних датчиків дорівнює  $n$ , а розділена нечітка підмножина для кожного вхідного датчика дорівнює  $m$ , тоді кількість можливих нечітких правил дорівнює  $mn$ . Поки кількість змінних зростає, кількість нечітких правил зростає в геометричній прогресії, що вимагає великої пам'яті комп'ютера. За словами Джанга, розділ сітки підходить лише для проблем з невеликою кількістю вхідних змінних (наприклад, менше 6). У цій роботі запропонована модель теплової похибки має п'ять входів. Доцільно застосовувати метод розділення ANFIS-Grid.

Кластеризація нечітких с-засобів ANFIS є найпоширенішим методом нечіткої кластеризації. По суті, він працює з принципом мінімізації цільової функції, що визначає відстань від будь-якої даної точки даних до центру кластера. Ця відстань зважується величиною функції приналежності точки даних. У методі FCM, який пропонується для покращення показників ANFIS, дані класифікуються на відповідні групи на основі їх ступеня функції приналежності (MF). У цьому методі кластеризації передбачається, що кількість кластерів,  $n_c$ , відома або принаймні фіксована. Він ділить заданий набір даних  $X = \{x_1, \dots, x_n\}$  на  $c$  кластери.

Використана література[4,5]

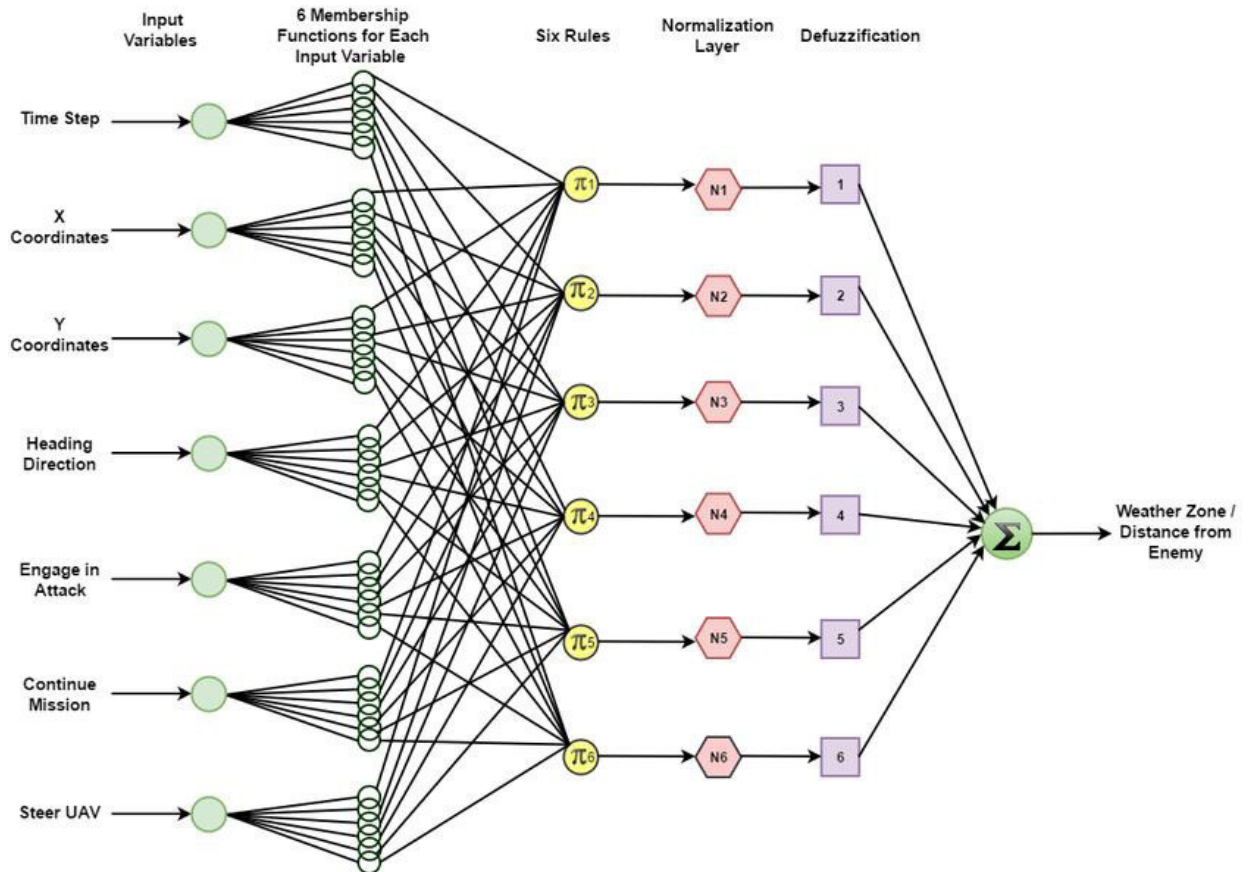


Рис 3.2 Структура моделі ANFIS для шести правил

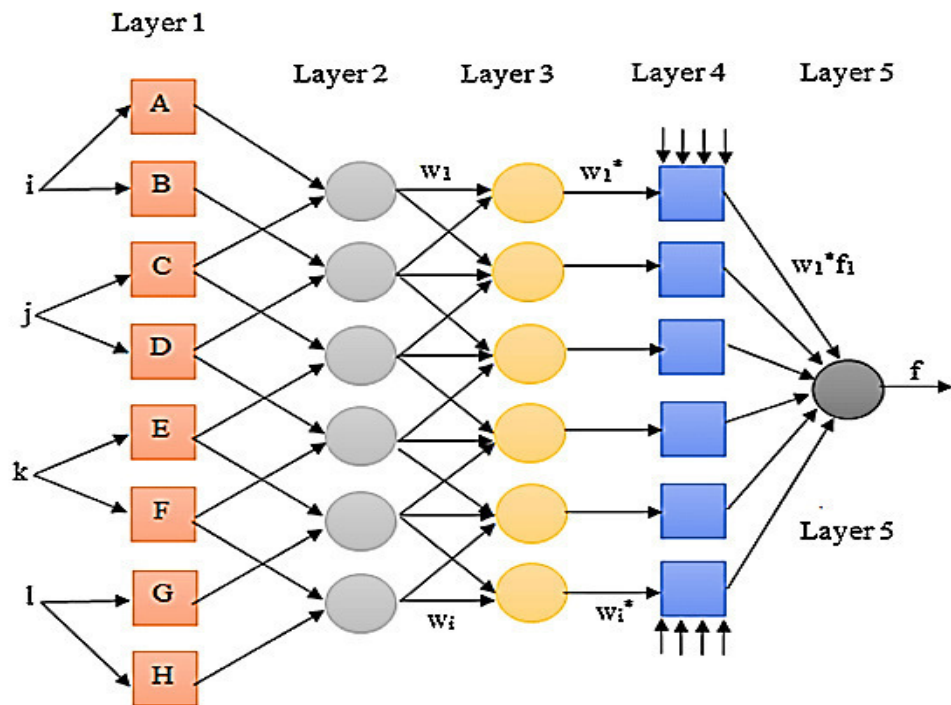


Рис 3.3 Модель адаптивної нечіткої системи (ANFIS).

## Побудова нечіткого регулятора

Є циліндрична ємність з декількома отворами. З одного отвору ємність поповнюється рідиною, з інших - рідина витікає. Здійснюється регулювання вхідним клапаном, тим самим, змінюється кількість рідини, що надходить. Швидкість витікання залежить від постійного діаметра вихідного отвору і тиску в ємності, що змінюється залежно від рівня рідини. Система має суттєво нелінійні характеристики. Входами для контролера є електричний сигнал, що пропорційний помилці відстеження заданого змінного рівня, а виходом - напруга, що створюється у котушці індуктивності, що управляє вхідним клапаном. Математична модель об'єкта управління має вигляд

$$\dot{U} = u_c, \quad \dot{h} = b/SU - a/S\sqrt{h}, \quad (1)$$

де  $h$  - висота ємності (м),  $u_c$  - напруга на виході пристрою управління (керуючий вплив), (в),  $U$  - Інтеграл від напруги на виході пристрою управління, яка обумовлює переміщення клапана,  $S$  - площа поперечного перерізу ємності (м<sup>2</sup>),  $a, b$  - параметри, які визначаються експериментально.

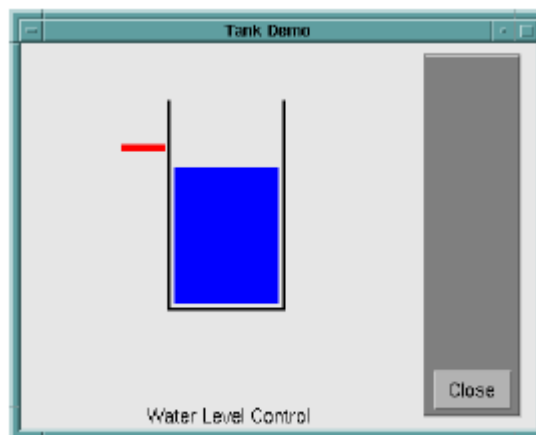


Рис. 3.4. Об'єкт управління - ємність з рідиною.

До синтезованої системи пред'являються такі вимоги: перерегулювання не більше 5%, час перехідного процесу 10 секунд, число коливань до закінчення часу перехідного процесу не більше двох, щоб встановлена помилка

дорівнювала нулю. Вихідні дані у відповідності з варіантом наведені в таблиці 3.1.

Значення характеристик об'єкта керування

Таблиця 3.1

Варіанти	$S, \text{см}^2$	$a$	$b$	$h_1^{\text{ref}}, \text{м}$	$h_2^{\text{ref}}, \text{м}$	$h_{01}, \text{м}$	$h_{02}, \text{м}$
5	45	5	9	1.5	1	0.3	1.4

Постановка задачі. Для цієї системи сконструювати і провести порівняльний аналіз наступних типів регуляторів:

1. Пропорційний регулятор (П).
2. Пропорційно-диференціальний регулятор (ПД).
3. Нечіткий регулятор, який використовує такі правила:

If (level is okay) then (valve is no change)

If (level is low) then (valve is open fast)

If (level is high) then (valve is close fast)

4. Нечіткий регулятор, який використовує правила:

If (level is okay) then (valve is no change)

If (level is low) then (valve is open fast)

If (level is high) then (valve is close fast)

If (level is okay) and (rate is positive), then (valve is close slow)

If (level is okay) and (rate is negative), then (valve is open slow)

Нижче наводиться схема роботи ємкості зібрана засобами Simulink на основі співвідношення (3.5). Система замкнута від'ємним зворотнім зв'язком. Приймаємо для спрощення, що на вхід подаємо величину, чисельно рівну значенню бажаного рівня рідини в ємності. Внаслідок цього коефіцієнт вимірювача (тахогенератора), приймаємо рівним 1.

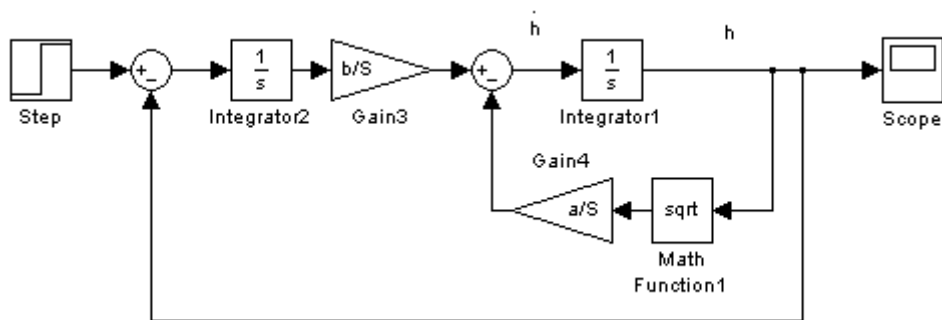


Рис. 3.5. Схема ОУ з  $K_p = 1$

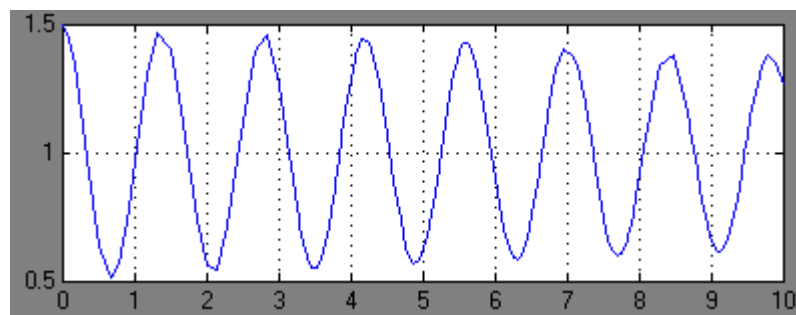


Рис. 3.6. Зміна рівня рідини в місткості ( $K_p = 1$ )

Тепер в систему додамо найпростіший регулятор, який реалізує пропорційний закон управління. Схема системи з П-регулятором наведена на рис. 3.7.

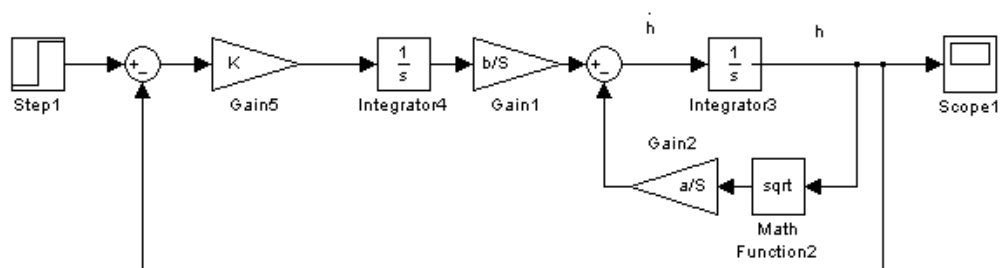
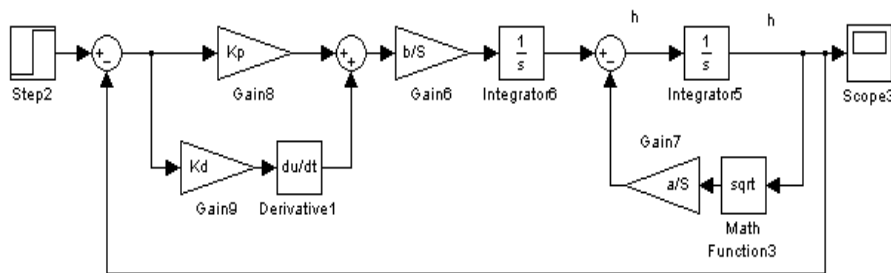


Рис. 3.7. Схема ОУ з П-регулятором

Зрозуміло, що ми маємо дуже простий механізм регулювання шляхом зміни коефіцієнта підсилення. На рис. 3.6 ми можемо спостерігати динаміку процесу, зміна ж коефіцієнта підсилення може лише змінити швидкодію, але не якість.

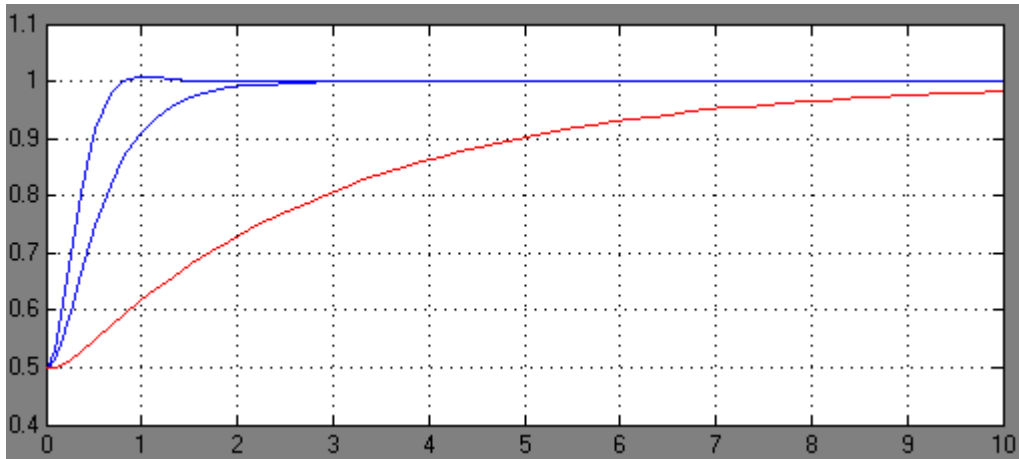
У даній постановці задачі ми можемо змінити тільки швидкодію процесу, але не його динаміку. З допомогою П-регулятора ми не можемо отримати процес необхідної якості.

+Розглянемо роботу системи при додаванні ПД-регулятора, тобто введення крім пропорційної ще й диференційну ланки. Схема з ПД-регулятором наведена на рис. 7.16.

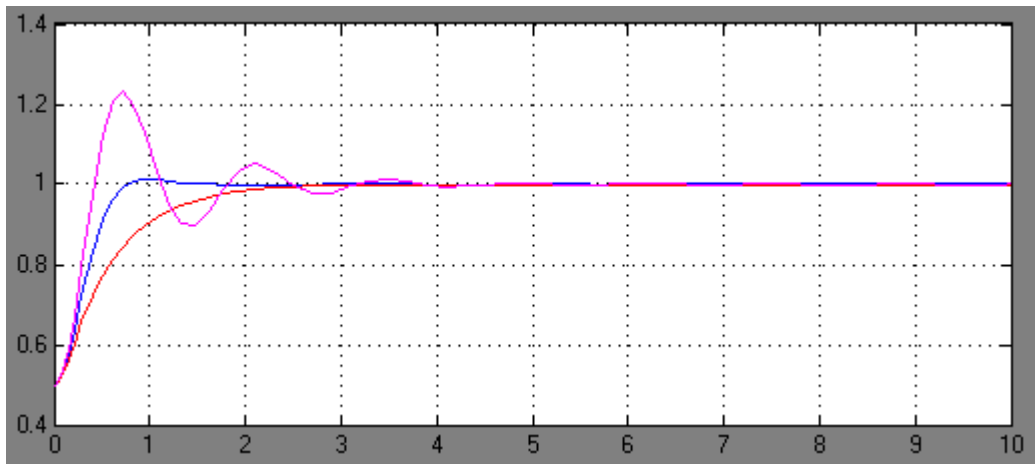


**Рис. 3.8.** Схема ОУ з ПД-регулятором

Тепер ми маємо два варійованих параметра для настройки регулятора. Розглянемо їх вплив окремо.



*Рис. 3.9. Зміна рівня рідини в ємності при різних значеннях коефіцієнта пропорційності ПД-регулятора:  $K_p = 10$  (1),  $K_p = 50$  (2),  $K_p = 7$  (3) при  $K_d = 30$ .*



*Рис. 3.10. Зміна рівня рідини в ємності при різних значеннях коефіцієнта диференціювання ПД-регулятора:  $K_d = 10$  (1),  $K_d = 20$  (2),  $K_d = 30$  (3) при  $K_p = 50$*

Ми можемо бачити, що, коефіцієнт диференціювання призводить до зміни перерегулювання прямо пропорційним чином. Очевидно, підбором обох коефіцієнтів можна досягнути і прийняттого часу регулювання, і плавності переходу.

Перейдемо до побудови нечітких регуляторів. Розглянемо побудову нечіткого регулятора, закон управління якого формується на основі трьох правил:

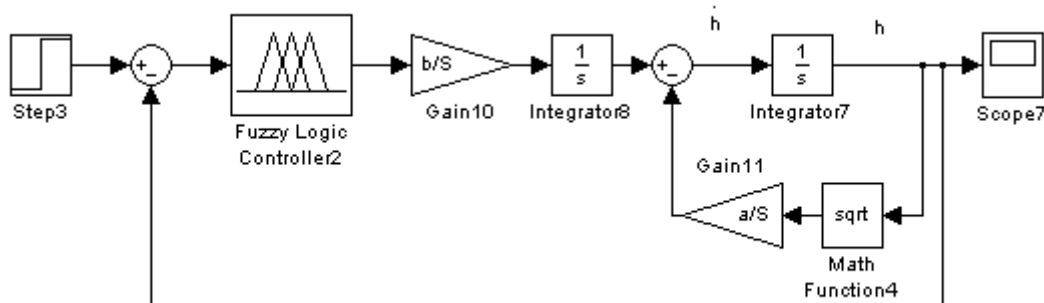
If (level is okay) then (valve is no change)

If (level is low) then (valve is open fast)

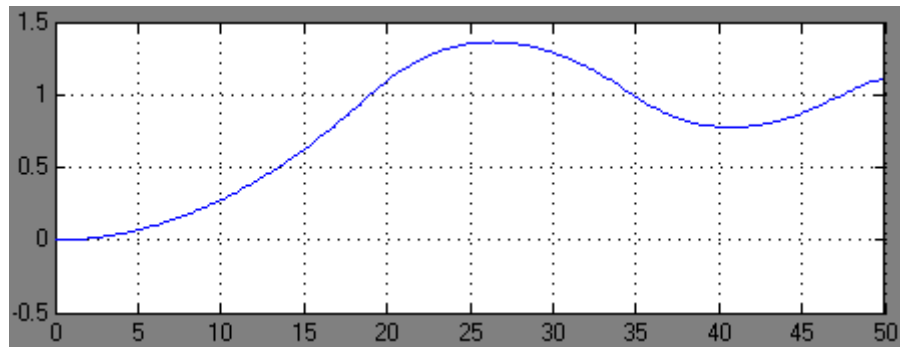
If (level is high) then (valve is close fast)

Отримуємо наступне: якщо рівень рідини «нормальний», то залишаємо клапан «без змін», якщо рівень «низький», то клапан «швидко відкривається», якщо рівень «високий», то клапан «швидко закривається».

Модель нечіткого регулятора складена засобами Fuzzy Logic Toolbox. Нечіткі поняття, взяті вище в лапки, представлені в моделі термами лінгвістичних змінних, з якими зіставлені функції належності. Схема системи в Simulink наведена на рис. 5.37.

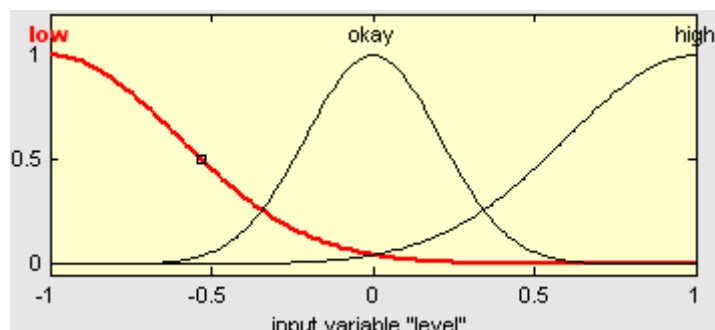


*Рис. 3.11. Схема ОУ з нечітким регулятором (3 правила)*



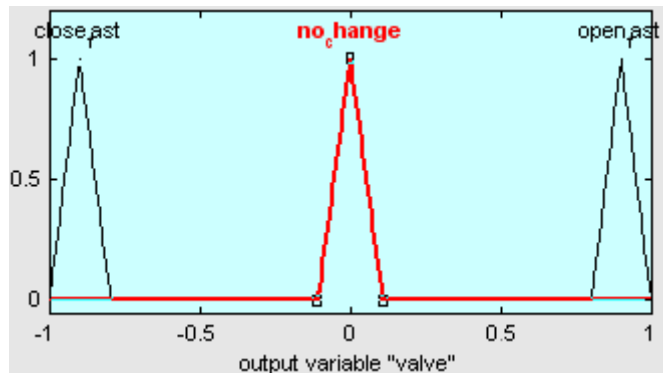
**Рис. 3.12.** Зміна рівня рідини в ємності в системі з нечітким регулятором.

У даному випадку ми отримали перехідний процес, за якістю неприйнятний. Підбором функцій приналежності не вдається підібрати прийнятний процес, оскільки не врахована інформація про поведінку при нормальному рівні рідини в баку. Приходимо до висновку про необхідність подачі на вхід регулятора інформації про знак похідної. Це буде враховано в регуляторі з п'ятьма нечіткими правилами.



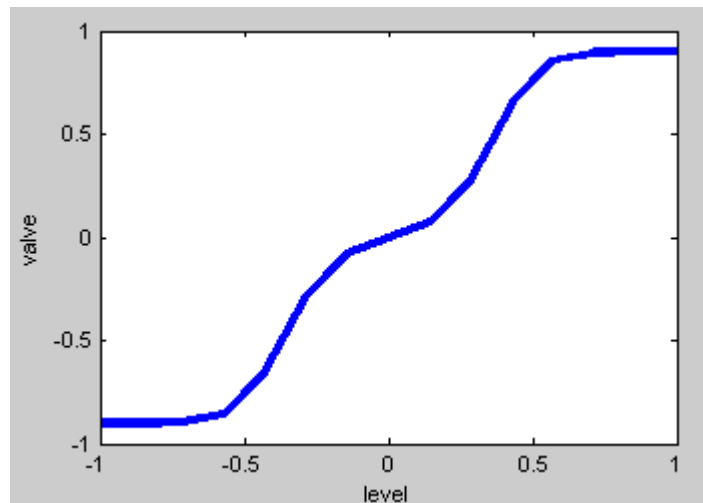
**Рис. 3.13.** Функції належності для термів вхідної змінної «рівень» - level.

На рис. 3.13 функція належності low описує низький рівень рідини, okay - нормальний, high - високий.



**Рис. 3.14.** Функції належності для термів вихідної змінної «клапан» - valve.

На рис. 3.14 функція належності close fast відповідає сигналу швидко закрити клапан, no change - залишити без змін, open fast - швидко відкрити клапан.



**Рис. 3.15.** Поверхня відгуку для нечіткого регулятора (3 правила).

Ми отримуємо подібну з вищевикладеними залежність, оскільки закон керування регулятора подібний з пропорційним.

Тепер побудуємо вдосконалений нечіткий регулятор уже на основі п'яти правил такого вигляду:

If (level is okay) then (valve is no change)

If (level is low) then (valve is open fast)

If (level is high) then (valve is close fast)

f (level is okay) and (rate is positive), then (valve is open slow)

If (level is okay) and (rate is negative), then (valve is close slow)

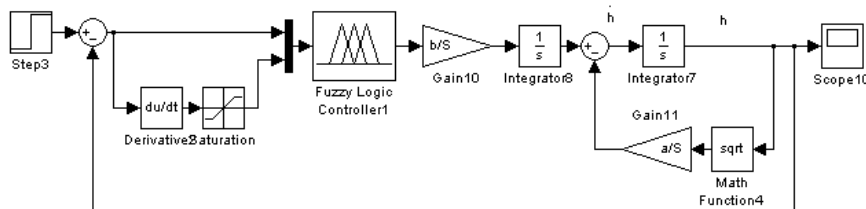
Тут ми до минулих трьох додаємо ще два правила, які враховують знак похідної, щоб на «нормальному» рівні плавно відслідковувати тенденції зміни рівня рідини.

До того ж дослідження проведені при модифікації першого правила у вигляді:

If (level is okay) and (rate is null) then (valve is no change)

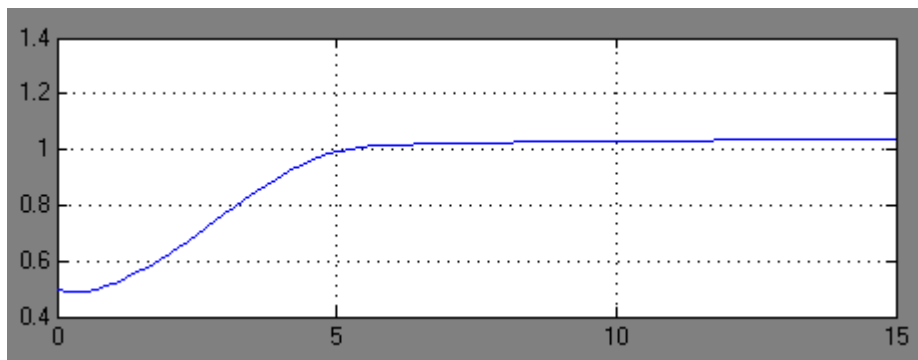
Така заміна дає невеликий виграш у часі моделювання, що можна бачити на нижче наведених графіках.

Тепер нечіткий регулятор має дві входні змінні, одна залишається для рівня рідини, інша для знаку похідної. Схема системи представлена на рис. 5.42.



**Рис. 3.16.** Схема ОУ з нечітким регулятором (5 правил)

У ході моделювання були отримані наступні графіки зміни рівня рідини в баку:



**Рис. 3.17.** Зміна рівня рідини в ємності в системі з нечітким регулятором (5 правил), початковий рівень - 0.5, при вихідних правилах.

Використана література[1, с.51-59]

Наведені лише структури схем інтелектуального керування, які потрібно уточнювати для конкретного технологічного комплексу.

## Схеми підключення датчиків та ВМ до ПЛК.

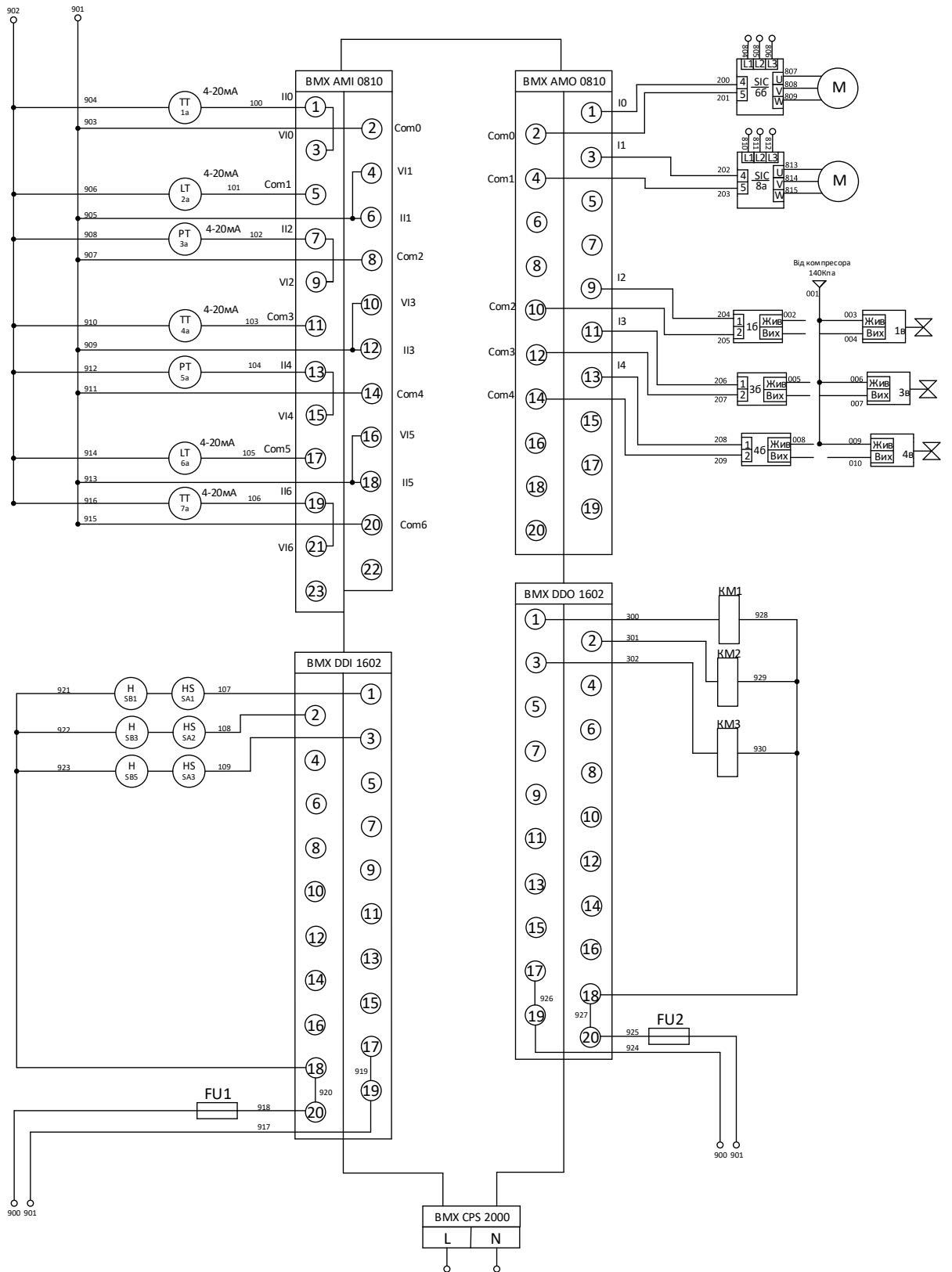


Рис. 3.2.1 Підключення приладів до модулів аналогових входів та виходів.

При розробці системи автоматизації процесу виготовлення модифікованого крохмального клею використовувалися датчики та виконавчі механізми (ВМ), що підключалися до аналогових та дискретних входних та вихідних модулів ПЛК.

Аналогові входи. В системі автоматизації виготовлення модифікованого крохмального клею використовуються датчики температури та тиску та рівня з вихідними уніфікованими струмовими сигналами 4-20 мА. Аналогові сигнали 4-20 мА підключалися до 8-ми канального аналогового модуля входів ВМХ АМІ 0810 ПЛК Schneider Electric M340.

Аналогові виходи. В системі автоматизації виготовлення модифікованого крохмального клею використовуються частотний перетворювач та електричний клапан з входними уніфікованими струмовими сигналами 4-20 мА. Аналогові сигнали 4-20 мА подаються на частотний перетворювача та електричний клапан від 4-х канального модуля аналогових виходів ВМХ АМО 0810 ПЛК Schneider Electric M340.

Дискретні входи. . В системі автоматизації виготовлення модифікованого крохмального клею використовуються кнопки, що підключаються до 8-ми канального модуля дискретних входів ВМХ DDI 1602 ПЛК Schneider Electric M340.

Дискретні виходи В системі автоматизації виготовлення модифікованого крохмального клею використовуються реле для управління насоса та клапанів. Реле підключаються до 8-ми канального модуля дискретних виходів ВМХ DDO 1602 ПЛК Schneider Electric M340.

При розробці принципової схеми підключення датчиків та виконавчих механізмів до ПЛК Schneider Electric M340 були використані наступні компоненти:

– плавкі запобіжники FU1-FU2 – 2 шт., для запобігання короткого замикання.

В принциповій схемі підключення датчиків та виконавчих механізмів до ПЛК Schneider Electric M340 застосовувалася наступна нумерація провідників:

- нумерація 800-815 – для провідників в яких протікає змінний струм;
- нумерація 900-930 – для провідників в яких протікає постійний струм;
- нумерація 001-010 – для провідників в яких протікає пневматичний

сигнал починалася;

– нумерація 100-109 – для провідників в яких протікає вимірювальний сигнал від датчиків до ПЛК Schneider Electric M340;

– нумерація 200-209 – для провідників в яких протікає сигнал управління від ПЛК Schneider Electric M340 до виконавчих.

**СПЕЦИФІКАЦІЯ ПРИЛАДІВ ТА ЗАСОБІВ  
АВТОМАТИЗАЦІЇ.**

№ п/п	№ поз. за схемою	Місце встановлення	Найменування і технічна характеристика виробу	Тип, Марка	К-сть	Виробник
1	2	3	4	5	6	7
1	1а 4а 7а	По місцю	Термоперетворювач опору в комплекті з нормуючим перетворювачем Pt100 Діапазон -50 до +500 °С Вихідний сигнал 4...20 мА Живлення =24В	ОВЕН ДТСхх5.И	3	Овен
2	2а 6а	По місцю	Безконтактний лазерний датчик рівня. Застосування: непрозорі рідини, сипучі речовини. Діапазон вимірювання: 0,2 ... 10 м. Джерело випромінювання: лазер (клас 2), червоний. Частота вимірів: 1-33 Гц. Вихідний сигнал: 4 ... 20мА	IFM ELECTRO NIC O1D300	2	IFM ELECTRON
3	3а 5а	По місцю	Вимірювальний перетворювач SITRANS P200 призначений для вимірювання надлишкового та абсолютного тиску. Вихідний сигнал: 4 ... 20мА.	SITRANS P200	2	Siemens
4	2б 6б	На щиті	Перетворювач частоти серії ATV61. Потужність 45кВт, максимальний струм-94А.	ATV61HD 45N4	2	Schneider Electric

№ п/п	№ поз. за схемою	Місце встановлення	Найменування і технічна характеристика виробу	Тип, Марка	К-сть	Виробник
1	2	3	4	5	6	7
7	KM1 KM2 KM3	По місцю	Електромагнітне реле. 3 контакти. Напруга 380В АС, струм комутації 20А.	relpol R3(N)-2013-23-5024-WTL	3	СВ Альтера м.Київ постачальник
8	SB2 SB4 SB6	на щиті	Кнопочна станція управління. Напруга макс. 240В АС.	Lovato electric LPC BL7223	3	СВ Альтера м.Київ постачальник
9	SA1 SA2 SA3	на щиті	Перемикач режимів. Напруга макс. 240В АС, струм комутації 3А.	Lovato electric LPC S220	3	СВ Альтера м.Київ постачальник
10	SB1 SB3 SB5	по місцю	Кнопки. Напруга макс. 240В АС, струм комутації 3А.	Lovato Electric LPC B202	3	Lovato Electric
11	16 36 46	на щиті	Перетворювач електропневматичний для перетворення аналогового сигналу постійного струму: 4-20 мА в уніфікований пневматичний сигнал 20-100кПа. Рживл.=140 кПа, напруга живлення 24 DC.	2713-WP	3	Dwyer instruments
12	1в 3в 4в	по місцю	Пневматичний привід для управління клапанами заслінками управляючий сигнал -20...100кПа	KUP	3	Kobold

## **Висновки**

- 1) Вперше показано що, на основі системного аналізу технологічним комплексом виготовлення клею крохмального відноситься до складних об'єктів автоматизації, які потребують сучасних методів керування.
- 2) Розроблено традиційні системи автоматизації та вибрані інформаційні канали та засоби керування.
- 3) Для досягнення високих техніко-економічних показників проаналізовано використанні інтелектуальні методи керування перелік: експертні системи, штучні нейронні мережі, адаптивна система нейро-нечіткого висновку (ANFIS)

## Список літератури

- 1) МЕТОДИЧНІ РЕКОМЕНДАЦІЇ до виконання випускної кваліфікаційної роботи на здобуття освітнього ступеня «магістр» спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології» освітньої програми «Інтелектуальні комп'ютерні системи керування» денної та заочної форм навчання Автори: А.П. Ладанюк, Н.М. Луцька, Я.В. Смітюх, В.Д. Кишенько;
- 2) Інтелектуальні системи керування конспект лекцій Автори: В. О. Апостолюк, О. С. Апостолюк
- 3) <http://bym.zp.ua/stati/9-stati/19-klej-dlya-proizvodstva-gofrokartona>
- 4) <https://www.mdpi.com/2073-4360/12/1/122/htm>
- 5) <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1568494614005730#fig0005>