

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В. ДАЛЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА ІНЖЕНЕРІЇ

До захисту допускається

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ І.С.Скарга-Бандурова

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020 р.

**ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТА) БАКАЛАВРА**

**ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА**

НА ТЕМУ:

**Вибір мікроконтролерних пристроїв для систем логічного  
управління на основі експертних оцінок**

Освітній ступінь "бакалавр"

Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр і назва спеціальності)

Керівник проекту:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Д.О. Недзельський

(ініціали, прізвище)

Консультант з охорони праці:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Я.О. Критська

(ініціали, прізвище)

Здобувач вищої освіти:

\_\_\_\_\_

(підпис)

Б.О. Шуліка

(ініціали, прізвище)

Група:

КІ-16д

Севєродонецьк 2020

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ІМЕНІ ВОЛОДИМИРА ДАЛЯ

Факультет Інформаційних технологій та електроніки  
Кафедра Комп'ютерних наук та інженерії  
Освітній ступінь бакалавр  
Спеціальність 123 «Комп'ютерна інженерія»  
(шифр і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ:**

Т.в.о. завідувача кафедри КНІ  
С.О.Сафонова  
«    »      2020 р.

**З А В Д А Н Н Я  
НА ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТУ) БАКАЛАВРА**

Шуліки Богдана Олеговича  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи Вибір мікроконтролерних пристроїв для систем логічного управління на основі експертних оцінок

керівник проекту (роботи) Недзельський Д.О., к.т.н., доц.  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом вищого навчального закладу від "30"04.2020 №73/15.15  
2. Термін подання роботи здобувачем вищої освіти 10.06.2020

3. Вихідні дані до роботи Мікроконтролери Atmel, ESP, ARM, STM, MCS.

Математичний процесор MATLAB.

Мова програмування C.

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

Аналіз техніко-економічних характеристик сучасних мікроконтролерних систем; визначення критеріїв, які впливають на обрання типу мікроконтролерних пристроїв в системах логічного управління; розробка нечіткої моделі обрання мікроконтролерних пристроїв на основі продукційних правил; розробка структури системи підтримки прийняття рішення на основі математичного процесора MATLAB. Охорона праці.

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)  
Електронні плакати

## 6. Консультанти розділів проекту (роботи)

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Охорона праці	Критська Я.О., ст.викл.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Керівник \_\_\_\_\_

(підпис)

Завдання прийняв до виконання \_\_\_\_\_

(підпис)

## КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів дипломного проекту (роботи)	Строк виконання етапів проекту ( роботи )	Примітка
1	Аналіз проблемної галузі, постановка задачі, вибір інструментальних засобів	04.05.2020-06.05.2020	
2	Обрання критеріїв аналізу мікроконтролерів. Аналіз сімейств мікроконтролерів.	07.05.2020-10.05.2020	
3	Побудова продукційних правил	11.05.2020-18.05.2020	
4	Аналіз продукційних правил	19.05.2020-29.05.2020	
5	Розробка прототипу СППР	30.05.2020-05.06.2020	
6	Оформлення пояснювальної записки	06.06.2020-08.06.2020	
7	Підготовка презентації та доповіді	08.06.2020-10.06.2020	

Здобувач вищої освіти \_\_\_\_\_

(підпис)

Б.О. Шуліка \_\_\_\_\_

(ініціали, прізвище)

Керівник \_\_\_\_\_

(підпис)

Д.О. Недзельський \_\_\_\_\_

(ініціали, прізвище)

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка до дипломного проекту (роботи) бакалавра: 108 с., рис. 31, табл. 6, бібліографічних джерел посилань 36, 1 додаток.

Об'єкт розробки: методи і процедури нечіткої логіки.

Мета роботи: розробка експертної системи підтримки прийняття рішень при обранні мікроконтролерного пристрою в системах логічного управління з використанням методів і процедур нечіткої логіки.

В проєкті виконано:

1. Аналіз техніко–економічних характеристик сучасних мікроконтролерних систем. Визначення критеріїв, які впливають на обрання типу мікроконтролерних пристроїв в системах логічного управління.

2. Розробку нечіткої моделі обрання мікроконтролерних пристроїв на основі продукційних правил

3. Розробку структури системи підтримки прийняття рішення на основі математичного процесора MATLAB.

4. Розглянуті питання охорони праці.

Отримано наступні результати: для вирішення задачі вибору мікроконтролерних пристроїв в пристроях логічного керування запропоновано використовувати експертну систему підтримки прийняття рішень з використанням продукційних правил на основі нечіткої логіки. Проаналізовані сімейства мікроконтролерів, які є найбільш вживаними в системах логічного управління. Запропонована дворівнева модель обрання мікроконтролерів, на першому рівні обирається сімейство, а не другому модель мікроконтролера всередині сімейства.

Практичне значення, галузь застосування роботи: розроблений програмний продукт дозволяє наочно через візуальний інтерфейс готувати запит замовника для програми Fuzzi Logic Toolbox в складі математичного процесору Matlab.

**Ключові слова:** ПРИСТРІЙ ЛОГІЧНОГО КЕРУВАННЯ, КІНЦЕВИЙ АВТОМАТ, МІКРОКОНТРОЛЕР, СППР, НЕЧІТКА ЛОГІКА, ПРОДУКЦІЙНІ ПРАВИЛА

Умови одержання дипломного проекту: СНУ ім. В. Даля, пр. Центральний 59-А,. м. Сєвєродонецьк, 93400.

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ.....	7
ВСТУП.....	8
1 СИСТЕМА НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИВОДУ ЯК ЯДРО ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИНЯТТЯ РІШЕНЬ.....	10
1.1 Експертні системи .....	12
1.2 Продукційні правила як модель представлення знань в експертних системах .....	15
1.3 Логічний вивід в експертних системах, що базуються на правилах.....	16
1.4 Застосування апарату нечіткої логіки в СППР.....	18
1.5 Огляд існуючих систем підтримки прийняття рішень.....	23
1.6 Постановка задачі.....	
2 БАЗА ЗНАНЬ У СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИНЯТТЯ РІШЕНЬ.....	29
2.1 Класифікація мікроконтролерних та мікропроцесорних пристроїв за техніко-економічними характеристиками.....	29
2.2 Огляд характеристик сімейств мікроконтролерів.....	45
2.3 Загальні принципи вибору мікроконтролерних пристроїв .....	54
2.4 Модель обрання мікроконтролерних пристроїв на основі продукційних правил.....	57
2.5 Критерії обрання сімейств та моделей мікро контролерів.....	61
3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ .....	71
3.1 Побудова системи продукційних правил .....	71
3.2 Інтерфейс експерта у СППР .....	73
3.3 Інтерфейс користувача у СППР .....	74
3.4 Експерименти з вибору мікроконтролерів.....	81
4 ОХОРОНА ПРАЦІ.....	87
4.1 Загальні питання з охорони праці.....	87
4.2 Аналіз стану умов праці.....	88
4.3 Виробнича санітарія.....	90

4.4 Гігієнічні вимоги до параметрів виробничого середовища.....	92
4.5 Заходи з організації виробничого середовища та попередження виникнення надзвичайних ситуацій.....	94
ВИСНОВКИ.....	99
ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ.....	101
ДОДАТОК А Комп'ютерна презентація .....	105
ДОДАТОК Б Продукційні правила першого рівня для Matlab .....	118

## ПЕРЕЛІК СКОРОЧЕНЬ ТА УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

- БЗ – база знань;
- ВІС – великі інтегральні схеми;
- ЕСП – експертної системи проектування;
- ІС – інтегральні схеми;
- КС – комп'ютерні системи;
- МК – мікроконтролер;
- МКП – мікроконтролерні пристрої;
- МЛВ – машина (механізм) логічного виводу;
- МП – мікропроцесор;
- МПС – мікропроцесорна система;
- ПЗ – програмне забезпечення;
- ПП – продукційні правила;
- РЕП – радіоелектронні пристрої;
- САПР – система автоматизованого проектування;
- СППР – система підтримки прийняття рішення;
- ЦП – цифровий пристрій;
- ALU – arithmetic logical block (арифметично-логічний блок);
- ASIC – application-specific integrated circuit, (інтегральна схема спеціального призначення);
- CISC – complex instruction set computer (комп'ютер (процесор) зі повним набором команд);
- CMOS –: Complementary Metal-Oxide-Semiconductor (компліментарний металооксидний напівпровідник або КМОП);
- IDE – Integrated Development Environment (інтегроване середовище розробки);
- RISC – reduced instruction set computer (комп'ютер (процесор) зі скороченим набором команд).

## ВСТУП

Характерною рисою науково-технічного прогресу, що визначає подальше піднесення суспільного виробництва, є широке впровадження електроніки в усі галузі народного господарства.

При створенні автоматизованих систем різного призначення, у якості їхньої основи, широко використовуються два класи засобів цифрової техніки:

- пристрої з твердою структурою, виконані на базі цифрових схем;
- програмувальні електронні пристрої.

Пристрої з твердою структурою звичайно містять значну кількість інтегральних схем малого і середнього ступеня інтеграції. Ці схеми встановлюються на платах, а їхні виводи з'єднуються відповідно до реалізованих функцій. Будь-яка зміна функцій вимагає зміни схеми, конструкції, перевірочних тестів. Тому головними недоліками пристроїв із твердою структурою є великі витрати часу проектування і виготовлення, а також труднощі внесення змін.

Успіхи напівпровідникової технології привели до появи великих інтегральних схем із щільністю розміщення компонентів до десятків і сотень тисяч транзисторів на кристалі. Використання ВІС дозволяє значно підвищити ефективність цифрових систем - збільшити їхню продуктивність і надійність, зменшити габарити, масу, споживану потужність. Отже, з'являється можливість виконувати пристрої з твердою апаратною логікою на основі замовних спеціалізованих ВІС. Але вартість замовлених ВІС, яка визначається обсягом їхнього випуску, є занадто високою для їхніх виготовлювачів. Тому, як правило, замовні ВІС економічно не вигідні ні для виготовлювачів ІС, ні для виготовлювачів цифрових систем. Застосування замовних ВІС може бути виправдане або при досить відповідальному призначенні цифрової системи, або при високій серійності системи, або окремих ВІС, наприклад електронних годинників.

В останні роки при розробці систем управління об'єктами різного типу



та рівня складності все більше уваги приділяється мікроконтролерній техніці. Це пов'язано з її бурхливим розвитком і широким асортиментом пропонованої продукції. Використання мікроконтролерів дозволяє конструювати пристрої, що володіють такими якостями, як невеликі габарити, відносна дешевизна, простота і надійність, сумісність з персональним комп'ютером через стандартні інтерфейси.

При розробці пристрою виникає необхідність у виборі мікроконтролера, що задовольняє вимогам по продуктивності, надійності, умовам застосувань, тощо.

Об'єкт дослідження – процедури проектування систем логічного управління на базі мікроконтролерних пристроїв.

Предмет дослідження – моделі, методи та процедури обрання мікроконтролерних пристроїв для систем логічного управління на основі експертних оцінок.

Мета роботи – розробка експертної системи підтримки прийняття рішень при обранні мікроконтролерного пристрою в системах логічного управління з використанням методів і процедур нечіткої логіки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз вимог до технологічної платформи реалізації систем логічного управління;
- провести аналіз техніко–економічних характеристик сучасних мікроконтролерних систем;
- визначити критерії, які впливають на обрання типу мікроконтролерних пристроїв в системах логічного управління;
- розробити нечітку модель обрання мікроконтролерних пристроїв на основі продукційних правил;
- розробити структуру системи підтримки прийняття рішення на основі математичного процесора MATLAB.

# 1 НЕЧІТКИЙ ЛОГІЧНИЙ ВИВОД ЯК ЯДРО ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ

Широке застосування комп'ютерних систем підтримки прийняття рішення пояснюється тим, що людина не може моментально дати відповідь на будь-яке питання навіть в тій сфері, в якій вона є професіоналом. Даний факт є наслідком того, що досвід конкретної людини слабшає, вона повинна постійно практикуватися, щоб зберегти свій професійний рівень. Людина робить висновок з можливими суб'єктивними помилками, а в екстремальних ситуаціях може забути важливе правило.

Використанню СППР і визначенню їх функціонального призначення присвячено достатню кількість праць вітчизняних і зарубіжних фахівців в різних предметних областях. У статті [1] СППР розглядається як компонент автоматизованої системи управління. Викладений підхід до проектування людино-машинних систем, що реалізує ергономічний аспект створення перспективних систем управління. Стаття [2] містить огляд сучасних можливостей використання СППР у хірургії. Стаття [3] наводить багато прикладів, що доводять, що СППР може бути застосована при візуалізації і вирішенні складних багатофакторних задач з використанням слабоструктурованих даних.

Стаття [7] присвячена реалізації СППР для технічних систем випробувань виробів ракетно-космічної техніки. Докладно описана структура такої СППР та її функціональність. Автор статті [5] навів класифікацію СППР, описав її архітектуру, структуру та особливості. Розроблено СППР для автоматизації та об'єктивізації процесу вибору елементного базису корпоративної інтегрованої інформаційної системи.

Стаття [6] присвячена розробці інформаційно-логічної моделі СППР інтелектуальної системи оперативної діагностики технічних систем на основі детального функціонального моделювання процесу прийняття рішення про поточний стан об'єкта, що діагностується, за результатами раніше прийнятих

рішень експертом та апріорної інформації, отриманої з пристроїв активного контролю в результаті нормального функціонування або тестування із застосуванням стимулюючого впливу спеціального виду.

Автор [7] показав, що оскільки інформація щодо стану суднового двигуна носить неоднозначний характер, то для її обробки доцільно використовувати методи нечіткої логіки і нейронних технологій, що дозволяють, не дивлячись на невизначеність, формувати експертні висновки, які судновий механік зможе враховувати при виборі остаточного рішення про вибір експлуатаційного режиму, а також необхідності проведення заходів з обслуговування та ремонту двигуна.

На підставі наведених даних можна зробити висновок про стрімкий розвиток сучасних СППР. Вони розвиваються і охоплюють все нові сфери застосування. При цьому їх вже не можна назвати окремим технологічним продуктом, частіше вони виступають в сукупності з іншими елементами програмного комплексу [8].

В області штучного інтелекту експертні системи, як системи підтримки прийняття рішень, завоювали стійке визнання. Вони здатні акумулювати знання, отримані людиною в різних областях діяльності. За допомогою експертних систем вдається вирішити багато сучасних завдань, в тому числі і завдання управління. ЕС і СППР як конкретні програмні продукти в ряді випадків можуть виглядати зовні однаково. Однак вони мають суттєву різницю в своїй цільовій спрямованості. СППР покликані допомогти людині у вирішенні проблеми, що стоїть перед нею, а ЕС – замінити людину при вирішенні проблеми.

## **1.1 Експертні системи**

Експертна система – інтелектуальна комп'ютерна програма, в якій використовуються знання і процедури логічного виводу для вирішення

завдань, досить важких для того, щоб вимагати для свого рішення значного обсягу експертних знань людини [9].

В цілому, ЕС є інструментом, що виконує такі завдання:

- консультація для недосвідчених (непрофесійних) користувачів,
- допомога при аналізі різних варіантів прийняття рішення,
- допомога з питань, що належать до суміжних областей діяльності.

Структура типової ЕС представлена на рисунку 1.1.

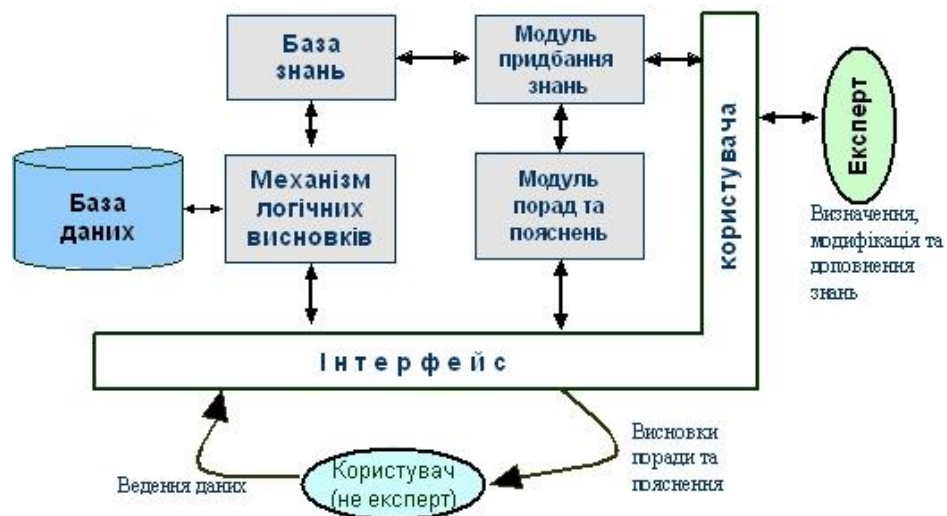


Рисунок 1.1 – Структура експертної системи

Механізм логічного виводу може базуватися на використанні нечіткої логіки, коефіцієнтів впевненості, байесової логіки і т.д. Цей блок є головним, так як з його допомогою користувач генерує альтернативи і виробляє рішення.

Блок порад та пояснень показує весь шлях, яким система прийшла до того чи іншого висновку. В експертних системах, заснованих на правилах, пояснення отримують шляхом простежування кроків міркування, які привели до цього висновку.

База даних, блоки розрахунків та введення і виведення даних є відмінною рисою, притаманною тільки експертним системам підтримки процесів прийняття рішень. Їх наявність продиктовано великим об'ємом і

жорсткістю вимог до точності розрахунків, необхідних для прийняття рішень.

Блок придбання знань відповідає за самонавчання експертної системи і, отже, за надійність і точність рекомендацій, що видаються. Витяг і формалізація знань, якими володіє експерт, – досить складний процес, який вивчає такий розділ науки, як інженерія знань. У роботі ці питання розглядатися не будуть. Лише зазначимо, що в даний час придбання знань експертною системою зводиться до введення вербалізованих знань експерта за допомогою відповідного інтерфейсу користувача.

База знань містить знання, на підставі яких машина логічного виводу формує висновки [10]. Ці висновки є відповідями експертної системи на запити користувача, що бажає одержати експертні знання.

Найбільш поширеними є наступні моделі представлення знань: логічні, продукційні, моделі фреймів та семантичні мережі (рис. 1.2).

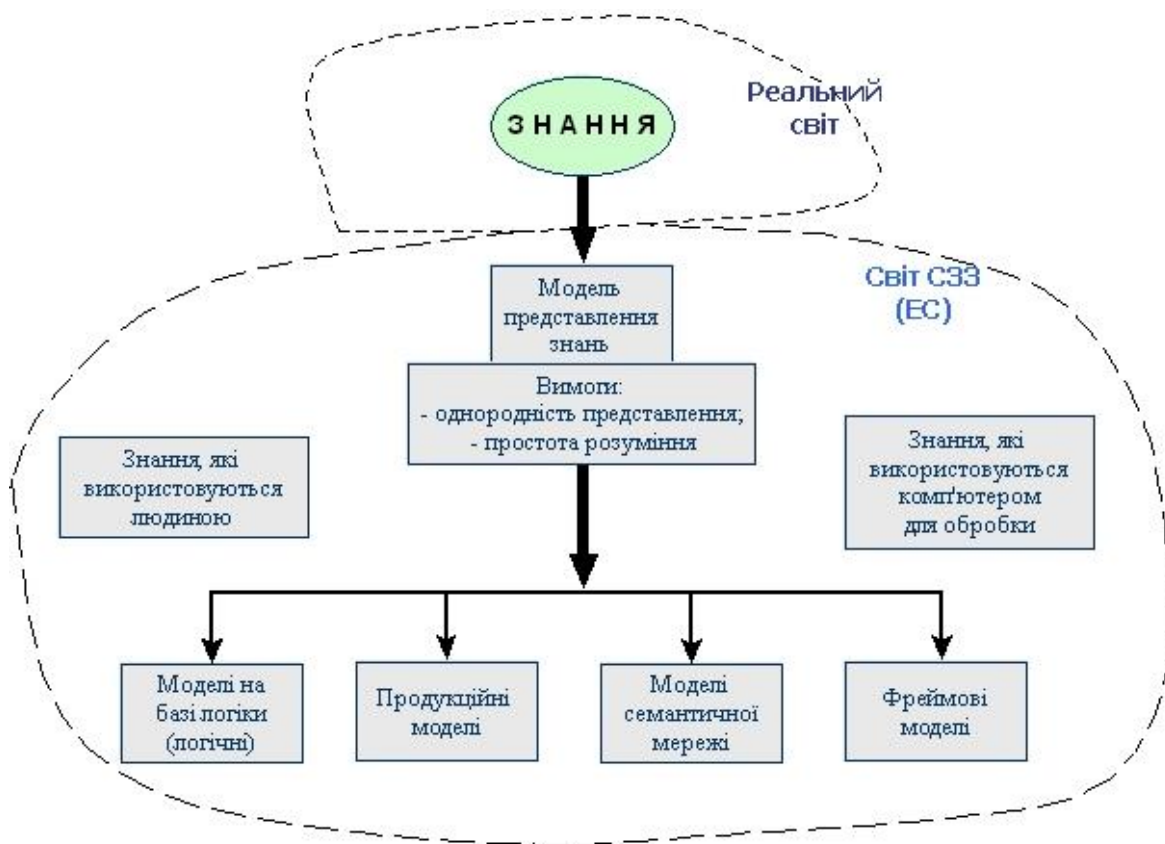


Рисунок 1.2 – Моделі представлення знань в ЕС

Логічні моделі базуються на представленні знань і системі логіки предикатів першого порядку. Виведення нових знань здійснюється на підставі силогізмів. Правила формальної логіки поступово розширюються, наближаючись до "людської" логіки, остання характеризується нечіткістю. У зв'язку з цим з'являються модальна, багатозначна, немонотонна та інші види логіки.

Продукційні моделі представляють знання у формі предикатів першого порядку, а правила маніпулювання ними – за допомогою конструкцій "ЯКЩО, ТО".

Моделі фреймів представлення знань відображають систематизовану у вигляді єдиної теорії психологічну модель пам'яті людини. Основний елемент моделі – фрейм – показує структуру даних для опису концептуальних (понятійних) об'єктів. Інформація, що відноситься до одного фрейму, міститься у слоті. Всі фрейми взаємопов'язані і утворюють єдину систему, в якій об'єднані факти (описові знання) і правила маніпулювання ними.

Семантична мережа – граф, вузли якого відповідають поняттям або об'єктам. Логічні висновки базуються на прямому або зворотному міркуваннях. Прямі міркування ведуться від даних до мети міркування, а зворотні – від мети до даних. Зворотні міркування базуються на графі "І / АБО", що зв'язує в єдине ціле факти і висновки. Оцінка цього графа і є логічний висновок.

## **1.2 Продукційні правила як модель представлення знань в експертних системах**

Як було показано раніше, база знань містить знання, на підставі яких машина логічного висновку формує висновки. В якості моделі представлення знань було обрано продукційну модель. Продукційна модель – це найбільш поширена модель, в яких знання представляються за допомогою правил виду:

## <ЯКЩО А, ТО В>,

де А – передумова (посилка чи антецедент), В – висновок (дія чи консеквент). Передмову та висновок виражають через факти, якими описують предметну область.

Як умова, так і дія правила можуть враховувати кілька фактів, об'єднаних логічними зв'язками І, АБО, НІ. Логічний висновок полягає у використанні правила *modus ponens*: якщо відомо, що істинним є твердження А, та існує правило виду «Якщо А, то В», тоді твердження В також є істинним.

При використанні таких моделей в системах, заснованих на знаннях, є можливість застосування простого і точного механізму використання знань та представлення знань з високою однорідністю, описуваних за єдиним синтаксисом. Ці дві відмінні риси і визначили широке поширення продукційної моделі. Програмні засоби, які оперують із знаннями, представленими правилами, отримали назву продукційних систем (або систем продукції) і вперше були запропоновані Постом в 1941 році [11]. Загальним для систем продукції є те, що вони складаються з трьох елементів:

- набір правил, які використовуються як БЗ, його ще називають базою правил;
- робоча пам'ять, де зберігаються передумови, що стосуються окремих завдань, а також результати висновків, одержуваних на основі цих передумов (динамічна база даних – ДБД);
- механізм логічного висновку, що використовує правила в відповідності до робочої пам'яті.

Популярність продукційних моделей визначається наступними перевагами:

- переважна частина людських знань може бути записана у вигляді продукційних правил;
- системи продукції є модульними, тобто видалення або додавання ПП, як правило, не призводить до змін в інших продукціях;

При цьому продукційні моделі мають принаймні два недоліки:

- при великому числі ПП стає складною перевірка несуперечності системи ПП, що ускладнює процедуру додавання нових правил;
- виникають труднощі при перевірці коректності роботи системи у зв'язку з неоднозначністю вибору виконуваної продукції.

### 1.3 Логічний вивід в експертних системах, що базуються на правилах

Логічний вивід в експертних системах, що базуються на знаннях, заснований на побудові прямого та зворотнього ланцюжка міркувань, утворених в результаті послідовного перегляду лівих і правих частин відповідних правил, аж до отримання остаточних висновків.

Машина (механізм) логічного виводу виконує дві функції: по-перше, перегляд існуючих фактів з робочої пам'яті (РП) (чи бази даних (БД)) і правил з бази знань і додавання в РП нових фактів і, по-друге, визначення порядку перегляду та застосування правил (рис. 1.3).

У переважній кількості ЕС, механізм виводу являє собою програму і включає два компонента – один реалізує власне вивід, а другий – управляє цим процесом.

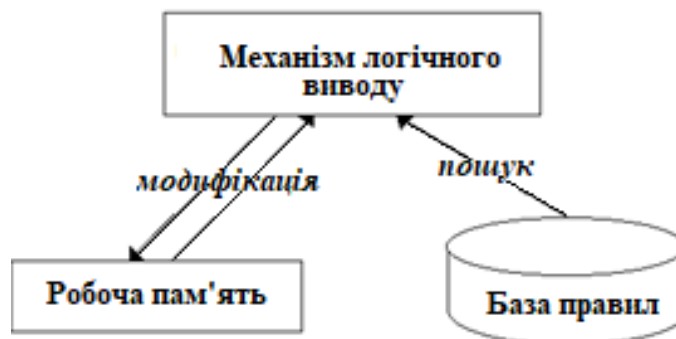


Рисунок 1.3 – Механізм логічного виводу



Правила спрацьовують, коли знаходяться факти, що задовольняють їх лівій частині: якщо істинна посилка, то повинний бути істинний і висновок.

Керуючий компонент визначає порядок застосування правил і виконує чотири функції:

- а) зіставлення – зразок правила зіставляється з наявними фактами;
- б) вибір – якщо в конкретній ситуації може бути застосовано відразу кілька правил, то з них вибирається одне, найбільш підходяще по заданому критерію (вирішення конфлікту);
- в) спрацьовування – якщо зразок правила при зіставленні збігся з будь-якими фактами з робочої пам'яті, то правило спрацьовує;
- г) дія – робоча пам'ять піддається зміні шляхом додавання в неї укладення правила, що спрацювало. Якщо в правій частині правила міститься вказівка на будь-яку дію, то воно виконується.

Машина логічного виводу працює циклічно. У кожному циклі вона переглядає всі правила, щоб виявити ті, посилки яких збігаються з відомими на даний момент фактами з РП. Після вибору правило спрацьовує, його висновок заноситься в РП, і потім цикл повторюється спочатку. В одному циклі може спрацювати тільки одне правило. Якщо кілька правил успішно зіставлені з фактами, то МЛВ виробляє вибір за певним критерієм єдиного правила, яке спрацьовує в даному циклі.

Інформація з РП послідовно зіставляється з посилками правил для виявлення успішного зіставлення. Сукупність відібраних правил складає так звану конфліктну безліч. Для вирішення конфлікту МЛВ має критерій, за допомогою якого вона обирає одне правило, після чого воно спрацьовує. Це виражається в занесенні фактів, що утворюють висновок правила, в РП або в зміні критерію вибору конфліктуючих правил. Якщо ж на закінчення правила входить назва якої-небудь дії, то воно виконується. Робота МЛВ залежить тільки від стану РП і від складу БЗ.

Від обраної стратегії управління логічним висновком буде залежати порядок застосування та спрацювання правил. Визначення стратегії включає в себе два аспекти:

- вибір методу здійснення пошуку (прямий чи зворотній);
- вибір методу пошуку рішень (пошук в глибину, пошук в ширину, розбиття на підзадачі, альфа-бета алгоритм).

#### 1.4 Застосування апарату нечіткої логіки в СППР

В умовах неповноти, неточності інформації побудова точної математичної моделі виявляється проблематичною. З іншого боку, створення моделі складних об'єктів, що погано формалізуються, стає важко здійсненним. Дослідження виявили, що у мисленні людини використовуються не числа, а образи і слова, тому експертні оцінки є якісними.

Для оперування як кількісними, так і якісними поняттями в реальних задачах, що розв'язуються за допомогою СППР, пропонується використовувати апарат нечіткої логіки [12].

Продукційні правила, умова (антецедента) та висновок (консеквента) яких виражені нечітко, називаються нечіткими [8]. Структура нечіткого продукційного правила має вигляд

$$\langle \text{ЯКЩО } x \in \tilde{A}, \text{ ТО } y \in \tilde{B} \rangle,$$

де  $x$  та  $y$  та – це лінгвістичні змінні,  $\tilde{A}$  та  $\tilde{B}$  – їх значення, яким відповідає лінгвістичний терм з базової терм-множини лінгвістичної змінної. В даному випадку вираз  $x \in \tilde{A}$  називають нечіткою умовою, а вираз  $y \in \tilde{B}$  – нечітким виводом правила.

Так само як і у класичних продукційних правилах, в нечітких правилах як антецедент та консеквент можуть використовуватися не тільки прості, але і складні логічні нечіткі висловлювання, тобто елементарні нечіткі

висловлювання, з'єднані нечіткими логічними зв'язками, такими як нечітке заперечення, нечітка кон'юнкція, нечітка диз'юнкція.

Нечітка продукційна система, окрім стандартних блоків, таких як БЗ, БД та МЛВ, також має два допоміжних блоки – блок фазифікації (англ. fuzzification), що перетворює чисельні вхідні значення в ступінь відповідності лінгвістичним змінним та блок дефазифікації (англ. defuzzification), перетворює результати виведення в чисельні значення.

У загальному випадку механізм логічного висновку, що використовує нечітку логіку, включає чотири етапи: введення нечіткості (фазифікація), нечіткий висновок, композиція і приведення до чіткості, або дефазифікації (рис. 1.4).

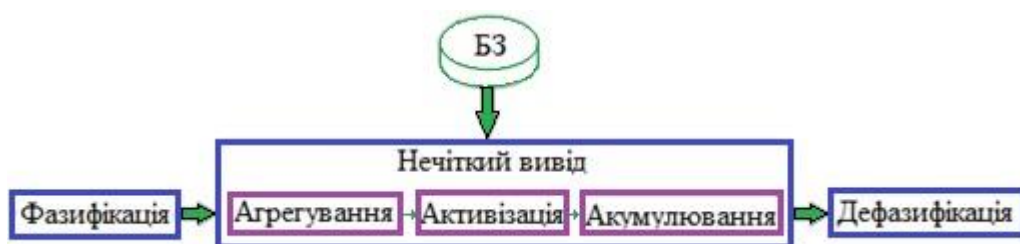


Рисунок 1.4 – Етапи нечіткого виводу

Стосовно до нечіткої продукційної системи машина логічного виведення представляє собою конкретизацію раніш розглянутих методів прямого та зворотного виведення.

Фазифікація (введення нечіткості, fuzzification). Фазифікатор для точного значення вхідній чисельній змінній ставить у відповідність нечітку безліч:

$$A = \{x_i \mid \mu_A(x_i), \forall x_i \in E\},$$

де  $x_i$  – лінгвістична змінна, що визначена на безлічі  $E$ ;  $\mu_A(x_i)$  – функція приналежності.

Агрегування. Функції приналежності, визначені на вхідних змінних, застосовуються до їх фактичних значень для визначення функції приналежності передумов кожного правила:

$$\mu_{A_1}(x), \mu_{A_2}(x), \dots, \mu_{A_M}(x),$$

$$\mu_{B_1}(y), \mu_{B_2}(y), \dots, \mu_{B_M}(y),$$

де  $\mu_{A_i}, \mu_{B_i} (i = \overline{1, M})$  – функції приналежності для вхідної змінної  $x$  і вихідної змінної  $y$  відповідно;  $M$  – число продукційних правил.

Активізація. Обчислене значення функції приналежності для передумов кожного правила застосовується до висновків кожного правила. Це призводить до однієї нечіткої підмножини, яка буде призначена кожній вихідній змінній для кожного правила.

В якості правил нечіткого виводу використовуються операція  $\min$  (мінімум), коли функція приналежності «відсікається» по висоті відповідною обчисленою функцією приналежності передумови правила:

$$\mu_{B_i}(y) = \min_{i=1}^M \mu_{A_i}(x).$$

Акумуляція. Всі нечіткі підмножини, отримані для кожної вихідної змінної (у всіх правилах), об'єднуються разом, щоб сформувати одну нечітку підмножину для кожної вихідної змінної. При подібному об'єднанні використовується операція  $\max$  (максимум) або операція граничної суми. При об'єднанні з використанням операції максимуму комбінований висновок нечіткої підмножини обчислюється як максимум за всіма нечіткими підмножинами:

$$\mu_{\Sigma}(y) = \max_{i=1}^M \mu_{B_i}(y).$$

При об'єднанні з використанням операції граничної суми комбінований висновок нечіткої підмножини конструюється як сума за всіма нечіткими підмножинами:

$$\mu_{\Sigma}(y) = \sum_{i=1}^M \mu_{B_i}(y).$$

Дефазифікація (приведення до чіткості, defuzzification). Дана процедура використовується, коли необхідно перетворити нечітку множину вихідних змінних в чітке числове значення. Найчастіше для моделі Мамдані

використовують фазифікації центроїдним методом, коли чітке значення вихідної змінної визначається як центр ваги для нечіткої множини, тобто

$$y^* = \frac{\int_{\Omega} y \cdot \mu_{\Sigma}(y) dy}{\int_{\Omega} \mu_{\Sigma}(y) dy} .$$

Алгоритми нечіткого виведення (Цукамото, Ларсен, Сугено) розрізняються головним чином видом використовуваних правил, логічних операцій і різновидом методу дефазифікації. Але всі вони базуються на алгоритмі Мамдані, який виглядає наступним чином (рис. 1.5).

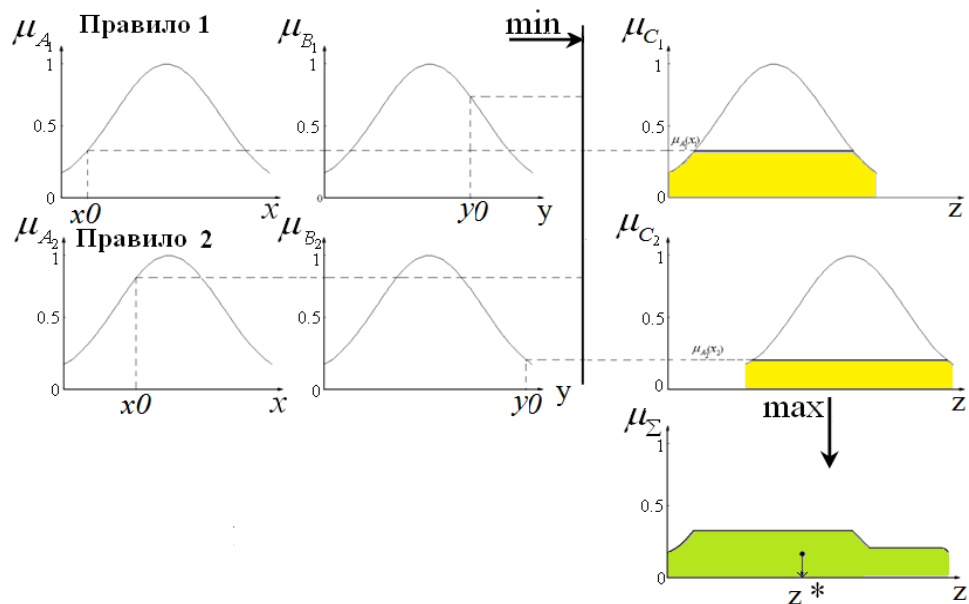


Рисунок 1.5 – Алгоритм нечіткого виводу

Передбачається, що вхідні змінні прийняли деякі конкретні (чіткі) значення –  $x_1, x_2$ , а число продукційних правил дорівнює 2. Згідно з наведеними етапами, на етапі агрегування для даних значень  $x_1, x_2$  знаходяться функції приналежності  $\mu_{A_1}(x_1)$ ,  $\mu_{A_2}(x_2)$ , для передумов кожного з 2-х правил (рис. 1.5). На етапі активізації відбувається «відсікання» функцій приналежності наслідків правил на рівні  $\min$  значень функцій приналежності передумов. На етапі акумуляції розглядаються усічені на другому етапі

функції приналежності  $\mu_B(y)$ , і проводиться їх об'єднання з використанням операції  $\max$ , в результаті чого виходить комбінована нечітка підмножина, що описується функцією приналежності  $\mu_{\Sigma}(y)$ , та що відповідає логічному виводу для вихідної змінної  $y$ .

На етапі дефазифікації, застосовується метод центру тяжіння і визначається чітке значення вихідної змінної  $y^*$ .

Особливості нечітких систем:

- можливість оперувати нечіткими вхідними даними: наприклад, значення, що безперервно змінюються в часі (динамічні задачі); значення, які неможливо задати однозначно (результати статистичних опитувань, рекламні компанії і т.д.);

- можливість нечіткої формалізації критеріїв оцінки і порівняння: оперування критеріями "більшість", "можливо", "переважно" і т.д.;

- можливість проведення якісних оцінок як вхідних даних, так і вихідних результатів: оперують не тільки значеннями даних, але і їх ступенем достовірності і її розподілом;

- можливість проведення швидкого моделювання складних динамічних систем і їх порівняльний аналіз із заданим ступенем точності: оперуючи принципами поведінки системи, описаними fuzzy-методами, по-перше, не витрачається багато часу на з'ясування точних значень змінних, по-друге, можна оцінити різні варіанти вихідних значень.

Аналіз літератури та існуючих алгоритмів показав, що експертні системи підтримки прийняття рішень, які базуються на нечіткому алгоритмі виводу, можуть стати у нагоді у будь-якій області.

Тому метою дипломної роботи є розробка експертної системи підтримки прийняття рішень при обранні мікроконтролерного пристрою в автоматних системах логічного управління з використанням методів і процедур нечіткої логіки.

## 1.5 Огляд існуючих систем підтримки прийняття рішень

У процесі еволюції обчислювальної техніки первинний аналіз даних було перекладено на комп'ютер. У результаті з'явився новий клас програмних систем, покликаних полегшити роботу людей, що виконують аналіз даних. Такі системи прийнято називати системами підтримки прийняття рішень. Під прийняттям рішення будемо розуміти акт вибору деякої альтернативи з визначеної їх множини.

Таким чином, СППР (англ. Decision Support System, DSS) – автоматизована система (програмний комплекс), що призначена для допомоги та підтримки різних видів діяльності людини при прийнятті рішень стосовно слабоструктурованих або неструктурованих проблем. Велика кількість завдань, якщо не більшість, є багатокритеріальними задачами (до числа яких відноситься вибір мікроконтролерного пристрою при проектуванні складних технічних систем), в яких доводиться враховувати велику кількість невизначених і суперечливих факторів.

До числа комп'ютерних систем підтримки прийняття рішення можуть бути віднесені експертні системи (ЕС), що дозволяють використовувати знання і досвід експертів-фахівців високої кваліфікації фахівцями менш високої кваліфікації для вирішення завдань, що виникають в їх практичній діяльності в області проектування систем логічного управління. Широке застосування СППР пояснюється тим, що людина не може моментально дати відповідь на будь-яке питання навіть в тій сфері, в якій вона є професіоналом. Даний факт є наслідком того, що досвід конкретної людини слабшає, вона повинен постійно практикуватися, щоб зберегти свій професійний рівень.

Процес передачі знань від однієї людини до іншої – важкий і дорогий процес. Висококваліфіковані експерти рідкісні, зарплата їх висока, а можливості обмежені в просторі і часі. Перевагою ЕС є їх точність і зручність в роботі [13, 14]. Розрахунки проводяться швидко, результати

стійкі і відтворювані. Вартість розробки (праця висококваліфікованих програмістів, експертів) врівноважується вартістю її освоєння і експлуатації.

Експертні системи також представлені в багатьох статтях. Так в [15] розроблена ЕС, що дозволяє оцінити рентабельність родовища, вибрати найбільш економічно вигідну технологію переробки природного газу. Стаття [16] присвячена побудові моделі ЕС, що допомагає з вибором мобільного телефону фірми Apple.

Аналіз існуючих систем СППР показав актуальність розробки таких систем на базі сучасних методів штучного інтелекту спільно з апаратом експертних систем.

При створенні СППР використовують експертні оцінки, нейронні мережі, нечітку логіку, методи оптимізації, регресійний аналіз, байєсівські моделі та методи і т.п.

Як відомо, прийняття рішень в проблемно-інформаційних системах і системах управління здійснюється в умовах невизначеності, обумовленої неточністю або неповнотою вихідних даних, стохастичною природою зовнішніх впливів, відсутністю адекватної математичної моделі, нечіткістю сформульованої мети, людським фактором та ін. [17]. Невизначеності в системах прийняття рішень компенсуються різними методами штучного інтелекту. Для ефективного прийняття рішень при невизначеності умов функціонування системи застосовують методи на основі правил нечіткої логіки [18].

Теорія нечітких множин має незаперечну перевагу над ймовірними підходами, яка полягає в тому, що системи підтримки прийняття рішень, побудовані на її основі, мають підвищену ступень обґрунтованості прийнятих рішень. Це пов'язано з тим, що в розрахунок потрапляють всі можливі сценарії розвитку подій, що невласиво імовірнісним методам, розрахованим на кінцеву (дискретне) безліч сценаріїв. Знання людини-експерта про рішення задач в умовах неповноти, нечіткості вихідної інформації також мають нечіткий характер. Для їх формалізації успішно



застосовується апарат теорії нечітких множин і нечіткої логіки. Нечіткі поняття в даному випадку формалізуються у вигляді нечітких і лінгвістичних змінних.

Основи нечіткої логіки для моделювання інтелектуальної діяльності людини закладені в роботах Л. Заде [19], де розширено класичне канторовське поняття множини, допустивши, що характеристична функція (функція приналежності елемента множини) може приймати будь-які значення в інтервалі  $[0; 1]$ , а не тільки значення 0 або 1. Такі множини були названі нечіткими (fuzzy). Було введено поняття лінгвістичної змінної (ЛЗ) і зазначено, що в якості її значень (термів) виступають нечіткі множини. Лінгвістична змінна відрізняється від числової змінної тим, що її значеннями не є числа, а слова або вирази на природній мові. ЛЗ характеризується шістькою  $\langle X, T(X), E, G, M \rangle$ , де  $X$  – назва ЛЗ;  $T(X) = \{\chi\}$  – множина назв (терм-множина змінної  $X$ );  $\chi$  – значення ЛЗ;  $E = \{e\}$  – універсальна множина;  $G$  – синтаксичне правило, що породжує назви  $\chi$  значень ЛЗ  $X$ ;  $M$  – семантичне правило, яке ставить у відповідність кожному значенню  $\chi$  ЛЗ  $X$  її значення  $M\{\chi\}$ , тобто нечітку множину, що обмежена на множині  $E$ .

Нечіткість дій в процесі прийняття рішення формалізується у вигляді нечітких алгоритмів. Існує кілька алгоритмів нечіткого виводу: Мамдані, Цукамото, Сугено і Ларсен [12]. Серед них найбільшу популярність має алгоритм Мамдані. Прозорість нечіткої моделі Мамдані є однією з головних переваг, завдяки якій нечіткі технології успішно конкурують з іншими методами.

Головним компонентом такої СППР є база знань [19]. В якості моделі представлення знань використані продукційні правила. База правил формується на основі експертних оцінок і статистичних даних.

В моделі Мамдані математично взаємозв'язок між входами  $X = (x_1, x_2, \dots, x_n)$  та виходом  $Y$  визначається нечіткою базою правил наступного формату:

$$\begin{array}{l}
\text{ЯКЩО} \quad \{x_1 = a_{1,j_1}\} I \{x_2 = a_{2,j_1}\} I \cdots I \{x_n = a_{n,j_1}\} \quad \text{АБО} \\
\quad \{x_1 = a_{1,j_2}\} I \{x_2 = a_{2,j_2}\} I \cdots I \{x_n = a_{n,j_2}\} \quad \text{АБО} \\
\quad \dots\dots\dots \text{АБО} \\
\quad \{x_1 = a_{1,j_{k_j}}\} I \{x_2 = a_{2,j_{k_j}}\} I \cdots I \{x_n = a_{n,j_{k_j}}\} \\
\text{ТО} \quad y = d_j, j = \overline{1, m},
\end{array} \quad (1.1)$$

де  $a_{1,jp}$  – лінгвістичний терм, котрим оцінюється змінна  $x_i$  в рядку з номером  $jp$  ( $p = \overline{1, k_j}$ );  $k_j$  – кількість рядків-кон’юнкцій, в яких вихід  $y$  оцінюється лінгвістичним термом  $d_j$ ;  $m$  – кількість термів, що використовуються для оцінки вихідної лінгвістичної змінної.

За допомогою операцій  $\cup$  (АБО) та  $\cap$  (І) нечітку базу правил можливо переписати в більш компактному вигляді:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} (\bigcap_{i=1}^n \{x_i = a_{i,ip}\}) \rightarrow y = d_j, j = \overline{1, m}. \quad (1.2)$$

Синтез продукційних правил складається з трьох етапів:

- складання списку параметрів (критеріїв оцінки), які повинні бути враховані: вони стануть лінгвістичними змінними в базі нечітких правил;
- складання переліку якісних оцінок, які приймаються до розгляду і визначають, коли вони є істинними, а коли помилковими: ці оцінки стануть лінгвістичними термами в базі правил;
- складання правил: вони повинні описувати вплив параметрів на результат.

Таким чином, синтез БЗ зводиться до формалізації словесних (вербальних) правил, підготовлених експертами на етапі словесного опису завдання, у форматі, зручному для читання (1.1), для подальшого аналізу [20].

## 1.6 Постановка задачі

Мета роботи – розробка експертної системи підтримки прийняття рішень при обранні мікроконтролерного пристрою в системах логічного управління з використанням методів і процедур нечіткої логіки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз вимог до технологічної платформи реалізації систем логічного управління;
- провести аналіз техніко–економічних характеристик сучасних мікроконтролерних систем;
- визначити критерії, які впливають на обрання типу мікроконтролерних пристроїв в системах логічного управління;
- розробити нечітку модель обрання мікроконтролерних пристроїв на основі продукційних правил;
- розробити структуру системи підтримки прийняття рішення на основі математичного процесора MATLAB.

## **2 БАЗА ЗНАНЬ У СИСТЕМІ ПІДТРИМКИ ПРИНЯТТЯ РІШЕНЬ**

### **2.1 Класифікація мікроконтролерних та мікропроцесорних пристроїв за техніко-економічними характеристиками**

У сучасному світі важко знайти область техніки, де не застосовувалися б мікропроцесори. Вони застосовуються при обчисленнях, виконують функції управління, використовуються при обробці звуку і зображення. Залежно від області застосування мікропроцесора змінюються вимоги до нього. Це накладає відбиток на внутрішню структуру мікропроцесора. В даний час визначилося три напрямки розвитку мікропроцесорів:

- універсальні мікропроцесори;
- спеціалізовані мікропроцесори;
- мікроконтролери.

Причому, у напрямку розвитку спеціалізованих мікропроцесорів, окремим рядком варто виділити сигнальні мікропроцесори.

У кожному з цих напрямків свій розвиток знайшли й архітектура фон Неймана і гарвардська архітектура.

Універсальні мікропроцесори - це такі МП, у системі команд яких закладено алгоритмічну універсальність. Останнє означає, що виконуваний машиною склад команд дозволяє одержати перетворення інформації відповідно до будь-якого заданого алгоритму. Універсальні МП використовуються для побудови обчислювальних машин. У них використовуються самі передові рішення щодо підвищення швидкодії, не приділяючи особливої уваги габаритам, вартості і споживаній енергії.

Спеціалізовані мікропроцесори призначені для вирішення визначеного класу задач, а іноді тільки для рішення однієї конкретної задачі. Їхніми істотними особливостями є: простота управління, компактність апаратурних засобів, низька вартість і мала потужність споживання.

Мікроконтролери призначені для управління різними електронними

пристроями. Типовий мікроконтролер поєднує на одному кристалі функції процесора і периферійних пристроїв, містить ОЗП і (або) ПЗП. По суті, це однокристальний комп'ютер, здатний виконувати відносно прості задачі. У мікроконтролерах, на відміну від універсальних мікропроцесорів, максимальна увага приділяється саме габаритам, вартості і споживаній енергії.

На даний час розробкою мікропроцесорної техніки займаються багато відомих фірм, такі як: Analog Devices, Atmel, Xilinx, Altera, Cirrus Logic, Marvell, NXP, Samsung, MediaTek, MStar, Qualcomm, Sony Ericsson, Texas Instruments, STM Electronics, nVidia і інші. До цього часу розроблено багато сотень різних типів мікропроцесорів і мікроконтролерів.

Визначимо основні поняття мікропроцесорної техніки.

Процесор - електронний пристрій (або комплекс пристроїв) обчислювальної системи, який за заданою програмою виконує арифметичні і логічні операції, керує обчислювальним процесом і координує роботу периферійних пристроїв системи.

Мікропроцесор - це процесор, що реалізований у вигляді однієї мікросхеми або комплекту з декількох спеціалізованих мікросхем з високим ступенем інтеграції (на противагу реалізації процесора у вигляді електричної схеми на елементній базі загального призначення або у виді програмної моделі).

Секційний МП - мікропроцесор, створений на основі декількох ідентичних мікропроцесорних секцій і інших мікропроцесорних інтегральних схем, які об'єднані спеціальними зв'язками або схемами. Число наявних мікропроцесорних секцій у складі секційного МП може змінюватися, завдяки чому може змінюватися його розрядність і функціональні можливості.

Однокристальний мікропроцесор (ОМП) - мікропроцесор, виконаний у вигляді однієї великої інтегральної схеми.

Мікропроцесорна ВІС - інтегральна мікросхема, що виконує функцію МП або його частини.

Мікропроцесорна секція - мікропроцесорна інтегральна мікросхема, що реалізує частину інтегральної мікросхеми (ІМС) і має засоби для об'єднання з однотипними або іншими ІМС для створення завершених (повних) МП або мікроконтролерів.

Мікропроцесорний комплект (МПК) або серія мікропроцесорних ВІС - сукупність мікропроцесорних і інших інтегральних мікросхем, сумісних за конструктивно-технологічним виконанням і призначених для загального застосування при побудові засобів обчислювальної техніки.

Мікропроцесорний пристрій (МПП) являє собою функціонально і конструктивно закінчений виріб, що складається з декількох мікросхем, до складу яких входить мікропроцесор. Він призначений для виконання визначеного набору функцій: одержання, обробки, передачі, перетворення інформації і управління.

Мікропроцесорна система - спеціалізована інформаційна або управляюча система, побудована на основі мікропроцесорних засобів, тобто набору мікропроцесорних схем.

Мікропроцесорна техніка (МПТ) включає технічні і програмні засоби, використовувані для побудови різних мікропроцесорних пристроїв і систем.

Контролер - спеціалізований пристрій, що забезпечує управління роботою визначеного зовнішнього об'єкта і з'єднання з інтерфейсом МПС.

Мікроконтролер - мікропроцесор з убудованою пам'яттю і деяким набором контролерів, у тому числі периферійних, реалізований у вигляді однієї мікросхеми.

Сигнальні процесори використовуються для вирішення задач, що традиційно вирішувала аналогова схемотехніка. До сигнальних процесорів пред'являються специфічні вимоги. Від них потрібні максимальна швидкодія, малі габарити, легке стикування з аналого-цифровими (ЦАП) і цифро-аналоговими (АЦП) перетворювачами, велика розрядність оброблюваних даних і невеликий набір математичних операцій, що обов'язково включає операцію множення-накопичення й апаратну організацію циклів. У цих

процесорів теж важливі такі параметри як вартість, габарити і споживана потужність, але тут доводиться миритися з великими значеннями цих характеристик порівняно з мікроконтролерами.

Основними характеристиками мікропроцесорів є:

- тактова частота - характеризує швидкодію процесора. Режим роботи процесора задається мікросхемою, яка називається генератором тактових імпульсів. На виконання процесором кожної операції приділяється визначена кількість тактів. Тактова частота вказує на кількість елементарних операцій, які виконує мікропроцесор за одну секунду. Тактова частота вимірюється в МГц;

- розрядність - це максимальна кількість розрядів двійкового числа, над яким одночасно може виконуватися машинна операція. Чим більша розрядність процесора, тим більше інформації він може обробляти в одиницю часу і тем вища, за інших рівних умов, продуктивність процесора;

- технологія виробництва;
- тип архітектури;
- система команд;
- види адресації;
- кількість джерел живлення.

Існує безліч різних класифікацій мікропроцесорів. Зупинимося на основних з них:

- за призначенням;
- за видом оброблюваних вхідних сигналів;
- за кількістю ВІС у мікропроцесорному комплекті;
- за структурною ознакою;
- за видом алгоритму роботи пристрою управління;
- за розрядністю оброблюваної інформації;
- за характером часової організації;
- за кількістю одночасно виконуваних програм;

- за технологією виготовлення;
- за організацією внутрішньої архітектури;
- за організацією структури МП-системи.

Класифікація мікропроцесорів за призначенням.

За призначенням розрізняють універсальні і спеціалізовані мікропроцесори.

Універсальні мікропроцесори можуть бути застосовані для вирішення широкого кола різноманітних задач. При цьому, їхня ефективна продуктивність слабо залежить від проблемної специфіки розв'язуваних задач.

Спеціалізовані МП призначені для вирішення визначеного класу задач, а іноді лише для вирішення однієї конкретної задачі. Їхніми істотними особливостями є простота управління, компактність апаратних засобів, низька вартість і мала потужність споживання.

Спеціалізовані МП мають орієнтацію на прискорене виконання визначених функцій, що дозволяє різко збільшити ефективну продуктивність при вирішенні тільки певних задач.

Серед спеціалізованих мікропроцесорів можна виділити:

- різні мікроконтролери, орієнтовані на виконання складних послідовностей логічних операцій;
- математичні МП, призначені для підвищення продуктивності при виконанні арифметичних операцій за рахунок, наприклад, матричних методів їхнього виконання;
- МП для обробки даних у різних сферах застосувань і т.п.

За допомогою спеціалізованих МП можна ефективно вирішувати нові складні задачі паралельної обробки даних.

Класифікація мікропроцесорів за видом оброблюваних вхідних сигналів. За видом оброблюваних вхідних сигналів розрізняють цифрові й аналогові мікропроцесори. Самі мікропроцесори - цифрові пристрої, однак вони можуть мати убудовані аналого-цифрові і цифро-аналогові



перетворювачі. Тому вхідні аналогові сигнали передаються в МП через перетворювач у цифровій формі, обробляються і після зворотного перетворення в аналогову форму надходять на вихід.

З архітектурної точки зору такі мікропроцесори являють собою аналогові функціональні перетворювачі сигналів і називаються аналоговими мікропроцесорами. Вони виконують функції будь-якої аналогової схеми (наприклад, виробляють генерацію коливань, модуляцію, зсув, фільтрацію, кодування і декодування сигналів у реальному масштабі часу і т.п., замінюючи складні схеми, що складаються з операційних підсилювачів, котушок індуктивності, конденсаторів і т.п.). При цьому, застосування аналогового мікропроцесора значно підвищує точність обробки аналогових сигналів і їхню відтворюваність, а також розширює функціональні можливості за рахунок програмного настроювання цифрової частини мікропроцесора на різні алгоритми обробки сигналів.

Звичайно, в складі однокристальних аналогових МП є кілька каналів аналого-цифрового і цифро-аналогового перетворення. В аналоговому мікропроцесорі розрядність оброблюваних даних досягає 24 біт і більш, велике значення приділяється збільшенню швидкості виконання арифметичних операцій.

Відмінною рисою аналогових мікропроцесорів є здатність до переробки великого обсягу числових даних, тобто до виконання операцій додавання і множення з великою швидкістю. Аналоговий сигнал, перетворений у цифрову форму, обробляється в реальному масштабі часу і передається на вихід звичайно в аналоговій формі через цифро-аналоговий перетворювач. При цьому, відповідно до теореми Котельникова, частота квантування аналогового сигналу має вдвічі перевищувати верхню частоту сигналу.

Порівняння цифрових мікропроцесорів здійснюється зіставленням часу виконання ними списків операцій. Порівняння ж аналогових мікропроцесорів здійснюється за кількістю еквівалентних ланок аналого-цифрових

рекурсивних фільтрів другого порядку. Продуктивність аналогового мікропроцесора визначається його здатністю швидко виконувати операції множення. Чим швидше здійснюється множення, тим більша кількість еквівалентних ланок фільтра в аналоговому перетворювачі, а отже, можна задавати і більш складний алгоритм перетворення цифрових сигналів у мікропроцесорі.

Одним з напрямків подальшого удосконалювання аналогових мікропроцесорів є підвищення їхньої універсальності і гнучкості. Тому, разом з підвищенням швидкості обробки великого обсягу цифрових даних, будуть розвиватися засоби забезпечення розвинутих обчислювальних процесів обробки цифрової інформації за рахунок реалізації апаратних блоків переривання програм і програмних переходів.

Класифікація мікропроцесорів за числом ВІС у мікропроцесорному комплекті. За числом ВІС у мікропроцесорному комплекті розрізняють мікропроцесори однокристальні, багатокристальні і багатокристальні секційні.

Процесори навіть найпростіших ЕОМ мають складну функціональну структуру, містять велику кількість електронних елементів і безліч розгалужених зв'язків. Змінювати структуру процесора необхідно так, щоб повна принципова схема або її частини мали кількість елементів і зв'язків, сумісних з можливостями ВІС. При цьому, мікропроцесори здобувають внутрішню магістральну архітектуру, тобто в них до єдиної внутрішньої інформаційної магістралі підключаються всі основні функціональні блоки (арифметико-логічний, робочих реєстрів, стека, переривань, інтерфейсу, управління і синхронізації та ін.).

Для обґрунтування класифікації мікропроцесорів по числу ВІС треба розподілити всі апаратні блоки процесора між основними трьома функціональними частинами:

- управляюча;
- операційна;

– інтерфейсна.

Складність операційної і управляючої частин процесора визначається їхньою розрядністю, системою команд і вимогами до системи переривань.

Складність інтерфейсної частини визначається розрядністю і можливостями підключення інших пристроїв МПС (пам'яті, зовнішніх пристроїв, датчиків, виконавчих механізмів та ін.).

Однокристальні мікропроцесори одержують при реалізації всіх апаратних засобів процесора у вигляді однієї ВІС або НВІС (надвеликої інтегральної схеми). В міру збільшення ступеня інтеграції елементів у кристалі і числа виводів корпусу параметри однокристальних мікропроцесорів поліпшуються. Однак, можливості однокристальних мікропроцесорів обмежені апаратними ресурсами кристала і корпусу.

Для одержання багатокристального мікропроцесора необхідно провести розбиття його логічної структури на функціонально закінчені частини і реалізувати їх у вигляді ВІС (НВІС). Функціональна закінченість ВІС багатокристального мікропроцесора означає, що його частини виконують заздалегідь визначені функції і можуть працювати автономно.

Функціональне розбиття структури процесора при створенні трикристального мікропроцесора (пунктирні лінії), що містить ВІС управляючого (УП), ВІС операційного (ОП) і ВІС інтерфейсного (ІП) процесорів.

Операційний процесор служить для обробки даних, управляючий процесор виконує функції вибірки, декодування й обчислення адрес операндів, а також генерує послідовності мікрокоманд.

Автономність роботи і велика швидкодія ВІС УП дозволяє вибирати команди з пам'яті з більшою швидкістю, ніж швидкість їхнього виконання ВІС ОП. При цьому, в УП утворюється черга ще не виконаних команд, а також заздалегідь підготовляються ті дані, що будуть потрібні ОП у наступних циклах роботи. Така випереджальна вибірка команд заощаджує час ОП на чекання операндів, необхідних для виконання команд програм.

Інтерфейсний процесор дозволяє підключити пам'ять і периферійні засоби до мікропроцесора. ІІ, власне кажучи, є складним контролером для пристроїв вводу/виводу інформації. ВІС ІІ виконує також функції каналу прямого доступу до пам'яті.

Вибрані з пам'яті команди розпізнаються і виконуються кожною частиною мікропроцесора автономно. Отже, може бути забезпечений режим одночасної роботи всіх ВІС МП, тобто конвеєрний потоковий режим виконання послідовності команд програми (виконання послідовності з невеликим часовим зсувом). Такий режим роботи значно підвищує продуктивність мікропроцесора.

Багатокристальні секційні мікропроцесори виходять у тому випадку, коли у вигляді ВІС реалізуються частини (секції) логічної структури процесора при функціональному розбитті її вертикальними площинами. Для побудови багаторозрядних мікропроцесорів, при паралельному включенні секцій ВІС, до них додаються засоби стикування.

Для створення високопродуктивних багаторозрядних мікропроцесорів потрібно настільки багато апаратних засобів, не реалізованих у доступних ВІС, що може виникнути необхідність ще й у функціональному розбитті структури мікропроцесора горизонтальними площинами. У результаті розглянутого функціонального поділу структури мікропроцесора на функціонально і конструктивно закінчені частини створюються умови реалізації кожної з них у вигляді ВІС. Усі вони утворюють комплект секційних ВІС МП.

Таким чином, мікропроцесорна секція – це ВІС, призначена для обробки декількох розрядів даних або виконання визначених управляючих операцій. Секційність ВІС МП визначає можливість нарощування розрядності оброблюваних даних або ускладнення пристроїв управління мікропроцесора при паралельному включенні великої кількості ВІС.

Використання багатокристальних мікропроцесорних високошвидкісних ВІС, що мають функціональну закінченість при малій фізичній

розрядності оброблюваних даних і вмонтованих у корпус з великою кількістю виводів, дозволяє організувати розгалуження зв'язків у процесорі, а також здійснити конвеєрні принципи обробки інформації для підвищення його продуктивності.

Класифікація мікропроцесорів за структурною ознакою. За структурною ознакою розрізняють МП із фіксованою розрядністю і МП із нарощуваною розрядністю (секційні МП).

МП із фіксованою розрядністю мають строго визначену розрядність оброблюваних слів, величина якої визначається розрядністю МП. МП із нарощуваною розрядністю дозволяють на їхній основі секціями збільшувати кількість розрядів МПС до необхідної величини, що, як правило, використовується при побудові міні-ЕОМ і великих ЕОМ обчислювального типу.

Класифікація мікропроцесорів за видом алгоритму роботи пристрою управління. За видом алгоритму роботи пристрою управління МП підрозділяють на два види:

- МП із твердим алгоритмом управління, реалізованим схемно (МП із фіксованим набором команд);
- МП з алгоритмом управління, реалізованим програмним шляхом у вигляді послідовності мікрооперацій (МП із мікропрограмним управлінням).

Тут система команд визначена не жорстко, а залежить від мікропрограми, записаної в пам'яті, яка входить до складу пристрою управління. Використання мікропрограмного управління дає можливість одержати необхідний набір команд, наприклад, для відтворення (емуляції) набору команд іншого МП.

Класифікація мікропроцесорів за розрядністю оброблюваної інформації. За розрядністю оброблюваної інформації МП можуть бути 4, 8, 12, 16, 24, 32 і 64-розрядними.

Класифікація мікропроцесорів за характером часової організації. За характером часової організації роботи мікропроцесори розділяють на

синхронні й асинхронні.

Синхронні мікропроцесори - мікропроцесори, у яких початок і кінець виконання операцій задаються пристроєм управління (час виконання операцій у цьому випадку не залежить від виду виконуваних команд і величин операндів).

Асинхронні мікропроцесори дозволяють початок виконання кожної наступної операції визначити за сигналом фактичного закінчення виконання попередньої операції. Для більш ефективного використання кожного пристрою мікропроцесорної системи до складу асинхронно працюючих пристроїв вводять електронні ланцюги, які забезпечують автономне функціонування пристроїв. Закінчивши роботу над якою-небудь операцією, пристрій виробляє сигнал запиту, що означає його готовність до виконання наступної операції.

Класифікація мікропроцесорів за кількістю одночасно виконуваних програм. За кількістю одночасно виконуваних програм розрізняють одно- і багатопрограмні МП.

В однопрограмних МП на поточний момент часу виконується тільки одна програма. Перехід до виконання іншої програми відбувається або по завершенню цієї програми, або по спеціальній команді умовного або безумовного переходу, або за перериванням.

У багатопрограмних МП одночасно може виконуватися кілька програм, тобто забезпечується мультипрограмний режим роботи системи.

Класифікація мікропроцесорів за видом технології виготовлення. За видом технології виготовлення ВІС МП розробляються і випускаються:

- за уніполярною технологією – р-канальні (р-МОП), n- канальні (n-МОП) і комплементарні (КМОП) ВІС;
- за біполярною технологією – ВІС на базі транзисторно-транзисторної логіки (ТТЛ), у тому числі і з діодами Шоттки (ТТЛШ);
- за емітерно-зв'язаною логікою (ЕЗЛ);
- за інтегральною інжекційною логікою (ІЗЛ).

Вид технології виготовлення ВІС багато в чому визначає ступінь інтеграції мікросхем, швидкодію, енергоспоживання, заводо захищеність і вартість МП. З комплексу цих ознак можна віддати перевагу МП, виконаним за n-МОП і КМОП технологіями, які забезпечують високу щільність компонування, високу швидкодію і відносно малу вартість. ЕЗЛ і ТТЛШ технології забезпечують МП найвищу швидкодію, але мікропроцесорні ВІС при цьому відрізняються найнижчою щільністю компонування і високим енергоспоживанням. МП на основі І<sup>2</sup>Л технології мають усереднені характеристики. За щільністю компонування вони поступаються n-МОП, за швидкістю - ЕЗЛ і ТТЛШ, а за вартістю - n-МОП і р-МОП МП. Разом з тим, р-МОП технологія забезпечує МП найбільш низьку вартість, але його швидкодія при цьому є також найбільш низькою.

У процесі розвитку мікропроцесорних засобів крім мікропроцесорних ВІС були розроблені різні інтегральні мікросхеми, які виконують різні функції і дозволяють, у сукупності, побудувати мікропроцесорну систему необхідної структури. Ці мікросхеми, разом із МП утворюють мікропроцесорний комплект (МПК), що може бути визначений як сукупність конструктивно і електрично сумісних інтегральних схем, призначених для побудови обчислювальних пристроїв з визначеним складом і необхідними технічними характеристиками.

Основу будь-якого МПК утворює базовий комплект інтегральних мікросхем, який призначений для побудови МПС і може складатися з ВІС однокристалного або з декількох корпусів багатокристалного МП. Базовий комплект, як правило, доповнюється іншими типами інтегральних схем, на яких реалізуються запам'ятовуючі пристрої, пристрої сполучення з об'єктом і різні пристрої вводу/виводу. Ці мікросхеми в загальному випадку можуть мати інший номер серії або навіть інший тип корпусу.

Мінімальний набір ВІС зі складу МПК, що дозволяють побудувати конкретний тип обчислювального пристрою, називається мікропроцесорним набором інтегральних схем.

Класифікація мікропроцесорів за організацією внутрішньої архітектури. Архітектуру мікропроцесора визначають його складові частини, а також зв'язки і взаємодія між ними. Архітектура містить:

- структурну схему самого МП;
- програмну модель МП (опис функцій регістрів);
- інформацію з організації пам'яті (обсяг пам'яті і способи її адресації);
- опис організації процедур вводу/виводу.

Особливістю архітектури фон Неймана (Von Neumann architecture) є те, що програма і дані зберігаються в загальній пам'яті, доступ до якої здійснюється по одній шині команд і даних.

Основна перевага архітектури фон Неймана – спрощення пристрою МПС, тому що реалізується звертання тільки до однієї загальної пам'яті. Крім того, використання єдиної області пам'яті дозволяло оперативно перерозподіляти ресурси між областями програм і даних, що істотно підвищувало гнучкість МПС із погляду розроблювача програмного забезпечення. Розміщення стека в загальній пам'яті полегшувало доступ до його вмісту. Саме тому архітектура фон Неймана стала основною архітектурою універсальних комп'ютерів, включаючи персональні комп'ютери.

Особливістю гарвардської архітектури є те, що пам'ять даних і програм розділені і мають окремі шини даних і шини команд, що дозволяє підвищити швидкодію МП.

Гарвардська архітектура почала інтенсивно використовуватися тільки наприкінці 1970-х років, коли почалося інтенсивне застосування цифрових сигнальних процесорів. Причиною появи інтересу до гарвардської архітектури було те, що в цифрових сигнальних процесорах необхідний обсяг пам'яті даних МП, використовуваної для збереження проміжних результатів, як правило, на порядок менше необхідного обсягу пам'яті програм.



Переваги гарвардської архітектури наступні:

- застосування невеликої за обсягом пам'яті даних сприяє прискоренню пошуку інформації в пам'яті і збільшує швидкодію МП;
- гарвардська архітектура дозволяє організувати паралельне виконання програм - вибірка наступної команди може відбуватися одночасно з виконанням попередньої, у результаті чого скорочується час вибірки команди.

Недоліком гарвардської архітектури є ускладнення архітектури МП і необхідність генерації додаткових сигналів управління для пам'яті команд і пам'яті даних.

Класифікація мікропроцесорів за системами команд.

З погляду системи команд і способів адресації операндів процесорне ядро сучасних МП реалізує один із двох принципів побудови процесорів:

- процесори з CISC-архітектурою, які реалізують так названу повну систему команд (Complicated Instruction Set Computer);
- процесори з RISC-архітектурою, які реалізують скорочену систему команд (Reduced Instruction Set Computer).

CISC-процесори виконують великий набір команд із розвинутими можливостями адресації, даючи можливість розроблювачеві вибрати найбільш підходящу команду для виконання необхідної операції. У застосуванні до 8-розрядних МК, процесор з CISC- архітектурою може мати однобайтовий, двобайтовий і трибайтовий (рідко чотирибайтовий) формат команд. При цьому, система команд, як правило, неортогональна, тобто не всі команди можуть використовувати кожен зі способів адресації стосовно до кожного з регістрів процесора. Вибірка команди на виконання здійснюється побайтно протягом декількох циклів роботи МК.

У процесорах з RISC-архітектурою набір команд, що виконуються, скорочений до мінімуму. Для реалізації більш складних операцій доводиться комбінувати команди. При цьому, усі команди мають формат фіксованої довжини (наприклад, 12, 14 або 16 біт), вибірка команди з пам'яті і її

виконання здійснюється за один цикл (такт) синхронізації. Система команд RISC-процесора припускає можливість рівноправного використання всіх регістрів процесора. Це забезпечує додаткову гнучкість при виконанні ряду операцій. До МП із RSC-архітектурою належать МП AVR фірми Atmel, PIC фірми Microchip і інші.

На перший погляд, МК із R/SC-процесором повинні мати більш високу продуктивність порівняно з CISC МК при одній і тій же тактовій частоті внутрішньої магістралі. Однак на практиці питання про продуктивність більш складне і неоднозначне.

По-перше, оцінка продуктивності МК за часом виконання команд різних систем (RISC і CISC) не зовсім коректна. Звичайно продуктивність МП і МК прийнято оцінювати кількістю операцій пересилання "регістр-регістр", які можуть бути виконані протягом однієї секунди. У МК із CISC-процесором час виконання операції "регістр-регістр" складає від 1 до 3 циклів, що, здавалося б, уступає продуктивності МК із RISC-процесором.

Однак, прагнення до скорочення формату команд при збереженні ортогональності системи команд RISC-процесора призводить до змушеного обмеження числа доступних в одній команді регістрів. Так, наприклад, системою команд МК PIC16 передбачена можливість пересилання результату операції тільки в один із двох регістрів - регістр-джерело операнда  $f$  або робочий регістр  $W$ .

Отже, операція пересилання вмісту одного з доступних регістрів в інший (не джерело операнда і не робочий) зажадає використання двох команд. Така необхідність часто виникає при пересиланні вмісту одного з регістрів загального призначення (РЗП) в один з портів МК. У той же час, у системі команд більшості CISC- процесорів присутні команди пересилання вмісту РЗП в один з портів вводу/виводу. Тобто, більш складна система команд іноді дозволяє реалізувати більш ефективний спосіб виконання операції.

По-друге, оцінка продуктивності МК за швидкістю пересилання

"регiстр-регiстр" не враховує особливостей конкретного реалізованого алгоритму управління. Так, при розробці швидкодіючих пристроїв автоматизованого управління основну увагу варто приділяти часу виконання операцій множення і розподілу при реалізації рівнянь різних передатних функцій. А при реалізації пульта дистанційного управління побутовою технікою варто оцінювати час виконання логічних функцій, які використовуються при опитуванні клавіатури і генерації послідовної кодової посліжки управління. Тому, у критичних ситуаціях, що вимагають високої швидкодії, варто оцінювати продуктивність на безлічі тих операцій, які переважно використовуються в алгоритмі управління і мають обмеження за часом виконання.

По-третє, необхідно ще враховувати те, що зазначені в довідкових даних частоти синхронізації на МК звичайно відповідають частоті кварцового резонатора, що підключається, у той час як тривалість циклу центрального процесора визначається частотою обміну по зовнішній магістралі. Співвідношення цих частот індивідуально для кожного МК і має бути прийняте до уваги при порівнянні продуктивності різних моделей контролерів.

MISC процесори (Minimum Instruction Set Computer) - обчислення з мінімальним набором команд. Принцип простоти, споконвічний для RISC-процесорів, занадто швидко відійшов на задній план. У запалі боротьби за максимальну швидкодію RISC наздогнав і перегнав багатьох CISC процесорів за складністю. Архітектура MISC будується на стековій обчислювальній моделі з обмеженою кількістю команд (приблизно 20-30 команд).

Класифікація мікропроцесорів за організацією структури МП-систем. За організацією структури розрізняють одно- і багатомагістральні мікропроцесорні системи.

В одномагістральних МПС усі пристрої мають однаковий інтерфейс і підключені до єдиної інформаційної магістралі, по якій передаються коди

даних, адрес і сигнали управління.

У багатоманістральних МПС усі пристрої підключаються до декількох маністралей різного функціонального призначення, наприклад, шина адреси (ША), шина даних (ШД) і шина управління (ШУ) і деякі інші. Це дозволяє здійснити одночасну передачу інформаційних сигналів по декількох (або усіх) маністралям. Така організація систем ускладнює їхню конструкцію, однак збільшує продуктивність.

## **2.2 Огляд характеристик сімейств мікроконтролерів**

### **2.2 1 Мікроконтролери сімейства ESP**

Повсюдне поширення і широка доступність Wi-Fi мереж роблять цікавим для розробника можливість реалізації у своїх проектах функції безпроводного доступу як в локальну, так і глобальну мережу. Наявність на ринку великого числа недорогих рішень, що дозволяють інтегрувати Wi-Fi, робить концепцію IoT (Internet of thing, Інтернету речей) такою, що легко реалізовується навіть для початківців. Одним з "проривів" останніх років в області безпроводних рішень стала поява мікроконтролера HYPERLINK ESP8266EX від компанії Espressif Systems. Недорогий чіп з мінімумом зовнішніх компонентів дозволяє отримати повноцінне Wi-Fi рішення і має наступні характеристики: - підтримка Wi-Fi протоколів 802.11 b/g/n з WEP, WPA, WPA2; - підтримка режимів роботи : клієнт (STA), точка доступу (AP), клієнт+точка доступу (STA+AP); - напруга живлення 1.7.3.6 В; - споживаний струм: до 300 мА залежно від режиму роботи [21].

Модуль Wi-Fi ESP-12 розроблений командою Ai-thinker. Основний процесор ESP8266 в менших розмірах модуля інкапсулює Tensilica L106 об'єднує провідний у промисловості 32-розрядний мікроконтролер з наднизьким енергоспоживанням, з 16-бітовим коротким режимом, підтримкою швидкості тактової частоти 80 МГц, 160 МГц, підтримує RTOS, вбудований Wi-Fi MAC / BB / RF / PA / LNA, бортова антена. Модуль

підтримує стандартну угоду IEEE802.11 b / g / n, повний пакет протоколів TCP/IP. Користувачі можуть використовувати модулі додавання існуючої мережі пристроїв або створювати окремий контролер мережі. ESP8266 - це високотехнологічні бездротові SoC, призначені для дизайнерів мобільних платформ, що мають обмежений простір та потужність.

ESP8266 пропонує повне і автономне Wi-Fi мережеве рішення; він може бути використаний для розміщення програми або для зняття функцій мережі Wi-Fi з іншого процесора програми. Коли ESP8266EX розміщує пристрій, він завантажується безпосередньо з зовнішнього включення. Він має інтегрований кеш для підвищення продуктивності системи в таких програмах. З іншого боку, виступаючи в якості адаптера Wi-Fi, бездротовий доступ в Інтернет можна додати до будь-якого дизайну на основі мікроконтролера з простим підключенням (інтерфейс SPI / SDIO або I2C / UART).

## **2.2 2 Мікроконтролери AVR ATmega**

Мікроконтролери сімейства AVR (Advanced Virtual RISC) - один з найцікавіших напрямків, що розвиваються компанією Atmel (США). Вони являють собою потужний інструмент для створення сучасних високопродуктивних і економічних багатоцільових мікроконтролерів. На даний час співвідношення "ціна - продуктивність - енергоспоживання" для AVR є одним із кращих на світовому ринку 8-розрядних мікроконтролерів. Великою перевагою є також і те, що збільшується кількість сторонніх фірм, котрі розробляють і випускають різноманітні програмні й апаратні засоби підтримки розробок для них. Можна вважати, що AVR стає ще одним індустріальним стандартом серед 8-розрядних мікроконтролерів загального призначення [22].

Мікроконтролери AVR сімейства ATmega (megaAVR) оснащені пам'яттю програм і даних великого обсягу при швидкодії до 20 млн операцій

в секунду, а тому ідеально підходять для додатків зі значною кількістю коду. Всі пристрої megaAVR підтримують самопрограмування, що дозволяє виконувати внутрішньо схемне оновлення швидко, безпечно і без зайвих витрат. А флеш-пам'ять можна оновлювати без зупинки системи. Сімейство мікроконтролерів megaAVR засноване на сучасній і технології, що вже зарекомендувала себе. У нього входить найширший перелік пристроїв з різними обсягами пам'яті, кількістю висновків і набором периферії. Це як моделі загального призначення, так і моделі зі спеціалізованими периферійними пристроями та інтерфейсами, наприклад інтерфейсом USB або контролерами РК-дисплея, мереж CAN і LIN або підсилювачів потужності.

МК AVR мають розвинену периферію:

- До 86 багатофункціональних, двонапрямлених GPIO ліній введення-виведення, об'єднаних в 8-бітові порти введення-виведення. Залежно від конфігурації регістрів, що програмно задається, можуть незалежно один від одного працювати в режимі «сильного» драйвера, що видає або приймає (на «землю») струм до 40 мА, що досить для підключення світлодіодних індикаторів.
- До 3 зовнішніх джерел переривань (по фронту, зрізу або рівню) і до 32 зі зміни рівня на вході.
- Внутрішня флеш-пам'ять команд до 256 Кб (не менше 10 000 циклів перезапису).
- Налаштування програм здійснюється за допомогою інтерфейсів JTAG або debugWIRE. Сигнали JTAG (TMS, TDI, TDO, і TCK) мультиплексовані на порт вводу-виводу.
- Внутрішня пам'ять даних EEPROM до 4 КБ (ATmega / ATxmega) / 512 байт (ATtiny) (до 100 000 циклів перезапису).
- Внутрішня пам'ять SRAM до 32 Кб (ATxmega) / 16 Кб (ATmega).
- Зовнішня пам'ять об'ємом до 64 КБ.
- Таймери с розрядністю 8, 16 біт.

- ШІМ-модулятор (PWM) 8-, 9-, 10-, 16-бітний.
- Аналогові компаратори.

Мають дуже високу популярність при наявності налагоджувальних плат різних розмірів. Також мають стартові набори з великою кількістю периферії для розробників-початківців, демонстраційних проектів або проектів з проведенням вимірів, не враховуючи їх похибку і точність.

### **2.2.3 Мікроконтролер ATtiny2313**

Мікроконтролери ATtiny (tinyAVR) оптимізовані для систем, в яких потрібна висока продуктивність, ефективне використання енергії, простота застосування і компактність. Всі МК tinyAVR мають загальну архітектуру і сумісні з іншими пристроями AVR. Оскільки в ці мікроконтролери вбудовані АЦП, пам'ять EEPROM і детектор зниження напруги харчування, для проектування систем не потрібні додаткові зовнішні компоненти. Мікроконтролери tinyAVR мають флеш-пам'ять і вбудовані інструменти налагодження, що прискорює і робить безпечним внутрішньо схемне оновлення програмного забезпечення, знижує вартість цього процесу і веде до скорочення часу виведення готового виробу на ринок. Мікроконтролери tinyAVR унікальним чином поєднують в собі мініатюрність, обчислювальну потужність, високу продуктивність аналогової частини і інтеграцію на системному рівні. Це найкомпактніші повнофункціональні пристрої в сімействі AVR - і тільки вони можуть працювати з напругою живлення всього 0,7 В, що є їх головною перевагою [22].

ATtiny2313 - 8-розрядний мікроконтролер CMOS з низьким рівнем потужності, що базується на покращеній архітектурі RISC AVR. Виконуючи команди в одному тактовому циклі, ATtiny2313A/4313 досягає пропускну здатності, що наближається до 1 MIPS на МГц, що дозволяє конструктору системи оптимізувати споживання енергії та швидкість обробки.

Ядро AVR поєднує в собі багатий набір інструкцій із 32 загальними робочими регістрами. Всі 32 регістри безпосередньо підключені до блоку арифметичної логіки, що дозволяє отримати доступ до двох незалежних регістрів за допомогою однієї окремої інструкції, виконаної за один такт. Отримана архітектура більш ефективна для коду при досягненні пропускну здатності в десять разів швидше, ніж звичайні мікроконтролери CISC.

ATtiny2313A/4313 надає наступні можливості: 2/4 Кбайтів вбудованої флеш-пам'яті, 128/256 байт EEPROM, 128/256 байт SRAM, 18 ліній введення/виводу загального призначення, 32 робочих регістра загального призначення, однопровідний інтерфейс для налагодження On-chip, два гнучких таймера лічильники з режимами порівняння, внутрішні та зовнішні переривання, серійний програмований USART, універсальний послідовний інтерфейс з детектором запуску стану, програмований Watchdog-таймер з внутрішнім генератором та три режими економії енергії. Режим очікування зупиняє процесор, дозволяючи SRAM, таймеру/лічильнику та системі переривань продовжувати функціонувати. Режим живлення в режимі "вниз" зберігає вміст реєстру, але затухає осцилятор, відключаючи всі інші функції чіпа до наступного переривання або скидання апаратного обладнання. У режимі очікування осцилятор кристала/резонатора працює, поки інші пристрійі сплять. Це дозволяє дуже швидкий запуск у поєднанні з низьким енергоспоживанням.

#### **2.2.4 Мікроконтролери MCS 51**

У теперішній час сімейство мікроконтролерів MCS-51 складається з десяти підродин, що мають однакову базову структуру і загальну систему команд [23]. До складу мікроконтролера входять процесор (CPU), внутрішній постійний пристрій, що запам'ятовує (IROM), внутрішній оперативний пристрій, що запам'ятовує (IRAM), набір периферійних пристроїв. До мікроконтролера можна підключити зовнішню постійну пам'ять (EROM),



зовнішню оперативну пам'ять (ERAM) і зовнішні периферійні пристрої.

Периферійні пристрої призначені для прийому і видачі даних в паралельному і послідовному коді, прийому і видачі подій, введення і виведення аналогових сигналів, контролю правильності роботи мікроконтролера і обслуговування запитів переривання. Підродини розрізняються місткістю внутрішніх устроїв, що запам'ятовують, набором розташованих на кристалі периферійних пристроїв, швидкодією і іншими характеристиками. Це відкриває великі можливості при розробці систем, що містять вбудовані мікроконтролери. Мікроконтролери одного типу випускаються в трьох виконаннях: без внутрішнього ПЗП (ROM less), з внутрішнім ПЗП масочного типу (maskROM) і з внутрішнім програмованим ПЗП з ультрафіолетовим стиранням (EPROM). Мікроконтролери під родин 51 і 52 виготовляються по високоякісній n-МОП (NMOS) технології, а інших під родин - за КМОП (CMOS) технологією комплементу.

### **2.2.5 Мікроконтролери STM8**

На даний момент сімейство STM8 включає більше 140 моделей мікроконтролерів, які об'єднані в чотири під родини :

- STM8S - мікроконтролери загального призначення;
- STM8L - маложивлячі мікроконтролери загального призначення;
- STM8AF - мікроконтролери для автомобільних додатків;
- STM8AL - маложивлячі мікроконтролери для автомобільних додатків.

Мікроконтролери STM8 побудовані за гарвардської архітектури з 8-бітовим процесорним ядром і 32-бітною шиною програм, яка дозволяє виконувати більшість інструкцій за 1 такт. Всього підтримується 80 інструкцій, велика частина яких має розмір 2 байти [24].

Процесорний ядро STM8 має цілий ряд особливостей, що дозволяють досягати досить високої продуктивності, а саме:

- триступеневий конвеєр;
- підтримку не тільки звичайних операцій (додавань, віднімання, зсув тощо), але і операції множення (8 x 8 біт) і ділення (16/8 біт і 16/16 біт);
- 24-бітний лічильник команд, який забезпечує доступ до адресного простору 16 Мбайт;
- 16-бітний покажчик стека, який забезпечує прямий доступ до стека розміром до 16 кбайт.

Мікроконтролери STM8 дозволяють працювати з широким діапазоном напруг живлення 1,65 ... 5,5 В, в той час як мікроконтролери STM32 вимагають напруги 1,62 ... 3,6 В. Це дає цілий ряд переваг:

Цю лінійку за багатьма параметрами можна порівняти з 8-бітними мікроконтролерами компаній ATMEL і Microchip, і цілком може їх замінити. Але до того ж вона має ряд унікальних переваг, які відрізняють її від інших рішень:

1. Підвищена надійність. Це - найбільш відчутна відмінність сімейства мікроконтролерів STM8. Досить порівняти технічні керівництва різних виробників, щоб переконатися в цьому: наприклад, в керівництві по мікроконтролерам STM8 є розділ, присвячений EMC- і ESD-характеристикам мікроконтролера. В описі інших мікроконтролерів такий розділ часто просто відсутній.

2). Гнучкість роботи. Інша чудова особливість сімейства STM8 - гнучкість у багатьох робочих ситуаціях. Наприклад, вищезгадані регістри конфігурації запуску мікроконтролера часто програмуються за допомогою пам'яті OTP. Це означає, що після їх програмування режим роботи мікроконтролера можна більше міняти. Але в разі мікроконтролерів STM8 цей регістр програмується у флеш-пам'яті і його вміст змінюється. Доступ до пам'яті захищений так само, як в конкурентних рішеннях. Але ще одна важлива відмінність STM8 - єдиний адресний простір пам'яті для ОЗУ і для флеш-пам'яті розміром до 16 МБ. Це збільшує гнучкість роботи в порівнянні з конкурентними рішеннями, особливо в разі застосувань, де програмний код

великий (128 кБ). У STM8 також є два високоточних вбудованих тактових генератора частоти.

3. Стабільність параметрів. Мікроконтролери STM8 відрізняються від конкурентних рішень також і своєю стабільністю: їх характеристики мало змінюються при зміні напруги живлення або робочої температури. Це пов'язано з тим, що ядро і периферія мікроконтролера працюють на напрузі 1,8 В (завдяки новій технології 130 нм). Наприклад, швидкість перетворення АЦП для STM8S гарантовано становить 2,3 мкс і не погіршується при коливаннях температури і напруги. Точність частоти тактування вбудованого високочастотного генератора, яка калібрується на заводі до  $\pm 2\%$  (при 5 В / 16 МГц - до  $\pm 1\%$  при додатковому програмному калібруванні користувача), має розкид  $\pm 5\%$  для температурного діапазону  $-40 \dots 150 \text{ }^\circ\text{C}$  і напрузі 3 ... 5,5 В.

4. Розширені параметри. Мікроконтролери STM8 мають по багатьом параметрам розширені характеристики. Наприклад, EEPROM пам'ять можна програмувати і мати до 300К циклів замість звичайних 100к. Також вбудована пам'ять ОЗУ досягає розміру 6 кБ. Діапазон робочої температури теж розширено до  $125^\circ\text{C}$  для тих індустріальних застосувань, де це потрібно. Точність і швидкість АЦП збільшені: у STM8S, 10-бітний АЦП працює зі швидкістю 2,3 мкс, а у STM8L, 12-бітний, 24-канальний АЦП працює зі швидкістю 1 мкс.

5. Співвідношення ціна / функціональність: STMicroelectronics - не просто світовий лідер в області мікроконтролерів, це і лідер по КМОП-технологій з вбудованою флеш-пам'яттю, на основі яких проводиться більшість мікроконтролерів. Лінійка STM8 проводиться на сучасній КМОП технології 130 нм з вбудованою флеш-пам'яттю, на відміну від багатьох конкурентів, які використовують більш старі технології. Це дозволило знизити собівартість мікроконтролера, і в підсумку, представити більш дешеві рішення з поліпшеною функціональністю.

6. Продуктивність: ядро STM8 є власною розробкою STMicroelectronics і відрізняється високою продуктивністю (вище або дорівнює значенням конкурентів). У STM8S продуктивність складає 20 MIPS при 24 МГц, а у STM8L - 16 MIPS при 16 МГц. Така висока продуктивність пов'язана з тим, що більшість інструкцій мікроконтролера виконуються в одному циклі тактування. Ядро STM8 також включає в себе апаратні операції множення і ділення, і арифметичні операції зі знаком.

7. Доступне середовище: для початку роботи з мікроконтролерами STM8 можна купити оцінний набір STM8S-Discovery менш, ніж за 15 доларів, і завантажити безкоштовну середу розробки STVD і STVP і безкоштовний C-компілятор (до 32 кбайт коду). Даний набір програмно-апаратних засобів дозволить досить просто і швидко почати роботу з STM8S. До того ж варто зауважити, що STMicroelectronics надає багато бібліотек для мікроконтролерів STM8 безкоштовно, наприклад, бібліотеки сенсорних клавіатур, бібліотеку для роботи з периферією мікроконтролера, для управління двигунами.

8. Перспективна платформа: STMicroelectronics активно розвиває і підтримує лінійку STM8, і номенклатура мікроконтролерів постійно оновлюється і росте. Наприклад, найближчим часом лінійка STM8 включатиме в себе варіанти в корпусі SO (TSSOP і LQFP вже доступні). Вбудований USB-інтерфейс з великою ймовірністю теж буде додано до списку периферії мікроконтролерів STM8.

### **2.2.6 Мікроконтролери STM32F0**

Архітектура мікроконтролерів ARM (від англ. Advanced RISC Machine - вдосконалена RISC-машина) – це сімейство ліцензованих 32-бітних і 64-бітових мікропроцесорних ядер розробки компанії ARM Limited. ARM – британська корпорація, один з найбільших розробників і ліцензіарів

архітектури 32-розрядних і 64-розрядних RISC-процесорів, орієнтованих на використання в портативних і мобільних пристроях [25].

Протягом останніх шести або семи років одним з головних напрямків в області розробки мікроконтролерів була адаптація ARM7 і ARM9 як ядер для мікроконтролерів загального застосування. На сьогоднішній день є близько 240 ARM-мікроконтролерів від численних виробників. Компанія ST Microelectronics (європейська мікроелектронна компанія, одна з найбільших, які займаються розробкою, виготовленням і продажем різних напівпровідникових електронних і мікроелектронних компонентів) випустила перші мікроконтролери на базі нового ядра ARM Cortex-M3, STM32. Ці пристрої встановлюють нові стандарти продуктивності і ціни, здатності виконання алгоритмів управління жорсткого реального часу при низькому енергоспоживанні.

Сімейство ARM Cortex – це нове покоління процесорів з стандартизованою архітектурою для вирішення широкого кола технологічних задач. На відміну від інших ядер ARM, сімейство Cortex є закінченим процесорним ядром зі стандартним ЦПУ і системною архітектурою. Сімейство Cortex має три основних профілі: профіль А для високопродуктивних додатків, R - для додатків реального часу, М - для бюджетних програм. У STM32 використовується профіль Cortex-M3, розроблений спеціально для систем, що поєднують в собі високу продуктивність і низьке енергоспоживання. Ціна цього сімейства досить низька, щоб конкурувати з 8 і 16-розрядними мікроконтролерами.

### **2.3 Загальні принципи вибору мікроконтролерних пристроїв**

Вибір мікроконтролера є одним з найбільш важливих рішень, від яких залежить успіх або провал усього проекту. При виборі мікроконтролера існують численні критерії, більшість з яких представлені в цьому розділі.

Основна мета - вибрати мікроконтролер з мінімальною ціною (щоб

знизити загальну вартість системи), але в той же час, щоб задовольняв системній специфікації, тобто вимогам по продуктивності, надійності, умовам застосування і т.д. Загальна вартість системи включає все: інженерне дослідження і розробку, виробництво (комплектуючі і робота), гарантійний ремонт, оновлення, обслуговування, сумісність, простоту в обігу і т.д.

Другий крок - пошук мікроконтролерів, які задовольняють цим вимогам. Він зазвичай включає підбір літератури, технічних описів та технічних комерційних журналів, а також демонстраційні консультації.

Остання стадія вибору складається з кількох етапів, мета яких - звузити список прийнятних мікроконтролерів до одного. Ці етапи включають в себе аналіз ціни, доступності, засобів розробки, підтримки виробника, стабільності та наявності інших виробників.

Проведення системного аналізу проекту дозволяє визначити вимоги до мікроконтролера:

- розрядність обчислювального ядра;
- набір вбудованих периферійних пристроїв (таймери, АЦП і т.п.);
- наявність бітових операцій;
- апаратна організація обробки даних (структура машинного циклу, співвідношення тактів ГТВ і машинних циклів);
- можливість роботи по перериваннях, по зовнішнім сигналам готовності або по командах людини;
- кількість керованих портів введення/виводу, характер передачі;
- байтова або бітова програмна настройка напрямку передачі;
- тип пристроїв введення/виводу, якими повинен управляти обраний МК в проектованій системі (термінали, вимикачі, реле, клавіші, датчики, цифрові пристрої візуальної індикації, аналого-цифрові та цифро-аналогові перетворювачі, модулятори і т.д.);
- підтримувані способи завантаження програм в мікроконтролер, можливість внутрішнього системного програмування (ISP), використання при цьому стандартизованих інтерфейсів (SPI, I2C);

- кількість і тип напруг живлення;
- відмовостійкість джерела живлення;
- масогабаритні і естетичні обмеження;
- умови навколишнього середовища, необхідні для експлуатації.

Вибір прикладної мови програмування (наприклад, C або Python замість асемблера) може сильно вплинути на продуктивність системи, яка потім може диктувати вибір 8-, 16 - або 32-розрядної архітектури.

Тактова частота або, більш точно, швидкість шини визначає, скільки обчислень може бути виконано за одиницю часу. Деякі мікроконтролери мають вузький діапазон можливої тактової частоти, в той час як інші можуть працювати аж до нульової частоти. Іноді вибирається спеціальна тактова частота, щоб згенерувати іншу тактову частоту, необхідну в системі, наприклад, для завдання швидкостей послідовної передачі (наприклад, 11059,2 кГц).

В основному, обчислювальна потужність, споживана потужність і вартість системи збільшуються з підвищенням тактової частоти. Ціна системи при підвищенні частоти збільшується через вартість не тільки мікроконтролера, але також і всіх потрібних додаткових мікросхем, таких як ROM, RAM, PLD та контролери шини.

При виборі МК важливо також взяти до уваги технологію, з використанням якої виготовлено процесор МК: N-канальний метал-оксид-напівпровідник (NMOS) в порівнянні з комплементарних MOS високого ступеня інтеграції (HCMOS). На відміну від ранніх NMOS - процесорів, в HCMOS сигнали змінюються від 0 до значення напруги живлення. Так як ця обставина може значно впливати на рівень перешкод в схемі, зазвичай віддається перевага процесорам HCMOS. Крім того, HCMOS споживає меншу потужність і, таким чином, менше нагріваються. Геометричні розміри HCMOS менше, що дозволяє мати більш щільні схеми і, таким чином, працювати при більш високих швидкостях. Більш щільний дизайн також зменшує вартість, так як на кремнієвій пластині того ж розміру можна

зробити більшу кількість чіпів. З цих причин більшість мікроконтролерів сьогодні виробляються з використанням HCMOS-технології. Щоб досягти більш високого рівня інтеграції та надійності при більш низькій ціні, все мікроконтролери мають вбудовані додаткові пристрої. Ці пристрої під управлінням мікропроцесорного ядра мікроконтролера виконують певні функції. Вбудовані пристрої підвищують надійність, тому що вони не вимагають ніяких зовнішніх електричних ланцюгів. Вони попередньо тестуються виробником і звільняють місце на платі, так як всі електричні з'єднувальні ланцюга виконані на кристалі в мікроконтролері. Деякими з найбільш популярних внутрішньо-схемних пристроїв є пристрої пам'яті, таймери, системний годинник/генератор і порти введення - виведення (I/O). Пристрої пам'яті включають оперативну пам'ять (RAM), постійні запам'ятовуючі пристрої (ROM), які перепрограмуються ROM (EPROM), які електрично перепрограмуються ROM (EEPROM) і електрично стирається пам'ять (EEM). Термін EEM, насправді, відноситься до версії мікроконтролера, що інженерно розвивається, де EEPROM замінює ROM, щоб знизити час розробки. Під таймерами розуміють як годинник реального часу, так і пристрої періодичного переривання. Слід брати до уваги діапазон дозволу таймера, так само як і інші підфункції, такі як порівняння стану таймера і/або вхідних ліній вимірювання сигналу.

#### **2.4 Модель обрання мікроконтролерних пристроїв на основі продукційних правил**

Обрання мікроконтролерного пристрою для подальшого застосування, як було зазначено вище, є дійсно складною задачею, що потребує використання СППР на основі нечіткої логіки.

В процесі вибору досить підібрати список критеріїв, які в повній мірі обґрунтовують вибір того чи іншого МК. Ці показники повинні бути об'єктивними, добре відомими, однозначно розумітися і адекватно



передавати загальну характеристику МК. Для цього потрібно зробити опитування експертів в області проектування мікроконтролерів та вибрати ті параметри, що були спільні у більшості з них. Методи експертних оцінок базуються на гіпотезі, що, використовуючи знання одного або декількох фахівців-експертів, вдасться створити модель обрання мікроконтролерних пристроїв близьку до реальної. Найчастіше знання експертів, які відображають їх професійний досвід, накопичений в процесі діяльності, існують у фахівця підсвідомо. Саме цей факт і зумовив вибір нечіткої логіки в якості алгоритму логічного висновку для роботи СППР, структура якої представлена на рисунку 2.1.

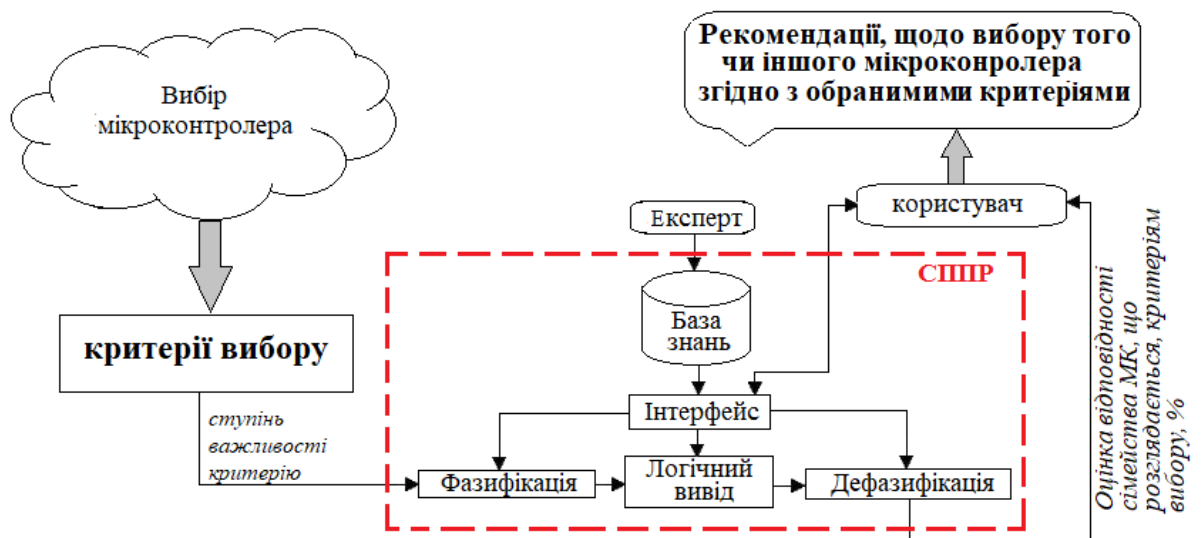


Рисунок 2.1 – Структура СППР на основі нечіткої логіки

Отримавши рекомендації, користувач СППР може зробити висновок щодо вибору того чи іншого МК для подальшого використання в системах логічного управління.

Так як в основі запропонованої СППР лежить апарат нечіткої логіки, то необхідно в першу чергу розробити нечітку модель обрання мікроконтролерних пристроїв (рис. 2.2).

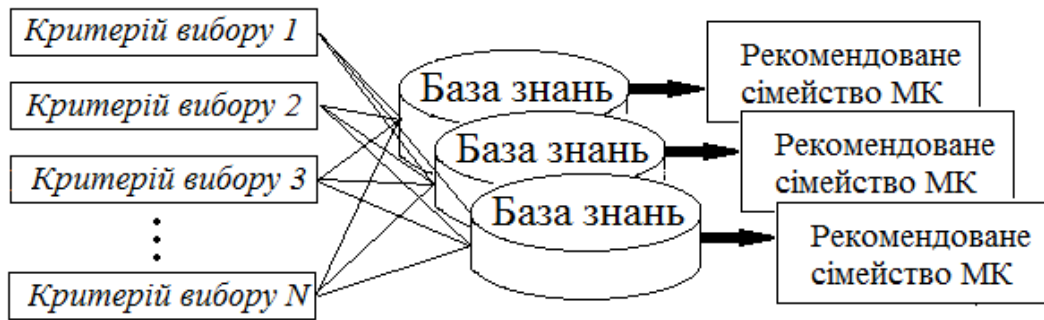


Рисунок 2.2 – Модель обрання мікроконтролерних пристроїв

На рисунку 2.2 видно, що для кожного сімейства МК повинна бути розроблена своя база знань, що стане основою для прийняття рішення щодо того, чи підходить тій чи інший МК до рішення тієї чи іншої проблеми.

Представимо  $i$ -тий критерій вибору у вигляді лінгвістичної змінної. Він характеризується трьома терм-множинами: «низький» (Н, low), «середній» (С, average), «високий» (В, high). Вибір трирівневої шкали оцінки критеріїв обумовлений тим, що з області психології відомо, що в короткочасній (робочій) пам'яті людини одночасно утримується  $7 \pm 2$  поняття. Тому в зв'язку з великою кількістю оброблюваних критеріїв доцільно використовувати саме трирівневу шкалу оцінки.

Ідентифікація параметрів функцій приналежності (ФП) здійснюється на підставі набору даних, отриманих при опитуванні експертів прямим методом, тобто думка експерта про можливість віднесення даних до поняття, формалізованого нечіткою множиною, має виражатися числом в інтервалі від 0 до 1.

Переважно використовувати ті ФП, які допускають аналітичне подання у вигляді простої математичної функції. Існує ряд рекомендацій щодо вибору типу ФП [25]:

1) Кусково-лінійна ФП (трапецієвидна або трикутна) використовується коли експерт знає тільки інтервальні обмеження і найбільш допустиме значення, а, отже, єдиною прийнятною апроксимацією є лінійна.

2) Z-образна ФП використовується для завдання таких властивостей множин, як слабка ступінь прояву тієї чи іншої якісної або кількісної ознаки.

3) S-образна ФП використовується для завдання таких властивостей множин, що мають високу ступінь прояву тієї чи іншої якісної або кількісної ознаки.

4) П-образна ФП (гаусовська) використовується для таких параметрів, які змінюються нелінійно, а підпорядковується нормальному закону розподілу, що зустрічається досить часто.

Вихідна ЛЗ – рекомендоване сімейство МК (recMC), характеризується також трьома терм-множинами (Н, С, В). Якісне визначення кожного рівня представлено нижче в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Вихідна ЛЗ та її значення

<i>recMC</i>	<i>Пояснення</i>
Н	Низький рівень відповідності сімейства МК, що розглядається, критеріям вибору.
С	Середній рівень відповідності сімейства МК, що розглядається, критеріям вибору.
В	Високий рівень відповідності сімейства МК, що розглядається, критеріям вибору.

Взагалі графічно система нечіткого виводу для кожного сімейства МК може бути представлена наступним чином (рис. 2.3).

Продукційні правила у такому випадку мають описувати взаємодію між вхідними ЛЗ (критеріями вибору) та вихідною ЛЗ (рекомендаціями по вибору сімейства МК).

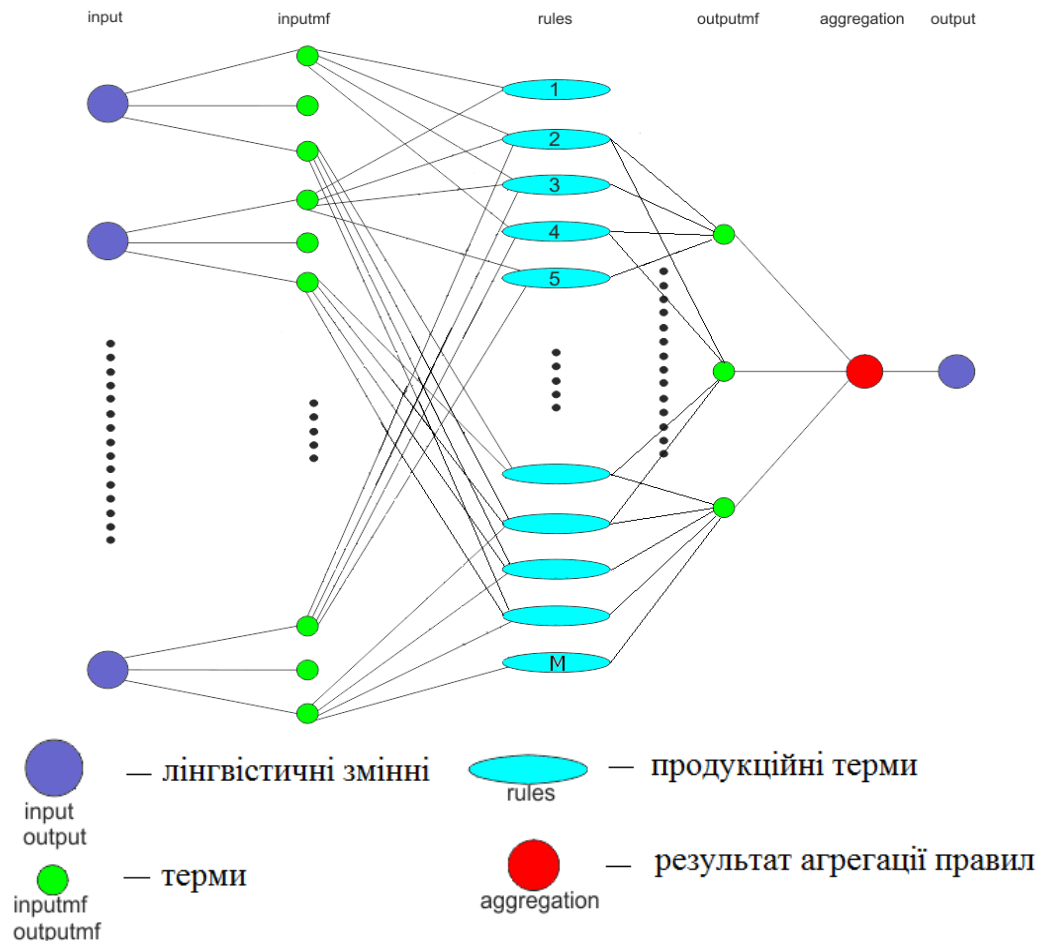


Рисунок 2.3 – Система нечіткого виводу

Продукційні правила повинні складатися для тих сімейств мікроконтролерів, що є найбільш популярними в області проектування систем логічного управління. Тобто для кожного сімейства буде своя база ПП, що дадуть змогу користувачу зробити висновок, яке сімейство мікроконтролерів є найбільш придатним за обраними критеріями для подальшого використання.

## 2.5 Критерії обрання сімейств та моделей мікроконтролерів

Запеклі суперечки про те, який МК краще, давно перейшли в розряд філософських. Прихильники крайніх точок зору сходяться на тому, що кожен МК призначений для виконання свого кола завдань, причому дуже часто ці

«кола» взаємно перетинаються. Фірми, які виробляють МК, підглядають один у одного новинки і швидко впроваджують їх у виробництво. Таким чином з'являються на світ функціонально однакові МК-двійники, а разом з ними і конструкції-двійники, що відрізняються між собою тільки мікросхемою керуючого контролера.

Усталеної класифікації МК на сьогоднішній день не існує. Це відносно новий і бурхливо розвивається клас електронних приладів, тому має пройти деякий час, щоб система структуризувалася.

При визначенні характеристик різних мікроконтролерів такі поняття як «сімейство», «платформа», «ядро», «архітектура» в різних джерелах трактуються по-різному. Іноді їх просто вважають синонімами, що в більшості випадків не принципово. Однак для характеристик МК в системах логічного управління пропонується використовувати такі терміни, як «ядро», «сімейство», «серія», «модель» [26].

«Ядро» - базовий пристрій внутрішньої обчислювальної системи. Ядро визначає систему команд, шинний інтерфейс, архітектуру пам'яті, тобто корінні відмінності «обчислювачів» один від одного. Розрізняють МК з ядром MCS-51, AVR, ARM7, ARM9, PIC16, PIC18 і т.д. Процесорне ядро може бути однаковим, а фірми-виробники - різними.

«Сімейство» - група мікросхем, що мають одне ядро, у яких приблизно однаковий набір програмних і периферійних функцій. Сімейство може розбиватися на більш дрібні підродини.

«Серія», (або «лінійка») - це фірмовий бренд або рекламний слоган, наприклад, серія «Classic», серія «tinyAVR», лінійка «MegaPIC». Зустрічаються і загальні назви на кшталт «лінійка 16-бітних МК загального призначення».

«Модель» - кілька мікросхем одного сімейства, що розрізняються між собою другорядними цифрами (літерами) в назві, що визначає різний температурний діапазон, тактову частоту, варіант корпусу, живлення.

Виходячи з того, що в якості бази знань СППР на основі нечіткого

логічного виводу будуть використовуватися нечіткі продукційні правила, слід враховувати, що кількість критеріїв, які використовуються при обранні МК, буде відповідати кількості логічних змінних, а кількісне або якісне значення самих критеріїв має відповідати кількості та діапазонам термів відповідних логічних змінних.

При обранні кількості критеріїв слід враховувати наступне. Велика кількість критеріїв призведе до необхідності розробки великої кількості ПП (верхня межа кількості ПП дорівнює  $m^k$ , де  $k$  – кількість логічних змінних,  $m$  – кількість термів логічної змінної), а мала кількість критеріїв – до втрати гнучкості та зручності СППР.

При обранні кількості діапазонів числових або якісних значень критеріїв слід виходити з можливості користувача визначити приналежність значень критерію до відповідного діапазону. Тому тут доцільно використовувати традиційну трирівневу систему оцінювання («добре» (В) – «середнє» (С) – «малозадовільно» (Н)) як для вхідних логічних змінних, так і для вихідної.

Враховуючи складність та велику кількість ознак в різних класифікаціях МК (що відповідає критеріям обрання) пропонується дворівнева система побудови нечіткого логічного виводу. На першому рівні застосовуються, так звані, критерії користувача або замовника ( $K_i^1$ ), а на другому рівні – техніко-економічні або конструкторські критерії ( $K_i^2$ ). При такому поділі критерії першого рівня визначають сімейство мікроконтролерів ( $C_i$ ,  $i = 1 \dots 6$ ), а критерії другого рівня – модель мікроконтролера в лінійці МК всередині сімейства ( $MK_j^{C_i}$ , де  $j$  – кількість МК в сімействі  $i$ ).

Виходячи з цього пропонується дворівнева система побудови нечіткого логічного виводу (рис. 2.4).

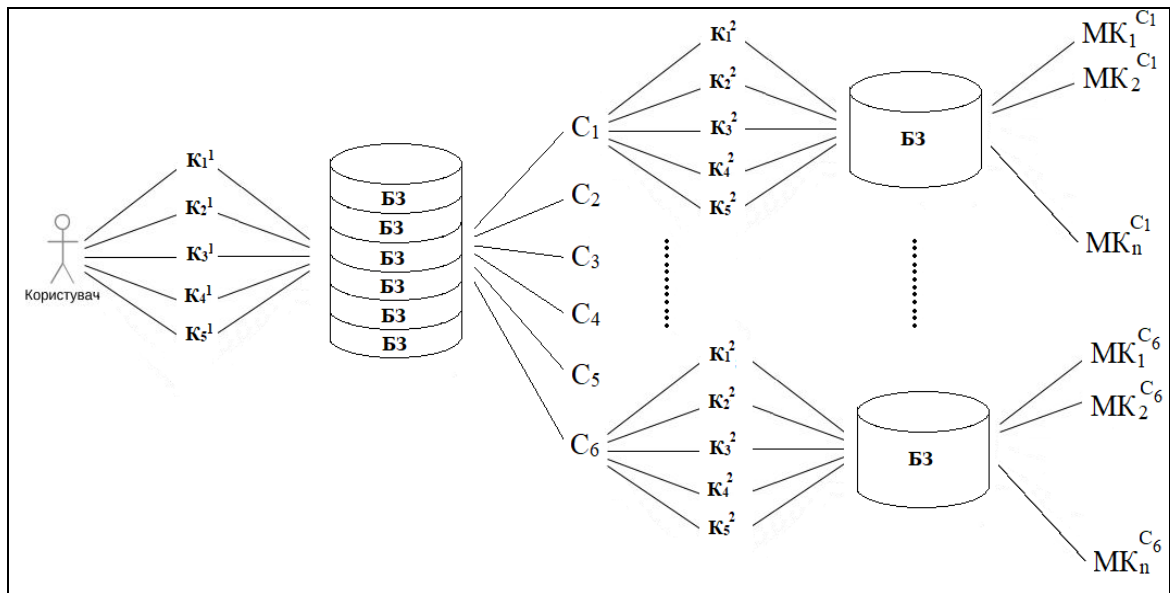


Рисунок 2.4 – Інформаційна модель бази знань експертної СППР

В якості критеріїв першого рівня можна запропонувати наступні: наявність Wi-Fi, наявність розвиненої периферії, наявність інтерфейсів сполучення з зовнішніми пристроями, наявність ефективних середовищ розробки, бібліотек САПР, стимуляторів тощо. Критерії першого рівня є відносними. При цьому діапазони значень критеріїв (кількісні або якісні) будуть порівняльними характеристиками значень цього критерію серед обраних для порівняння сімейств МК.

В якості критеріїв другого рівня пропонується використовувати техніко-економічні характеристики окремих моделей МК всередині сімейства. Критерії другого рівня є абсолютними. При цьому діапазони значень критеріїв (в основному кількісні) визначаються на обраній шкалі оцінювання, при умові, що максимальне значення критерію відповідає 100% , а мінімальне – 1%, тобто діапазон значень критеріїв визначимо як  $\{1 - 100\}$ .

Вага кожного критерію (у порівняння з іншими критеріями) звісно є важливою характеристикою, але для спрощення побудови бази знань (системи ПП) приймемо вагу всіх критеріїв рівною, і вона, звісно, не буде враховуватися при побудові ПП.

Найбільш популярними сімействами мікроконтролерів в області проектування систем логічного управління є такі: ESP, AVR (Atmel), MCS51 (Intel), ARM (ARM Limited), STM8, а також підсімейства AVR (Atmel) (ATMega, ATtiny) а також підсімейство STMicroelectronics STM32, яке входить до сімейства ARM. Виходячи з наведеного переліку в таблиці 2.2 наведений перелік сімейств МК, які будуть розглядатися та їх фірм-виробників

Таблиця 2.2 – Сімейства МК, що розглядаються та їх виробники

Сімейства МК		Виробник
C <sub>1</sub>	ESP	Espressif
C <sub>2</sub>	ATMega	AVR (Atmel)
C <sub>3</sub>	ATtiny	AVR (Atmel)
C <sub>4</sub>	MCS51	Intel
C <sub>5</sub>	STM8	STMicroelectronics
C <sub>6</sub>	STM32	(ARM Limited) STMicroelectronics

Для першого рівня (вибору сімейства) визначимо п'ять критеріїв зі значеннями термів (діапазонів) : В («високий»), С («середній»), Н (низький), перелік яких наведений нижче.

1. **K<sub>1</sub><sup>1</sup>**. Наявність пристроїв для зв'язку (Wi-Fi, Bluetooth і т.д.):

- якщо два і більше пристрою для спілкування з однією або різними технологіями – В,
- якщо один пристрій зв'язку із зовнішнім світом – С,
- якщо немає зв'язку із зовнішнім світом – Н.

2. **K<sub>2</sub><sup>1</sup>**. Наявність інтегрованих в мікросхему периферійних пристроїв (таймери, АЦП, ШІМ і т.д.):

- якщо МК не використовується в проведенні вимірювань, в обробці форми сигналів, в перетворенні сигналів і в контролі за помилками або аваріями – Н,
- якщо є периферійні пристрої – С,



– якщо великий набір таких пристроїв – В.

3.  $K_3^1$  – Підтримка (наявність) інтерфейсів передачі даних (I2C, SPI, UART/USART, CAN, USB і т.д.).

– якщо проект не містить додаткове управління датчиками – Н,

– один канал передачі даних – С,

– два і більше різнотипних датчика (наприклад, керування дисплеєм і низькошвидкісна передача даних між ПК і МК) – В.

4.  $K_4^1$  – Підтримка комерційними IDE (в разі відсутності підтримки конкретного середовища розробки через несумісність з операційною системою). Чим більше IDE – тим більше значення критерію:

– підтримка виключно безкоштовними IDE – Н,

– підтримка деякими IDE – С,

– підтримка всіма популярними IDE – В.

5.  $K_5^1$  – Наявність відповідного сімейства МК в бібліотеках САПР для збірки і симуляції схем. Чим у більшій кількості САПР є відповідне сімейство, тим вище значення критерію:

– підтримка виключно безкоштовними САПР – Н,

– підтримка деякими САПР – С,

– підтримка всіма популярними САПР – В.

Тут, звісно, перелічені не всі критерії користувача, наприклад, не розглядається важливий критерій наявності операційних систем реального часу, але все охопити неможливо.

Усі абсолютні критерії можна поділити на позитивні або негативні. Позитивними вважаються ті критерії, до яких зростання вимог замовника обумовлює зростання значення критеріїв. В свою чергу негативними вважаються критерії, для яких зростання вимог замовника обумовлює зменшення значень критерію. Наприклад, швидкодія є позитивним критерієм, а ціна негативним. В цьому сенсі високі вимоги замовника до швидкодії і ціна є взаємовиключними вимогами. В практичному плані в системі нечіткого логічного виводу діапазони термів позитивних критеріїв

{0-100}, а негативних – {100– 0}. Цей вибір реалізується на рівні інтерфейсу користувача.

Перелік «ідеальних» (найбільш відповідних вимогам користувача ) значень критеріїв першого рівня для обрання сімейств МК в термінах логічних змінних наведений у таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Критерії вибору сімейства мікроконтролерів

Сімейство МК		Найменування критерію				
		Наявність пристроїв для зв'язку (WiFi, Bluetooth тощо.)	Наявність інтегрованих в мікросхему пристроїв (таймери, АЦП, ШІМ тощо)	Підтримка інтерфейсів передачі даних (I2C, SPI, UART / USART, CAN, USB і тощо.)	Підтримка комерційними IDE	Наявність сімейства в бібліотеках САПР для збірки і симуляції
C <sub>1</sub>	ESP	В	Н	С	С	Н
C <sub>2</sub>	ATMega	Н	С	С	С	В
C <sub>3</sub>	ATtiny	Н	Н	Н	С	В
C <sub>4</sub>	MCS51	Н	С	С	С	В
C <sub>5</sub>	STM8	Н	В	В	В	С
C <sub>6</sub>	STM32	Н	В	В	В	Н

Список критеріїв вибору моделі МК з сімейства (по лінійці):

- швидкодія (тактова частота) – позитивний {1–100};
- об'єм пам'яті (Flash, ОЗУ (RAM) і ПЗУ (ROM / EPROM / EEPROM)) – позитивний {1–100};
- споживана потужність (струм) – негативний {100–1}.
- ціна (з периферією, конструктивом та урахуванням типорозміру корпусів) негативний {100–1};
- наявність налагоджувальних (оціночних) плат, boards, програматорів – позитивний {1–100}.

Перелік значень критеріїв, що мають перевагу (по шкалі оцінювання) при обранні конкретних моделей МК з сімейства, для сімейства ESP наведений у таблиці 2.4, а для сімейства STM32 – у таблицях 2.5 та 2.6.

Відмітимо, що в табл. 2.4 деякі моделі МК мають однакові значення ЛЗ. В цьому випадку їх обрання обумовлюється наявністю на ринку продаж.

Таблиця 2.4 – Моделі МК сімейства ESP та значення критеріїв для їх обрання

Модель МК	Найменування критерію				
	Швидкодія (тактова частота, МГц)	Об'єм пам'яті (Flash, ОЗП (RAM) і ПЗП (ROM / EPROM / EEPROM, Кб)	Споживана потужність (струм, мА)	Ціна (з периферією і конструктивом (типорозміром корпусів, \$)	Наявність відладочних (оціночних) плат, boards, програматорів
Абсолютні значення					
ESP8266 (ESP-01)	80	Зовнішня Flash -512кб. RAM – 80кб, RAM істукцій - 32 кб.	До 215 мА. , в режимі очікування 0.86мА, Deep sleep 10мкА	3	ESP8266-PRO, Wemos/Wemos MINI, Node-MCU
ESP8266 (ESP-11)				3.5-4	
ESP8266 (ESP-12)				3.5	
ESP8285 (ESP-1)	80/160 + RTOS	Зовнішня Flash – 1Мб. RAM – 50 кб.	До 170 мА. в режимі очікування 0.1мА, Deep sleep 10мкА	4.5-5	Wemos/Wemos MINI, Node-MCU
ESP8285 (ESP-M3)					
ESP-32	160/240	Зовнішня Flash – 16Мб. ROM – 448 кб. RAM – 520 кб.	До 240 мА. в режимі очікування 0.4 мА, Deep sleep 10мкА	5-6	ESP-WROVER-KIT, ESP32-DevKitC, D1
Значення термів логічних змінних					
ESP8266 (ESP-01)	Н	Н	С	Н (до 100 грн)	В
ESP8266 (ESP-11) або ESP8266 (ESP-12)	Н	Н	С	С (до 150 грн)	В
ESP8285 (ESP-1) або (ESP-M3)	С	С	Н	С (до 150 грн)	С
ESP-32	В	В	В	В (понад 150 грн)	Н

Таблиця 2.5 – Моделі МК сімейства STM32 та абсолютні значення критеріїв для їх обрання

Найменування критерію					
Модель МК	Швидкодія (тактова частота, МГц)	Об'єм пам'яті (Flash, ОЗП (RAM) і ПЗП (ROM / EPROM / EEPROM, Кб)	Споживана потужність (при ввімкненій периферії) (струм,мА)	Ціна (з периферією і конструктивом (типорозміром корпусів, \$)	Наявність відладочних (оціночних) плат, boards, програматоров
Абсолютні значення					
STM32F030C8T6	48	64кб Flash, 8кб ОЗП.	До 120 мА. , в режимі Run до 24 мА,	1-1.2	DISCOVERY NUCLEO
STM32F103C8T6	72	64кб Flash, 20 кб ОЗП	До 150 мА. , в режимі Run до 72 мА. ,	2	DISCOVERY NUCLEO
STM32F217ZGT6	120	1Мб Flash, 132 кб ОЗП	До 120 мА. , в режимі Run до 50 мА,	17	NUCLEO
STM32F303C6T6	72	32 кб Flash, 12 кб ОЗП	До 140 мА. , в режимі Run до 32 мА,	5.5	DISCOVERY NUCLEO
STM32F407VGT6	168	1 Мб Flash, 192 кб ОЗП	До 240 мА. , в режимі Run до 109 мА,	9.5	DISCOVERY NUCLEO
STM32F746NGH6	216	1 Мб Flash, 320 кб ОЗП	До 320 мА. , в режимі Run до 230 мА,	25	DISCOVERY NUCLEO
STM32H743ZIT6	400	2 Мб Flash, 1 Мб ОЗП	До 620 мА. , в режимі Run до 330 мА,	35.5	NUCLEO
STM32W108C8U63TR	24	64 кб Flash, 8 кб ОЗП	До 150 мА. ,	8	RFCKIT
STM32L052C8T6	32	128 кб Flash, 16 кб ОЗП, 2 кб EEPROM	До 80 мА. , в режимі Run до 88 мкА,	5	DISCOVERY NUCLEO
STM32L151C8T6	32	64 кб Flash, 8 кб ОЗП, 4 кб EEPROM	До 150 мА. , в режимі Run до 214 мкА,	5.5	DISCOVERY NUCLEO
STM32L476VGT6	80	1 Мб Flash, 128 кб ОЗП	До 150 мА. , в режимі Run до 100 мкА,	10	DISCOVERY NUCLEO

Таблиця 2.6 – Моделі МК сімейства STM32 та значення логічних змінних для їх обрання

Модель МК	Найменування критерію				
	Швидкодія (тактова частота, МГц)	Об'єм пам'яті (Flash, ОЗП (RAM) і ПЗП (ROM / EPROM / EEPROM, Кб)	Споживана потужність (при ввімкненій периферії) (струм,мА)	Ціна (з периферією і конструкторивом (типорозміром корпусів, \$)	Наявність відладочних (оціночних) плат, boards, програматоров
Значення термів логічних змінних					
STM32F030C8T6	Н	Н	Н	Н	В
STM32F103C8T6	С	С	С	Н	В
STM32F217ZGT6	В	В	Н	В	С
STM32F303C6T6	С	Н	С	С	В
STM32F407VGT6	В	В	В	С	В
STM32F746NGH6	В	В	В	В	В
STM32H743ZIT6	В	В	В	В	С
STM32W108C8U63TR	Н	Н	С	С	Н
STM32L052C8T6	Н	С	Н	С	В
STM32L151C8T6	Н	С	С	С	В
STM32L476VGT6	С	В	С	В	В

## **3 ПРАКТИЧНА РЕАЛІЗАЦІЯ ЕКСПЕРТНОЇ СИСТЕМИ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ**

Згідно зі структурою експертної СППР, запропонованою в розділі 2 (рис. 2.1), вибір мікроконтролера для системи логічного управління зводиться до створення моделі обрання пристрою (рис. 2.2) та проведення самого експерименту. Модель передбачає необхідність вибору критеріїв, рівнів і діапазонів їх оцінювання, задання функцій приналежності, а також створення бази знань у формі продукційних правил.

Таким чином, експертом готується шаблон оцінювання критеріїв, а користувачем в рамках експерименту виконуються оцінки (кількісні або якісні) виміри відповідних критеріїв вибору. Отримані таким чином оцінки стануть вхідною інформацією для системи нечіткого логічного висновку.

Виходячи з цього, прийняття рішення про вибір того чи іншого мікроконтролера лягає на інструментальний засіб (Matlab) і залежить безпосередньо від бази знань. З ростом числа продукційних правил неухильно зростає і складність роботи з базою знань. Запропонований в [27] метод представлення ПП в кубічному вигляді дозволяє говорити про можливість автоматизувати процес їх аналізу, для чого був використаний програмний продукт «Production rules analyzer» («PRA»). Програма «PRA» використовується на етапі підготовки експерименту при створенні бази знань, що дозволяє ще до початку експертного оцінювання підготувати вхідні дані для Matlab.

### **3.1 Побудова системи продукційних правил**

Розглянемо приклад створення експертами ПП для сімейства мікроконтролерів ESP ( $C_1$ ) (табл. 3.1). Нагадаємо, що символ  $X$  означає неістотне значення того чи іншого критерію, тобто  $X = B \vee C \vee H$ .

Таблиця 3.1 – Приклад ПП для сімейства МК ESP

Критерії вибору					Терми вихідної ЛЗ	
$K_1^1$	$K_2^1$	$K_3^1$	$K_4^1$	$K_5^1$		
X	C	C	C	B	H	
X	C	C	H	B		
X	C	H	C	B		
X	C	H	H	B		
X	H	C	C	B		
X	H	C	H	B		
X	H	H	C	B		
X	H	H	H	B		
X	C	C	B	X		
X	C	H	B	X		
X	C	B	C	X		
X	C	B	H	X		
X	C	B	B	X		
X	H	C	B	X		
X	H	H	B	X		
X	H	B	C	X		
X	H	B	H	X		
X	H	B	B	X		
X	B	C	C	X		
X	B	C	H	X		
X	B	C	B	X		
X	B	H	C	X		
X	B	H	H	X		
X	B	H	B	X		
X	B	B	C	X		
X	B	B	H	X		
X	B	B	B	X		
X	C	C	C	C		C
X	H	C	C	C		
X	C	H	C	C		
X	H	H	C	C		
X	C	C	H	C		
X	H	C	H	C		
X	C	H	H	C		
X	H	H	H	C		
X	C	C	C	H		
X	C	H	C	H		
X	C	C	H	H		
X	C	H	H	H		
X	H	C	C	H	B	
X	H	H	C	H		
X	H	C	H	H		
X	H	H	H	H		

З таблиці 3.1 видно, що експерт керувався наступними ключовими моментами:

- якщо оцінки критеріїв повністю відповідають експертним оцінкам характеристик МК або ці критерії мають нижчий рівень ніж рівень експертної оцінки, то таке ПП треба віднести до високого рівня відповідності сімейства (В) обраним критеріям;

- якщо хоча б одна з оцінок критеріїв перевищує рівень експертної оцінки, то таке ПП треба віднести до низького рівня відповідності сімейства (Н) обраним критеріям;

- всі інші правила підпадають до середнього рівня відповідності сімейства (С) обраним критеріям.

На першому рівні застосовуються, так звані, критерії користувача або замовника ( $K_i^1$ ), а на другому рівні – техніко-економічні або конструкторські критерії ( $K_i^2$ ). Розглянемо приклад створення експертами ПП для обрання конкретного мікроконтролера із сімейства ESP (табл. 3.2).

Таблиця 3.2 – ПП для обрання конкретного МК із сімейства ESP

Критерії вибору					Терми вихідної ЛЗ
$K_1^2$	$K_2^2$	$K_3^2$	$K_4^2$	$K_5^2$	
Н	Н	С	Н	В	ESP8266 (ESP-01)
Н	Н	С	С	В	ESP8266 (ESP-11) або ESP8266 (ESP-12)
С	С	Н	С	С	ESP8285 (ESP-1) або ESP8285 (ESP-M3)
В	В	В	В	Н	ESP-32

### 3.2 Інтерфейс експерта у СППР

В якості інтерфейсу експерта використовується програма «PRA», яка дозволяє на етапі підготовки експерименту по вибору МК при створенні бази знань готувати вхідні дані для Matlab, тобто автоматично перетворювати ПП, представлені в кубічній формі, у розгорнуту форму, а також перевіряти їх на



логічну коректність (повноту, несуперечність, зв'язність і мінімальність). Тільки після цієї перевірки і перетворення в розгорнуту форму вони можуть бути використані в якості БЗ для системи нечіткого логічного виводу. Інтерфейс експерта (вікна програми «PRA») представлений на рис. 3.1.

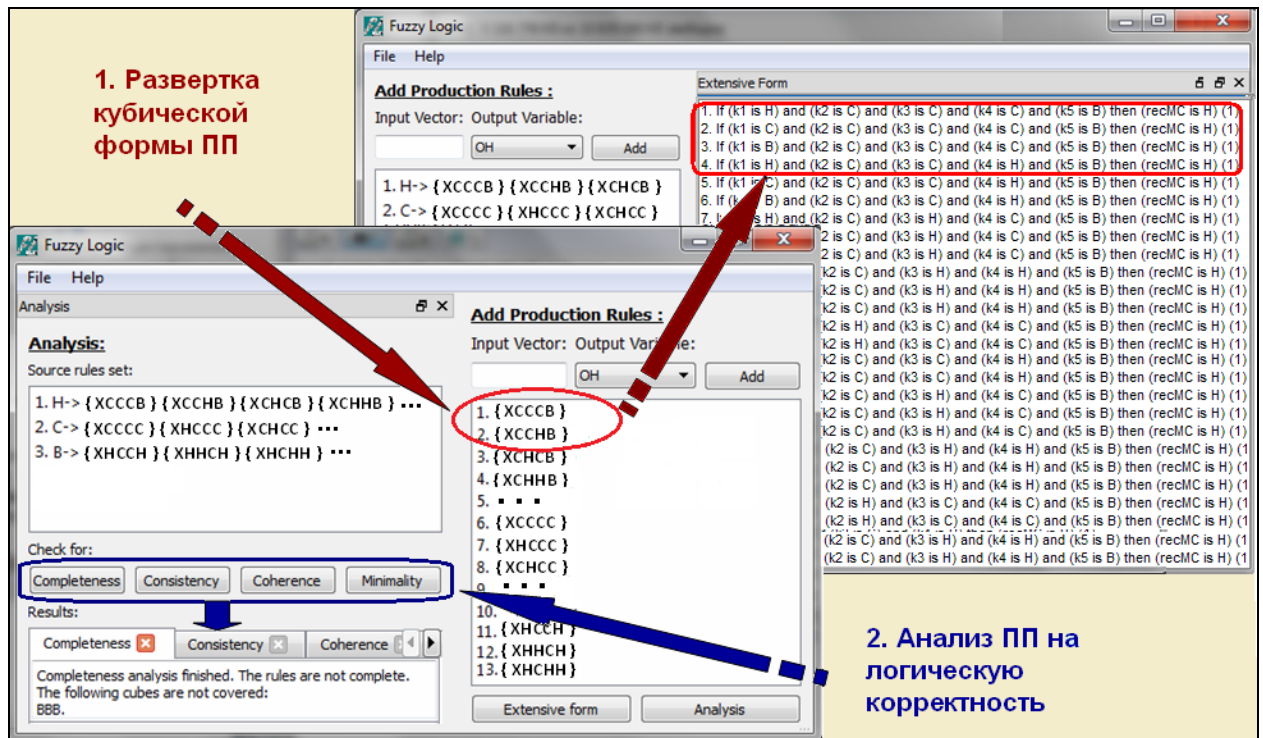


Рисунок 3.1 – Інтерфейс експерта у СППР

### 3.3 Інтерфейс користувача у СППР

У відповідності до загальної структури СППР користувач експертної системи взаємодіє з математичним процесором Matlab не напряму, а через спеціальний візуальний інтерфейс користувача. Інтерфейс користувача - це спеціальний програмний модуль, який дозволяє сформулювати та відобразити послідовність критеріїв та їх оцінок на основі введеної інформації. Цей програмний модуль готує інформацію у спеціальному форматі, який придатний для вводу в Matlab.

Візуальний інтерфейс надає користувачу інформацію про перелік конкретних критеріїв вибору, діапазони термів логічних змінних значень критеріїв та вид шкали оцінювання значень критеріїв (негативний або позитивний).

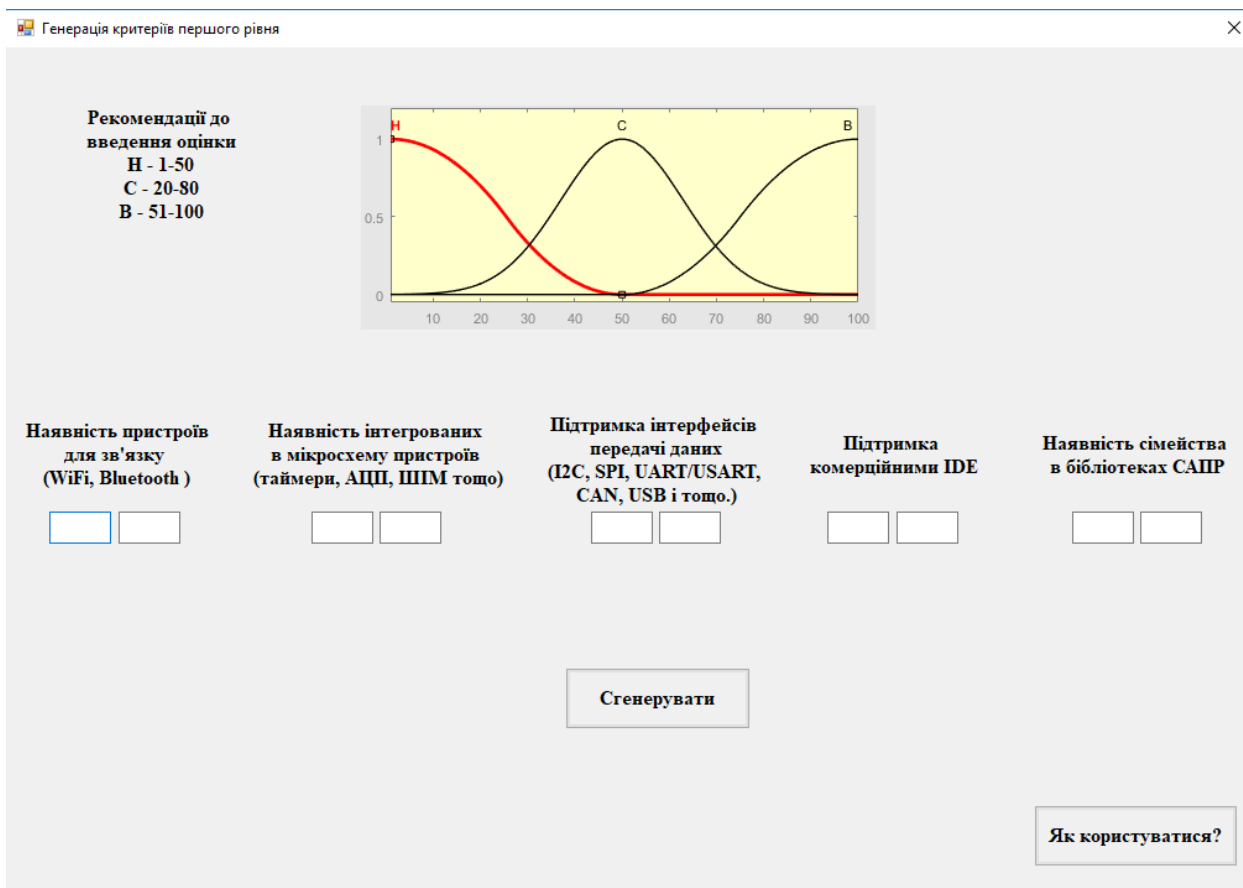


Рисунок 3.2 – Головне вікно програми

Програма починає свою роботу з головного вікна (рис.3.2), в якому розташовано графік функцій приналежності логічних змінних відповідних критеріїв та їх оцінювання. На рис.3.2 наведений приклад вікна програми інтерфейса користувача для критеріїв першого рівня.

У відповідних полях користувачу необхідно ввести числові характеристики зазначених критеріїв для отримання згенерованої послідовності для Matlab (критеріїв та їх оцінок). Також наявна кнопка «Сгенерувати», яка генерує та відображає послідовність значень критеріїв.

Кнопка «Як користуватися?» виводить у спеціальному вікні (рис.3.3) необхідну інформацію користувачу про можливості введення інформації у поля, які необхідно заповнити.

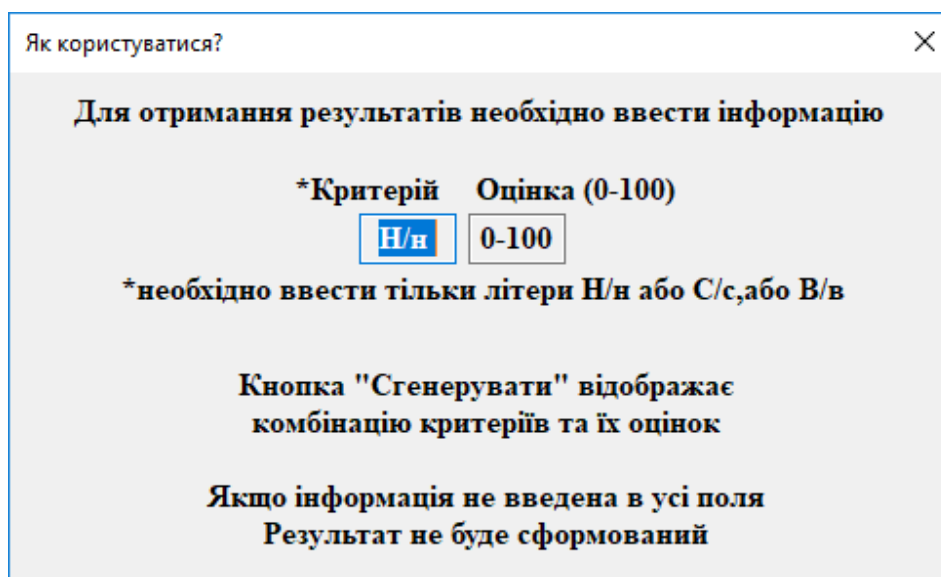


Рисунок 3.3 – Вікно програми «Як користуватися?»

Для отримання результату необхідно ввести інформацію по всім критеріям за двома правилами:

- критерій повинен відображати тільки три літери – Н/С/В, також присутня функція вводу даних критеріїв з маленької літери;
- оцінка критерію повинна мати числовий діапазон від 0 до 100.

Якщо хоча б одне з полів для заповнення не містить інформації, то результат не генерується, а на екрані з'являється повідомлення про відсутність повної інформації (заповнення усіх полів). На рисунку 3.4 наведений приклад коректної роботи програмного модуля візуального інтерфейсу користувача. Варто зауважити, що отриманий результат придатний до копіювання.

Програмний продукт написаний на мові програмування С# в середовищі Visual Studio.

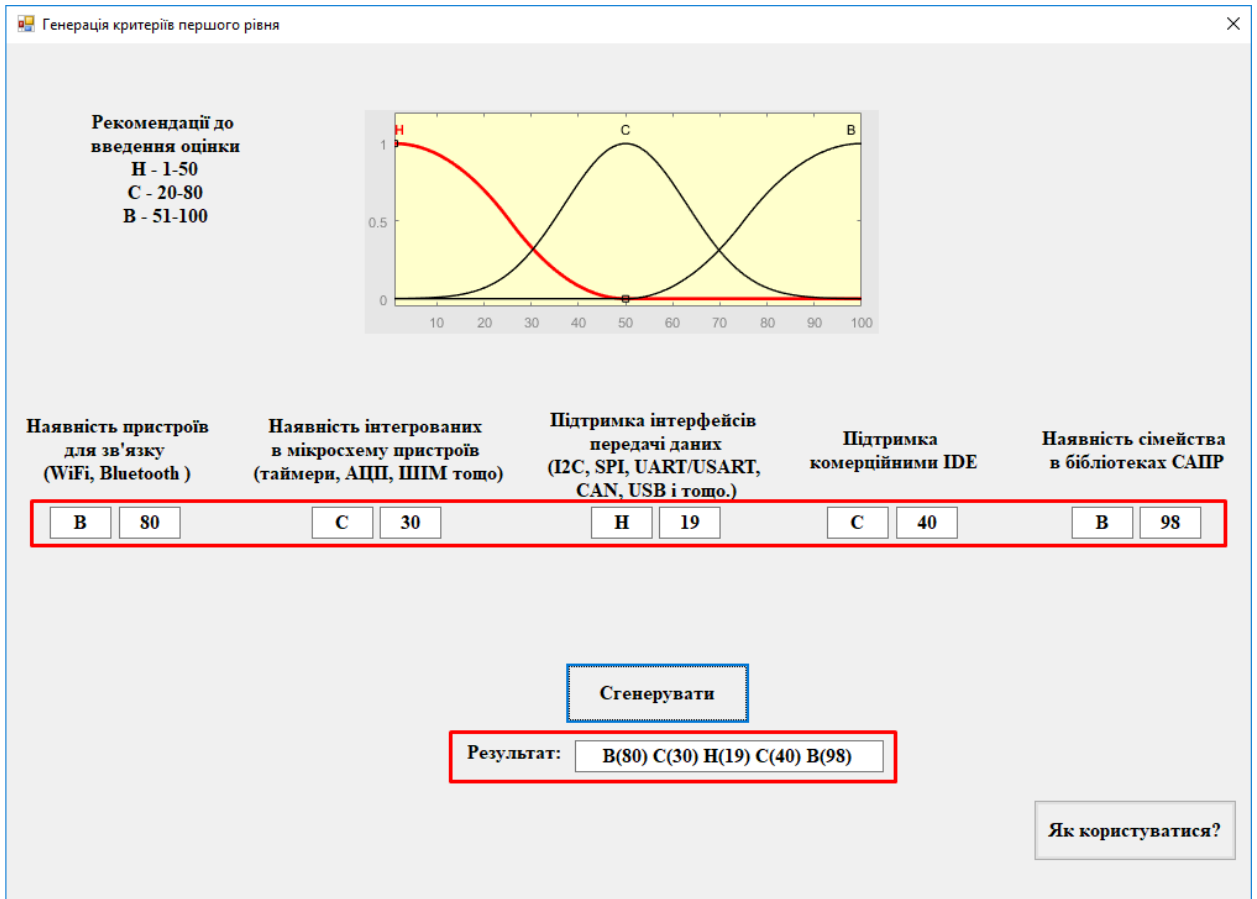


Рисунок 3.4 – Коректна робота програми

З точки зору розробки додатка необхідно зауважити, що програма зроблена за моделлю програмування за станом подій, коли на кожну зміну інформації задіяний механізм обробки подій. Наприклад, для відображення інформації в полях для вводу необхідно для кожного створити обробник події (наприклад, `InputFirstLetter_TextChanged`) та виконати необхідні операції для відображення. Варто зауважити, що кожне поле для введення має свій обробник події за найменуванням об'єкта, до якого необхідно звертатися (наприклад, перше поле для вводу має назву `InputFirstLetter`, що допоможе розробнику працювати с даним елементом).

Нижче відображено декілька обробників події зміни тексту в полях для вводу критерію та їх оцінок.

### Лістинг 3.1 – Обробники події TextChanged

```
private void InputFirstLetter_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    InputFirstLetter.Text = CheckLetter(InputFirstLetter.Text);
//виклик методу, який працює з веденим текстом у поле
}

private void InputFirstNumber_TextChanged(object sender, EventArgs e)
{
    InputFirstNumber.Text = CheckNumber(InputFirstNumber.Text);
//виклик методу, який працює з введеним текстом у поле
}
```

Робота з текстом виведена у два методи, так як механізм ведення коректної інформації для полів з критеріями та їх оцінок однаковий.

### Лістинг 3.2 – Методи для виведення коректних критеріїв та їх оцінок.

```
private string CheckLetter(string text) // Метод виведення коректних
критеріїв
{
    try // У разі виникнення виключних ситуацій, програма не буде
відображати текст у полі
    {
        char symbol = Convert.ToChar(text.ToUpper()); // У
властивостях програми встановлено, що дане поле може мати тільки один символ

        // Якщо цей символ не відповідає умовам критерію (Н/н або
С/с, або В/в), то
        // поле для ведення інформації залишається порожнім
        //
        if (symbol != 66 && symbol != 67 && symbol != 72 && symbol !=
1042 && symbol != 1053 && symbol != 1057)
        {
            text = String.Empty;
        }
    }

    catch (Exception)
    {
        text = String.Empty;
    }

    // У разі введення маленької літери - вивести у поле велику літеру
    //
    return text.ToUpper();}
}
```

```

private string CheckNumber(string text) // Метод виведення оцінок критеріїв
{
    try // У разі виникнення ситуації, що у поле було введено не
цифровий текст , програма не буде відображати текст у полі
    {
        int result = Int32.Parse(text);

        if (result < 0 || result > 100) // Перевірка, якщо оцінка
критерія не відповідає заданим умовам (0-100)
        {
            text = String.Empty; // Не виводити у поле інформацію
        }
    }
    catch (Exception)
    {
        text = String.Empty;
    }
return text;}

```

Генерація та виведення результату відбувається при обробці події натискання на кнопку «Сгенерувати».

### Лістинг 3.3 – Обробник події натискання на кнопку «Сгенерувати»

```

private void GenerateButton_Click(object sender, EventArgs e) // Обробник
події натискання кнопки "Сгенерувати"
{
    ResultTextBox.Text = String.Empty; // Видаляємо весь текст
результату для його оновлення

    ResultText.Visible = false; // Доки результат не сформовано
ResultTextBox.Visible = false; // не відображати його

    ResultText.Text = "Результат: "; // Заготівка для відображення
результату

    FillArrays(); // Виклик методу заповнення масивів інформації
критеріїв та їх оцінок

    for (int i = 0; i < CRITERIA_AMOUNT; i++)
    {
        if (letters[i].Length == 0 || numbers[i].Length == 0) // Якщо
інформацію хоча б в одному полі відсутня
        {
            ResultText.Text = "Відсутня інформація у полях для
введення!";
            break;
        }
    }
}

```

```

        else
        {
            ResultTextBox.Text += letters[i] + "(" + numbers[i] + ")"
+ " "; // Послідовне виведення інформації у графу "Результат"
        }
    }

    ResultText.Visible = true; // Відображення результату

    if (ResultTextBox.Text.Length != 0) // Відображення результату у
рази заповнення всіх полів
    {
        ResultTextBox.Visible = true;
    }
}

```

Метод `FillArrays` заповнює усією інформацією масиви `letters` та `numbers` з полів для введення. `CRITERIA_AMOUNT` – це константа, яка містить в собі інформацію про кількість критеріїв у програмі (`CRITERIA_AMOUNT = 5`).

### Лістинг 3.4 – Метод `FillArrays`

```

private void FillArrays() // Метод для заповнення масивів даними з полів
{
    letters = new string[CRITERIA_AMOUNT]
    {
        InputFirstLetter.Text , // Текст, який містить в собі
інформацію поля для введення критеріїв
        InputSecondLetter.Text ,
        InputThirdLetter.Text ,
        InputFourthLetter.Text ,
        InputFifthLetter.Text ,
    };

    numbers = new string[CRITERIA_AMOUNT]
    {
        InputFirstNumber.Text , // Текст, який містить в собі
інформацію поля для введення оцінок
        InputSecondNumber.Text ,
        InputThirdNumber.Text ,
        InputFourthNumber.Text ,
        InputFifthNumber.Text ,
    };
}

```

### 3.4 Експерименти з вибору мікроконтролерів

Розглянемо процес вибору мікроконтролера для подальшого його використання при проектуванні систем логічного управління на прикладі сімейства мікроконтролерів ESP.

Розглянемо п'ять критеріїв для визначення ступеня відповідності їм мікроконтролера сімейства ESP, кожний з яких представлено у вигляді лінгвістичної змінної:

1. Лінгвістична змінна «наявність пристроїв для зв'язку» –  $K_1^1$ .
2. Лінгвістична змінна «наявність інтегрованих в мікросхему периферійних пристроїв» –  $K_2^1$ .
3. Лінгвістична змінна «наявність інтерфейсів передачі даних» –  $K_3^1$ .
4. Лінгвістична змінна «підтримка комерційними IDE» –  $K_4^1$ .
5. Лінгвістична змінна «наявність відповідного сімейства МК в бібліотеках САПР» –  $K_5^1$ .

Виходячи з того факту, що всі критерії рівнозначні, то і їхні параметри як лінгвістичних змінних теж повинні бути однакові. Вихідна ЛЗ – рекомендоване сімейство МК (RecMC), характеризується також трьома термножинами (Н, С, В), параметри ФП якої співпадають з параметрами вхідних ЛЗ.

Параметри функції приналежності вхідних та вихідних змінних представлені у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 – Характеристики ЛЗ

Терми	Діапазони		Тип ФН	Параметри
Н	1	50	zmf	[1 50]
С	20	80	gaussmf	[13 50]
В	51	100	smf	[51 100]

Функція приналежності змінних представлена на рисунку 3.5.



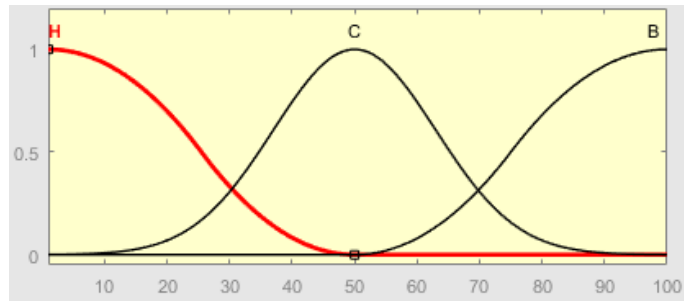


Рисунок 3.5 – ФП лінгвістичних змінних

Вихідна ЛЗ – рекомендоване сімейство МК (ResMC), характеризується також трьома терм-множинами (Н, С, В), параметри ФП якої співпадають. Параметри функції приналежності (ФП) вхідних та вихідних змінних представлені у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Характеристики ЛЗ

Терми	Діапазони		Тип ФН	Параметри
Н	1	40	zmf	[25 50]
С	15	85	gaussmf	[20 50]
В	80	100	smf	[80 95]

Функція приналежності вихідних змінних представлена на рисунку 3.6.

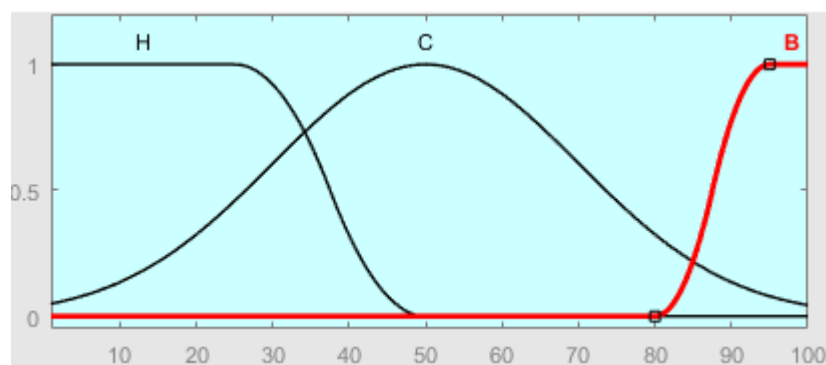


Рисунок 3.6 – ФП вихідної лінгвістичної змінної

В основі СППР лежить база знань. В нашому випадку моделлю представлення знань була обрана модель продукційних правил. Через велику

кількість тут наведено лише фрагмент продукційних правил (рис. 3.7). Повний набір ПП представлено у додатку А.

1. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
2. If (k1 is C) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
3. If (k1 is B) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
4. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
5. If (k1 is C) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
6. If (k1 is B) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
7. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
8. If (k1 is C) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
9. If (k1 is B) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
10. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
11. If (k1 is C) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
12. If (k1 is B) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
13. If (k1 is H) and (k2 is H) and (k3 is C) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
14. If (k1 is C) and (k2 is H) and (k3 is C) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)

Рисунок 3.7 – Фрагмент бази продукційних правил

Після перевірки БЗ на коректність можна переходити безпосередньо до експерименту, в ході якого на підставі значень критеріїв ( $K_i^1$ ) система нечіткого виводу визначає наскільки сімейство ESP відповідає вимогам користувача. В якості інструментального засобу нечіткого виводу була використана система Matlab, що реалізує алгоритм Мамдані, де на етапі акумуляції використовувався метод максимуму, а в якості методу дефазифікації – метод «центру ваги».

Результат експертної СППР за обраними критеріями представлено нижче. Наприклад при  $K_1^1 = B$  (80),  $K_2^1 = H$  (20),  $K_3^1 = C$  (50),  $K_4^1 = C$  (60),  $K_5^1 = B$  (90),  $RecMC = 21.2\%$ , що говорить про те, що сімейство ESP відповідає вимогам користувача тільки на 22.2% (рис. 3.8).

Такий низький результат відносно сімейства ESP, що аналізується, обумовлений тим, що користувач замовив високі вимоги до наявності моделей мікросхем цього сімейства у бібліотеках САПР. Але у дійсності МК ESP китайського виробництва відсутні у більшості бібліотек САПР. Звідси і такий результат, що відповідає реальності.

Якщо користувач знизить вимоги по критерію  $K_5^1$ ; то результат вибору буде зовсім іншим, що буде показано на рис.3.10.



Рисунок 3.8 – Результат нечіткого виводу

При  $K_1^1 = B (95)$ ,  $K_2^1 = H (5)$ ,  $K_3^1 = C (50)$ ,  $K_4^1 = C (50)$ ,  $K_5^1 = H (5)$ ,  $RecMC = 92.7 \%$ , що говорить про те, що сімейство ESP відповідає вимогам користувача на 92.7 % (рис. 3.9).

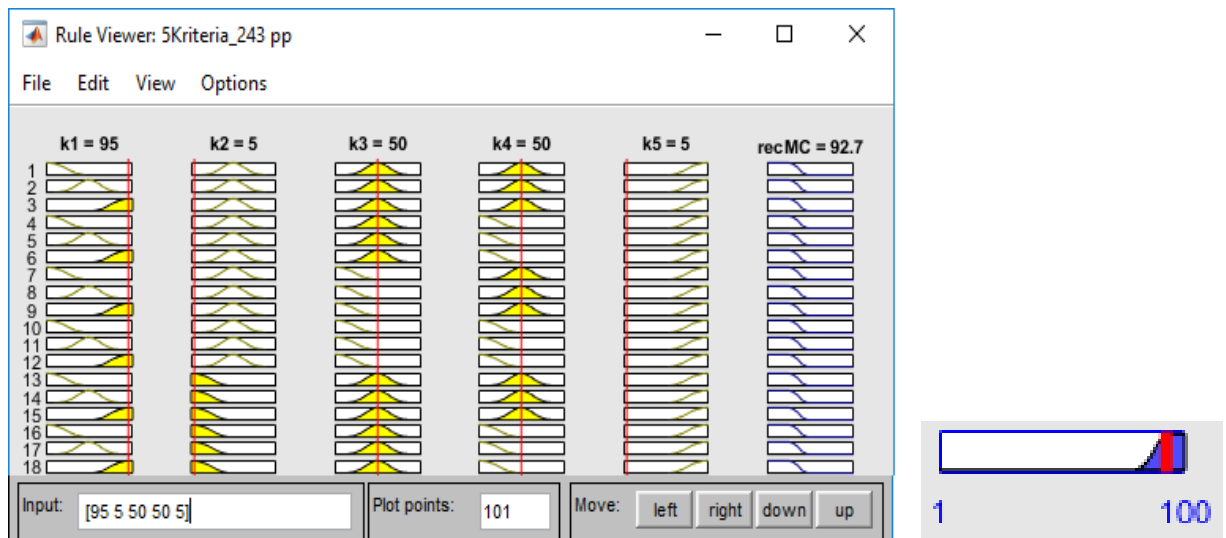


Рисунок 3.9 – Результат нечіткого виводу

Припустимо, що на першому рівні згідно обраних критеріїв вибір зупинено на сімействі мікроконтролерів ESP. Для подальшої конкретизації вибору переходимо на другий рівень, де в якості лінгвістичних змінних будемо використовувати наступні:

- Лінгвістична змінна «швидкодія (тактова частота)» –  $K_1^2$ .
- Лінгвістична змінна «об'єм пам'яті» –  $K_2^2$ .
- Лінгвістична змінна «споживана потужність» –  $K_3^2$ .
- Лінгвістична змінна «ціна» –  $K_4^2$ .
- Лінгвістична змінна «наявність налагоджувальних (оціночних) плат» –  $K_5^2$ .

Відмітимо, що критерії  $K_3^2$  та  $K_4^2$  є негативними і це враховується в налаштуваннях системи Matlab. Параметри функції приналежності вхідних змінних  $K_1^2$ ,  $K_2^2$  та  $K_5^2$  представлені у таблиці 3.5.

Таблиця 3.5 – Характеристики ЛЗ  $K_1^2$ ,  $K_2^2$ ,  $K_5^2$

Терми	Діапазони		Тип ФН	Параметри
Н	1	50	zmf	[1 50]
С	20	80	gaussmf	[13 50]
В	60	100	smf	[50 100]

Функція приналежності вхідних змінних представлені на рисунку 3.10.

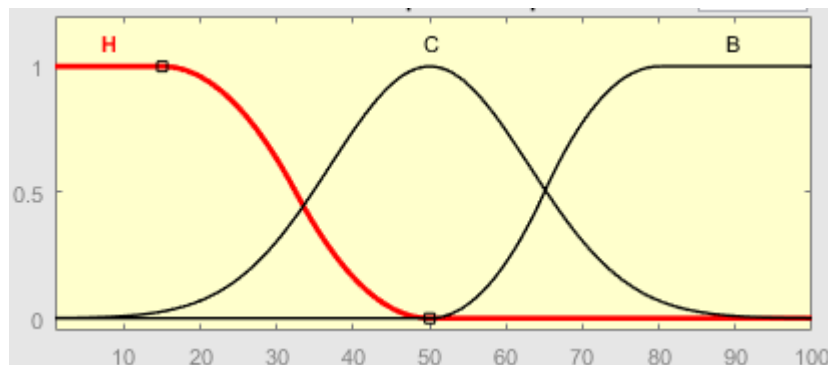


Рисунок 3.10 – ФП вхідних лінгвістичних змінних

Вихідна ЛЗ – мікроконтролери сімейства ESP (ESP-01), характеризується також трьома терм-множинами (Н, С, В), параметри ФП якої представлені у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Характеристики вихідної ЛЗ

Терми	Діапазони		Тип ФН	Параметри
Н	1	35	zmf	[15 35]
С	20	80	gaussmf	[15 50]
В	70	100	smf	[70 100]

Функція приналежності вихідної лінгвістичної змінної представлена на рисунку 3.11.

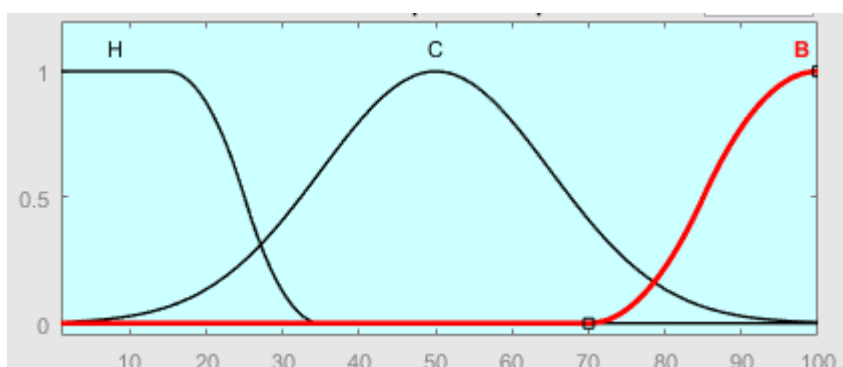


Рисунок 3.11 – ФП вихідної лінгвістичної змінної

Також як у першому випадку моделлю представлення знань була обрана модель продукційних правил. Фрагмент продукційних правил представлено на рис. 3.12.

1. If (k12 is H) and (k22 is H) and (k32 is H) and (k42 is H) and (k52 is H) then (esp-01 is H) (1)
2. If (k12 is H) and (k22 is H) and (k32 is C) and (k42 is H) and (k52 is C) then (esp-01 is C) (1)
3. If (k12 is H) and (k22 is H) and (k32 is H) and (k42 is H) and (k52 is C) then (esp-01 is C) (1)
4. If (k12 is H) and (k22 is H) and (k32 is C) and (k42 is H) and (k52 is B) then (esp-01 is B) (1)

Рисунок 3.12 – Фрагмент бази продукційних правил

Після перевірки БЗ на коректність можна переходити безпосередньо до експерименту, в ході якого на підставі значень критеріїв ( $K_i^2$ ) система нечіткого виводу визначає ступінь відповідності МК ESP-01 вимогам користувача. В якості інструментального засобу нечіткого виводу була використана система Matlab, що реалізує алгоритм Мамдані, де на етапі

акумуляції використовувався метод максимуму, а в якості методу дефазифікації – метод «центру ваги».

Результат експертної СППР за обраними критеріями представлено нижче. Наприклад при  $K_1^2 = Н (10)$ ,  $K_2^2 = Н (10)$ ,  $K_3^2 = С (50)$ ,  $K_4^2 = Н (10)$ ,  $K_5^2 = В (95)$ , відповідність МК ESP-01 до вимогам користувача = 90.9 % (рис. 3.13).

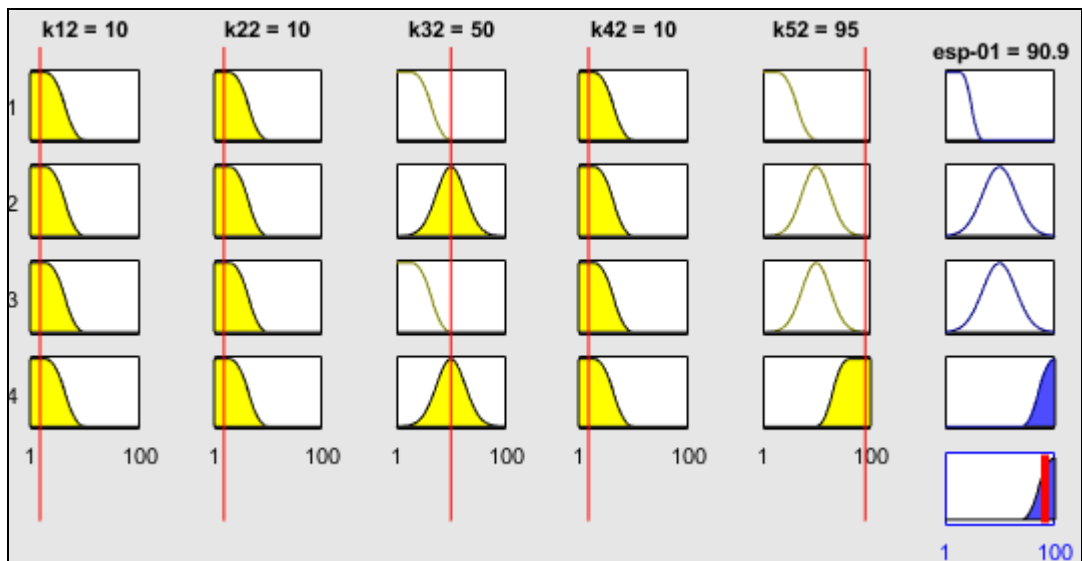


Рисунок 3.13 – Результат нечіткого виводу

Отримавши рекомендації, користувач СППР може зробити висновок щодо доцільності вибору МК із сімейства ESP для подальшого використання в системах логічного управління.

## **4 ОХОРОНА ПРАЦІ**

В даному розділі проведено аналіз потенційних небезпечних та шкідливих факторів, причин пожеж. Розглянуті заходи, які дозволяють забезпечити гігієну праці і виробничу санітарію. На підставі аналізу розроблені заходи з техніки безпеки та рекомендації з пожежної профілактики.

Завданням даної роботи була розробка експертної системи підтримки прийняття рішень при обранні мікроконтролерного пристрою в системах логічного управління з використанням методів і процедур нечіткої логіки. Так як в процесі проектування використовувалося комп'ютерне обладнання, то аналіз потенційно небезпечних і шкідливих чинників виконується для персонального комп'ютера.

### **4.1 Загальні питання з охорони праці**

Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці. В законі України «Про охорону праці» [1] визначається, що охорона праці - це система правових, соціально-економічних, організаційно-технічних, санітарно-гігієнічних і лікувально-профілактичних заходів та засобів, спрямованих на збереження життя, здоров'я і працездатності людини у процесі трудової діяльності.

При роботі з обчислювальною технікою змінюються фізичні і хімічні фактори навколишнього середовища: виникає статична електрика, електромагнітне випромінювання, змінюється температура і вологість, рівень вміст кисню і озону в повітрі. Повітря забруднюється шкідливими хімічними речовинами антропогенного походження за рахунок деструкції полімерних матеріалів, які використовуються для обробки приміщень та обладнання.

Неправильна організація робочого місця сприяє загальному і локальній напрузі м'язів шиї, тулуба, верхніх кінцівок, викривлення хребта і розвитку остеохондрозу. На всіх підприємствах, в установах, організаціях повинні створюватися безпечні і нешкідливі умови праці. Забезпечення цих умов покладається на власника або уповноважений ним орган (далі роботодавець). Умови праці на робочому місці, безпека технологічних процесів, машин, механізмів, устаткування та інших засобів виробництва, стан засобів колективного та індивідуального захисту, що використовуються працівником, а також санітарно-побутові умови повинні відповідати вимогам нормативних актів про охорону праці. Роботодавець повинен впроваджувати сучасні засоби техніки безпеки, які запобігають виробничому травматизмові, і забезпечувати санітарно-гігієнічні умови, що запобігають виникненню професійних захворювань працівників. Він не має права вимагати від працівника виконання роботи, поєднаної з явною небезпекою для життя, а також в умовах, що не відповідають законодавству про охорону праці. Працівник має право відмовитися від дорученої роботи, якщо створилася виробнича ситуація, небезпечна для його життя чи здоров'я або людей, які його оточують, і навколишнього середовища.

## **4.2 Аналіз стану умов праці**

Робота над створенням системи підтримки прийняття рішень проходитиме в приміщенні багатоквартирного будинку. Для даної роботи достатньо однієї людини, для якої надано робоче місце зі стаціонарним комп'ютером.

### **4.2.1 Вимоги до приміщень**

Геометричні розміри приміщення зазначені в табл. 3.7.



Таблиця 3.7 – Розміри приміщення

Найменування	Значення
Довжина, м	5
Ширина, м	5
Висота, м	2.8
Площа, м <sup>2</sup>	25
Об'єм, м <sup>3</sup>	70

Згідно з ДСН 3.3.6.042-99 [2] розмір площі для одного робочого місця оператора персонального комп'ютера має бути не менше 6 кв. м, а об'єм — не менше 20 куб. м. Отже, дане приміщення цілком відповідає зазначеним нормам.

#### 4.2.2 Вимоги до організації місця праці

При порівнянні відповідності характеристик робочого місця нормативним основні вимоги до організації робочого місця за ДСанПіН 3.3.2.007-98 [3] (табл. 3.8) і відповідними фактичними значеннями для робочого місця, констатуємо повну відповідність.

Приміщення знаходиться на першому поверсі чотирьох поверхової будівлі і має об'єм 70 м<sup>3</sup>, площу – 25 м<sup>2</sup>. Обладнано одне місце праці укомплектоване персональним комп'ютером.

Температура в приміщенні протягом року коливається у межах 18–24°C, відносна вологість — близько 50%. Швидкість руху повітря не перевищує 0,2 м/с. Шум знаходиться на рівні 50 дБА. Система вентилявання приміщення — природна неорганізована, а опалення — централізоване.

Таблиця 3.8 - Характеристики робочого місця

Найменування параметра	Фактичне значення	Нормативне значення
1	2	3
Висота робочої поверхні, мм	720	680 ÷ 800
Висота простору для ніг, мм	710	не менше 600
Ширина простору для ніг, мм	540	не менше 500
Глибина простору для ніг, мм	710	не менше 650
Висота поверхні сидіння, мм	480	400 ÷ 500
Ширина сидіння, мм	440	не менше 400
Глибина сидіння, мм	440	не менше 400
Висота поверхні спинки, мм	340	не менше 300
Ширина опорної поверхні спинки, мм	440	не менше 380
Радіус кривини спинки в горизонтальній площині, мм	400	400
Відстань від очей до екрану дисплея, мм	780	700 ÷ 800

#### 4.2.3 Навантаження та напруженість процесу праці

За фізичним навантаженням робота відноситься до категорії легкі роботи (Ia), її виконують сидячи з періодичним ходінням. Щодо характеру організування виконання дипломної роботи, то він підпадає під нав'язаний режим, оскільки

певні розділи роботи необхідно виконати у встановлені конкретні терміни. Рекомендовано застосування екранних фільтрів, локальних світлофільтрів (засобів індивідуального захисту очей) та інших засобів захисту. Роботу за дипломним проектом визнано, таку, що займає 50% часу робочого дня та за восьмигодинної робочої зміни рекомендовано встановити додаткові регламентовані перерви програм тривалістю 15 хв. через кожну годину роботи.

### **4.3 Виробнича санітарія**

На підставі аналізу небезпечних та шкідливих факторів при виробництві (експлуатації), пожежної безпеки можуть бути надалі вирішені питання необхідності забезпечення працюючих достатньою кількістю освітлення, вентиляції повітря, організації заземлення, тощо.

#### **4.3.1 Аналіз небезпечних та шкідливих факторів при виробництві (експлуатації) виробу**

Аналіз небезпечних та шкідливих факторів виконується у табличній формі (табл. 3.9). Роботу, пов'язану з ЕОП з ВДТ, у тому числі на тих, які мають робочі місця, обладнані ЕОМ з ВДТ і ПП, виконують із забезпеченням виконання НПАОП 0.00-7.15-18 [6] «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями», які встановлюють вимоги безпеки до обладнання робочих місць, до роботи із застосуванням ЕОМ з ВДТ і ПП. Основними робочими характеристиками персонального комп'ютера є робоча напруга  $U=+220\text{В} \pm 5\%$ ; робочий струм  $I=2\text{А}$ ; споживана потужність  $P=350\text{ Вт}$ .

Таблиця 3.9– Аналіз небезпечних і шкідливих факторів

Небезпечні і шкідливі виробничі фактори	Джерела факторів (види робіт)	Кількісна оцінка	Нормативні документи
1	2	3	4
<b><i>фізичні</i></b>			
- підвищений рівень напруги електричної мережі, замикання якої може відбутися через тіло людини	-//-	4	[4]
- недостатність природного світла	порушення умов праці (вимог до приміщень)	2	[5]
- недостатнє освітлення робочої зони	порушення гігієнічних параметрів виробничого середовища	3	[5]
Небезпечні і шкідливі виробничі фактори	Джерела факторів (види робіт)	Кількісна оцінка	Нормативні документи
<b><i>психофізіологічні:</i></b>			
- нервово-психічна перевантаження (розумове, перенапруження аналізаторів-зорових)	- пошук інформації для постановки теми; - пошук та аналіз аналогів і літератури; - пошук наявних технологій, моделювання та аналіз алгоритмів; - виконання роботи за темою диплома, тестування; - оформлення роботи	4	[6] [3]
- фізичні (статичне – сидіння)	порушення умов праці (організації місця працівника користувача, ) та організації робочого часу - безпервна робота)	2	[6] [3]

Робоче місце має відповідати вимогам Державних санітарних правил і норм роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-

обчислювальних машин, затверджених постановою Головного державного санітарного лікаря України від 10.12.98 N 7 [3].

#### **4.3.2 Пожежна безпека**

Небезпека розвитку пожежі обумовлюється застосуванням розгалужених систем електроживлення ЕОМ, вентиляції і кондиціонування. Запобігти утворенню горючого середовища (замінити горючі речовини і матеріали на негорючі і важкогорючі) не надається технічно можливим. Тому проектом передбачаються засоби запобігання утворення (або внесення) в горюче середовище джерел запалювання.

Згідно ДСТУ Б В.1.1-36:2016 [7] таке приміщення, площею 25 м<sup>2</sup>, відноситься до категорії "В" (пожежонебезпечної) та для протипожежного захисту в ньому можливо встановлення автоматичної пожежної сигналізації із застосуванням датчиків-сповіщувачів РІД-1 (сповіщувач димовий ізоляційний) в кількості 1 шт., і застосуванням первинних засобів пожежогасіння.

Продуктами згорання, що виділяються на пожежі, є: окис вуглецю; сірчистий газ; окис азоту; синильна кислота; акромін; фосген; хлор і ін. При горінні пластмас, окрім звичних продуктів згорання, виділяються різні продукти термічного розкладання: хлорангідридні кислоти, формальдегіди, хлористий водень, фосген, синильна кислота, аміак, фенол, ацетон, стирол.

#### **4.3.3 Електробезпека**

На робочому місці виконуються наступні вимоги електробезпеки: персональний комп'ютер, периферійні пристрої та устаткування для обслуговування, електропроводи і кабелі за виконанням та ступенем захисту відповідають класу зони за ПУЕ (правила улаштування електроустановок), мають апаратуру захисту від струму короткого замикання та інших аварійних

режимів. Лінія електромережі для живлення персонального комп'ютера, периферійних пристроїв і устаткування для обслуговування, виконана як окрема групова трипровідна мережа, шляхом прокладання фазового, нульового робочого та нульового захисного провідників. Нульовий захисний провідник використовується для заземлення (занулення) електроприймачів. Штепсельні з'єднання та електророзетки крім контактів фазового та нульового робочого провідників мають спеціальні контакти для підключення нульового захисного провідника. Електромережа штепсельних розеток для живлення персональних персональний комп'ютер укладено по підлозі поруч зі стінами відповідно до затвердженого плану розміщення обладнання та технічних характеристик обладнання. Металеві труби та гнучкі металеві рукави заземлені. Захисне заземлення включає в себе заземлюючих пристроїв і провідник, який з'єднує заземлюючий пристрій з обладнанням, яке заземлюється - заземлюючий провідник.

#### **4.4 Гігієнічні вимоги до параметрів виробничого середовища**

##### **4.4.1 Мікроклімат**

Мікроклімат робочих приміщень – це клімат внутрішнього середовища цих приміщень, що визначається діючої на організм людини з'єднанням температури, вологості, швидкості переміщення повітря. Оптимальні значення мікроклімату для робочого місця відповідають ДСН 3.3.6.042-99 [2] (табл.4):

Таблиця 4 – Норми мікроклімату робочої зони об'єкту

<b>Період року</b>	<b>Категорія робіт</b>	<b>Температура С<sup>0</sup></b>	<b>Відносна вологість %</b>	<b>Швидкість руху повітря, м/с</b>
Холодна	легка-1 а	22 - 24	40 – 60	0,1
Тепла	легка-1 а	23 - 25	40 – 60	0,1

У приміщенні на робочому місці забезпечуються оптимальні значення параметрів мікроклімату. Дане приміщення обладнане системою опалення, кондиціонування повітря. Також має здійснюватися провітрювання приміщення, в залежності від погодних умов, тривалість повинна бути не менше 10 хв. Найкращий обмін повітря здійснюється при наскрізному провітрюванні.

Рівні позитивних і негативних іонів у повітрі мають відповідати ДСН 3.3.6.042-99 [2].

#### **4.4.2 Освітлення**

Світло є природною умовою існування людини. Воно впливає на стан вищих психічних функцій і фізіологічні процеси в організмі. Хороше освітлення діє тонізуюче, створює гарний настрій, покращує протікання основних процесів вищої нервової діяльності.

У приміщенні, де розташовані ЕОМ передбачається природне бічне освітлення, рівень якого відповідає ДБН В.2.5-28:2018 [5]. Джерелом природного освітлення є сонячне світло. Регулярно повинен проводитися контроль освітленості, який підтверджує, що рівень освітленості задовольняє ДБН і для даного приміщення в світлий час доби достатньо природного освітлення.

#### **Розрахунок освітлення.**

Для виробничих та адміністративних приміщень світловий коефіцієнт приймається не менше  $1/8$ , в побутових –  $1/10$ :

$$S_b = \left( \frac{1}{5} \div \frac{1}{10} \right) \cdot S_n, \quad (4.1)$$

де  $S_b$  – площа віконних прорізів,  $m^2$ ;

$S_n$  – площа підлоги,  $m^2$ .

$$S_n = a \cdot b = 5 \cdot 5 = 25 \text{ м}^2,$$

$$S = 1/8 \cdot 25 = 3,125 \text{ м}^2.$$

Приймаємо 2 вікна площею  $S=1,6 \text{ м}^2$  кожне.

Розрахунок штучного освітлення виробляється по коефіцієнтах використання світлового потоку, яким визначається потік, необхідний для створення заданої освітленості при загальному рівномірному освітленні.

Розрахунок кількості світильників  $n$  виробляється по формулі (4.2):

$$n = \frac{E \cdot S \cdot Z \cdot K}{F \cdot U \cdot M}, \quad (4.2)$$

де  $E$  – нормована освітленість робочої поверхні, визначається нормами – 300 лк;

$S$  – освітлювана площа,  $m^2$ ;  $S = 25 \text{ м}^2$ ;

$Z$  – поправочний коефіцієнт світильника ( $Z=1,15$  для ламп розжарювання та ДРЛ;  $Z = 1,1$  для люмінесцентних ламп) приймаємо рівним 1,1;

$K$  – коефіцієнт запасу, що враховує зниження освітленості в процесі експлуатації – 1,5;

$U$  – коефіцієнт використання, залежний від типу світильника, показника індексу приміщення і т.п. – 0,575

$M$  – число люмінесцентних ламп в світильнику – 2;

$F$  – світловий потік лампи – 5400лм (для ЛБ-80).

Підставивши числові значення у формулу (4.2), отримуємо:



$$n = \frac{300 \cdot 25 \cdot 1,1 \cdot 1,5}{5400 \cdot 0,575 \cdot 2} \approx 2,0$$

Приймаємо освітлювальну установку, яка складається з 2-х світильників, які складаються з двох люмінесцентних ламп загальною потужністю 160 Вт, напругою – 220 В.

#### **4.4.3 Шум та вібрація, електромагнітне випромінювання**

Рівень шуму, зумовлений як роботою системного блоку, клавіатури, так і друкуванням на принтері, а також зовнішніми чинниками, коливається у межах 50–65 дБА ДСН 3.3.6.042-99 [2].

Віброізоляцію можливо здійснювати за допомогою спеціальної прокладки під системний блок, яка послаблює передачу вібрацій робочого столу. Вібрація на робочому місці в приміщенні, що розглядається, відповідає нормам ДСН 3.3.6.042-99 [2].

#### **4.5 Заходи з організації виробничого середовища та попередження виникнення надзвичайних ситуацій**

Відповідно до санітарно-гігієнічних нормативів та правил експлуатації обладнання передбачено наступні заходи безпеки під час експлуатації персонального комп'ютера та периферійних пристроїв:

- правильне організування місця праці та дотримання оптимальних режимів праці та відпочинку під час роботи з ПК;
- експлуатацію сертифікованого обладнання;
- дотримання заходів електробезпеки;
- забезпечення оптимальних параметрів мікроклімату;
- забезпечення раціонального освітлення місця праці (освітленість робочого місця не перевищувала 2/3 нормальної освітленості приміщення);

- облаштовуючи приміщення для роботи з ПК, потрібно передбачити припливно-витяжну вентиляцію або кондиціонування повітря.

Крім того, потрібно дотримуватися правил безпеки під час експлуатації інших електричних приладів та вимоги безпеки при надзвичайних ситуаціях.

### **Розрахунок захисного заземлення (забезпечення електробезпеки будівлі).**

Згідно з класифікацією приміщень за ступенем небезпеки ураження електричним струмом, приміщення в якому проводиться робота відноситься до першого класу (без підвищеної небезпеки). Коефіцієнт використання вертикальних заземлювачів  $\eta_v$  в залежності від розміщення заземлювачів та їх кількості знаходиться в межах 0,4...0,99. Взаємну екрануючу дію горизонтального заземлювача (з'єднувальної смуги) враховують за допомогою коефіцієнта використання горизонтального заземлювача  $\eta_c$ .

Послідовність розрахунку.

1) Визначається необхідний опір штучних заземлювачів  $R_{шт.з.}$ :

$$R_{шт.з.} = \frac{R_d \cdot R_{пр.з.}}{R_{пр.з.} - R_d}, \quad (4.3)$$

де  $R_{пр.з.}$  – опір природних заземлювачів;  $R_d$  – допустимий опір заземлення. Якщо природні заземлювачі відсутні, то  $R_{шт.з.} = R_d$ .

Підставивши числові значення у формулу (4.3), отримуємо:

$$R_{шт.з.} = \frac{4 \cdot 40}{40 - 4} \approx 4 \text{ Ом}$$

2) Опір заземлення в значній мірі залежить від питомого опору ґрунту  $\rho$ , Ом·м. Приблизне значення питомого опору глини приймаємо  $\rho=40$  Ом·м (табличне значення).

3) Розрахунковий питомий опір ґрунту,  $\rho_{\text{розр.}}$ , Ом·м, визначається відповідно для вертикальних заземлювачів  $\rho_{\text{розр.в}}$ , і горизонтальних  $\rho_{\text{розр.г}}$ , Ом·м за формулою:

$$\rho_{\text{розр.}} = \psi \cdot \rho, \quad (4.4)$$

де  $\psi$  – коефіцієнт сезонності для вертикальних заземлювачів І кліматичної зони з нормальною вологістю землі, приймається для вертикальних заземлювачів  $\rho_{\text{розр.в}}=1,7$  і горизонтальних  $\rho_{\text{розр.г}}=5,5$  Ом·м.

$$\rho_{\text{розр.в}} = 1,7 \cdot 40 = 68 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

$$\rho_{\text{розр.г}} = 5,5 \cdot 40 = 220 \text{ Ом}\cdot\text{м}$$

4) Розраховується опір розтікання струму вертикального заземлювача  $R_{\text{в}}$ , Ом, за формулою (4.5).

$$R_{\text{в}} = \frac{\rho_{\text{розр.в}}}{2 \cdot \pi \cdot l_{\text{в}}} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot l_{\text{в}}}{d_{\text{ст}}} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot t + l_{\text{в}}}{4 \cdot t - l_{\text{в}}} \right), \quad (4.5)$$

де  $l_{\text{в}}$  – довжина вертикального заземлювача (для труб - 2–3 м;  $l_{\text{в}}=3$  м);

$d_{\text{ст}}$  – діаметр стержня (для труб - 0,03–0,05 м;  $d_{\text{ст}}=0,05$  м);

$t$  – відстань від поверхні землі до середини заземлювача, яка визначається за формулою (4.6):

$$t = h_{\text{в}} + \frac{l_{\text{в}}}{2}, \quad (4.6)$$

де  $h_{\text{в}}$  – глибина закладання вертикальних заземлювачів (0,8 м); тоді

$$t = 0,8 + \frac{3}{2} = 2,3 \text{ м}$$

$$R_B = \frac{68}{2 \cdot \pi \cdot 3} \cdot \left( \ln \frac{2 \cdot 3}{0,05} + \frac{1}{2} \cdot \ln \frac{4 \cdot 2,3 + 3}{4 \cdot 2,3 - 3} \right) = 18,5 \text{ Ом}$$

5) Визначається теоретична кількість вертикальних заземлювачів  $n$  штук, без урахування коефіцієнта використання  $\eta_B$ :

$$n = \frac{2 \cdot R_B}{R_d} = \frac{2 \cdot 18,5}{4} = 9,25 \quad (4.7)$$

$\Gamma$  визначається коефіцієнт використання вертикальних електродів групового заземлювача без врахування впливу з'єднувальної стрічки  $\eta_B = 0,57$  (табличне значення).

б) Визначається необхідна кількість вертикальних заземлювачів з урахуванням коефіцієнта використання  $n_B$ , шт:

$$n_B = \frac{2 \cdot R_B}{R_d \cdot \eta_B} = \frac{2 \cdot 18,5}{4 \cdot 0,57} = 16,2 \approx 16 \quad (4.8)$$

7) Визначається довжина з'єднувальної стрічки горизонтального заземлювача  $l_c$ , м:

$$l_c = 1,05 \cdot L_B \cdot (n_B - 1), \quad (4.9)$$

де  $L_B$  – відстань між вертикальними заземлювачами, (прийняти за  $L_B = 3\text{м}$ );

$n_B$  – необхідна кількість вертикальних заземлювачів.

$$l_c = 1,05 \cdot 3 \cdot (16 - 1) \approx 48\text{м}$$

8) Визначається опір розтіканню струму горизонтального заземлювача (з'єднувальної стрічки)  $R_{\Gamma}$ , Ом:

$$R_{\Gamma} = \frac{\rho_{\text{розр.}\Gamma}}{2 \cdot \pi \cdot l_c} \cdot \ln \frac{2 \cdot l_c^2}{d_{\text{см}} \cdot h_{\Gamma}}, \quad (4.10)$$

де  $d_{\text{см}}$  – еквівалентний діаметр смуги шириною  $b$ ,  $d_{\text{см}} = 0,95b$ ,  $b = 0,15$  м;

$h_{\Gamma}$  – глибина закладання горизонтальних заземлювачів (0,5 м);

$l_c$  – довжина з'єднувальної стрічки горизонтального заземлювача  $l_c$ , м

$$R_{\Gamma} = \frac{220}{2 \cdot \pi \cdot 48} \cdot \ln \frac{2 \cdot 48^2}{0,95 \cdot 0,15 \cdot 0,5} = 8,1 \text{ Ом}$$

9) Визначається коефіцієнт використання горизонтального заземлювача  $\eta_c$  відповідно до необхідної кількості вертикальних заземлювачів  $n_B$ .

Коефіцієнт використання з'єднувальної смуги  $\eta_c = 0,3$  (табличне значення).

10) Розраховується результуючий опір заземлювального електроду з урахуванням з'єднувальної смуги:

$$R_{\text{заг}} = \frac{R_B \cdot R_{\Gamma}}{R_B \cdot \eta_c + R_{\Gamma} \cdot n_B \cdot \eta_B} \leq R_d. \quad (4.11)$$

Висновок: дане захисне заземлення буде забезпечувати електробезпеку будівлі, так як виконується умова:  $R_{\text{заг}} < 4$  Ом, а саме:

$$R_{\text{заг}} = \frac{18,5 \cdot 8,1}{18,5 \cdot 0,3 + 8,1 \cdot 16 \cdot 0,57} = 1,9 \leq R_d$$

#### **Висновки до розділу 4**

В даному розділі проведено аналіз потенційних небезпечних та шкідливих виробничих факторів, причин пожеж. Розглянуті заходи, які дозволяють забезпечити гігієну праці і виробничу санітарію. На підставі аналізу розроблені заходи з техніки безпеки та рекомендації з пожежної профілактики.

## ВИСНОВКИ

При програмно-апаратному способі реалізації алгоритм описується на апаратно-орієнтованій мові програмування (наприклад, на мові Сі із спеціальними бібліотеками) з урахуванням апаратної архітектури, на якій реалізовуватиметься задана програма. Це, як правило, різні сімейства мікроконтролерів.

Етап розробки алгоритму управління є найбільш відповідальним, оскільки помилки цього етапу зазвичай виявляються тільки при випробуваннях закінченого виробу і призводять до необхідності перепроектування усього пристрою. Розробка алгоритму зазвичай зводиться до вибору одного з декількох можливих варіантів алгоритмів, що відрізняються співвідношенням об'єму програмного забезпечення і апаратних засобів. При цьому необхідно виходити з того, що максимальне використання апаратних засобів спрощує розробку і забезпечує високу швидкодію мікроконтролера в цілому, але супроводжується, як правило, збільшенням вартості і споживаної потужності.

При експертному обранні мікроконтролерних пристроїв запропоновано використовувати системи підтримки прийняття рішень. Для автоматизації процесу обрання запропоновано використовувати ССПР, до складу якої входить блок нечіткого виведення. В якості бази знань використовується продукційні правила. Знання у вигляді правил легко формулюються і сприймаються експертами, однак процес їх створення і аналізу вкрай утруднений.

Проаналізовані сімейства мікроконтролерів, які є найбільш вживаними в системах логічного управління. Визначені критерії обрання, які використовуються на кожному з рівнів. Запропонована дворівнева модель обрання мікроконтролерів, на першому рівні обирається сімейство, а на другому модель мікроконтролера всередині сімейства.

Для спрощення процесу аналізу ПП запропонована процедура

перетворення розгорнутої форми їх подання в кубічну форму. Для цього було запропоновано багатозначний алфавіт кубічного обчислення на основі трьох примітивів. Для обчислювальної реалізації операцій з символами багатозначного алфавіту використана кубічна форма їх кодування, а також наведені теоретико-множинні і логічні операції в кубічному кодуванні символів алфавіту.

Практичною реалізацією запропонованого алгоритму вводу та перевірки ПП на коректність стала програма, що дозволяє значно скоротити час підготовки бази ПП для нечіткої ЕСД. Розроблений програмний продукт – інтерфейс користувача, який дозволяє наочно через візуальний інтерфейс готувати запит замовник.



## ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАНЬ

1. Тимочка О.І. Проектування інформаційного забезпечення діяльності оператора у перспективних системах керування / О.А. Тимочко // Наука і техніка повітряних сил Збройних сил України. – 2013. – №3 (12). – С. 144-149.
2. Літвин О.О. Системи підтримки прийняття рішень в хірургії / О.О. Літвин, В.О. Літвин // Новини хірургії. – 2014. – Том 22, №1.– С. 96-100.
3. Фролова М.С. Системи підтримки прийняття рішень для задач обладнання лікувальних установ медичною технікою / М.С. Фролова, С.В. Фролов, І.О. Толстухін // Університет ім. В.І. Вернадського. – Спеціальний випуск (52). – 2014.– С. – 106 - 11.
4. Іванов О.В. Аналіз факторів, що впливають, і побудова системи підтримки прийняття рішень при випробування РКТ на основі багатокритеріальної оптимізації / О.В. Іванов, В.П. Корячко, С.О. Серіков // Цифрова обробка сигналів. – 2010. – №10. – С. 13- 16.
5. Лисецький Ю.М. СППР для вибору елементного базису корпоративних інтегрованих інформаційних систем / Ю.М. Лисецький // Математичні машини і системи. – 2017. – №3 .– С. 23-37.
6. Волкова О.Р. Інформаційно-логічна модель СППР інтелектуальної системи оперативної діагностики / О.Р. Волкова, М.І. Козлова // Міжнародний науково-дослідницький журнал. – 2018. – № 07(73). – С. 25-29.
7. Стрелковська Л.О. Аналіз існуючих методів визначення технічного стану суднового двигуна / Л.О. Стрелковська // Двигуни внутрішнього згорання. – 2016. – № 2.– С. 91-96.
8. Степанов В.В. Сучасні архітектури інтелектуальних систем підтримки прийняття рішень / В.В. Степанов, К.М. Ліпін, І.Д. Коробейников // Наукові праці КубГТУ. – 2018. – №3. – С. 324-334.
9. Джарратано Д. Експертні системи. Принципи розробки та програмування / Дж. Джарратано, Г. Райли. – М: Вільямс, 2007. – 1152 с.

10. Гаврилова Т.А. Базы знаний интеллектуальных систем: учебник / Т.А. Гаврилова, В.Ф. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.

11. Post, E. L. Formal Reductions of the General Combinatorial Decision Problem / E. L. Post // American Journal of Mathematics. – 1943. – v. 65(2). – P. 197-215.

12. Круглов, В. В. Нечёткая логика та штучні нейронні мережі / В. В. Круглов, М. І. Длі, Р. Ю. Голунов. – М.: ФІЗМАТЛІТ, 2001. – 201 с.

13. Люггер, Дж. Ф. Искусственный интеллект. Стратегии и методы решения сложных проблем, 4-е издание: пер. с англ / Дж. Ф. Люггер. – М: «Вильямс», 2003. – 863 с.

14. Каргин, А. А. Введение в интеллектуальные машины. Книга 1. Интеллектуальные регуляторы / А. А. Каргин. – Донецк: Норд-Пресс, ДонНУ, 2010. – 526 с.

15. Кольцова Э.М. Экспертная система по выбору оптимального технологического процесса переработки природного газа / Э.М. Кольцова, А.М. Васецкий, А.В. Игумнов, Е.Б. Филиппова // Вестник СГТУ. – 2012. – № 1 (64), выпуск 2 . – С. 270-273.

16. Меркулова Е.В. Продукционная экспертная система для помощи пользователю в выборе планшета / Е.В. Меркулова, Е.Г. Симонова, А.А. Морозова // Науково-практична конференція «ТАК», ДонНТУ. – 2015. – С. 115-118.

17. Субботін С. О. Подання й обробка знань у системах штучного інтелекту ті підтримки прийняття рішень: Навчальний посібник/ С.О. Субботін. – Запоріжжя: ЗНТУ, 2008. – 341 с.

18. Блюмин С. Л. Модели и методы принятия решений в условиях неопределенности / С. Л. Блюмин, И. А. Шуйкова. – Липецк: ЛЭГИ, 2001. – 138 с.

19. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применение к принятию приближенных решений / Л.А. Заде. – М.: Мир, 1976. – 168 с.

20. Гаврилова, Т. А. Базы знаний интеллектуальных систем / Т. А. Гаврилова, В. Г. Хорошевский. – СПб.: Питер, 2000. – 384 с.

21. ESP-12E WiFi Module [Электронный ресурс] / Shenzhen Anxinke Technology CO;LTD. – Режим доступа: [www / URL: http://www.ai-thinker.com](http://www.ai-thinker.com) – 26.02.2018 г. – Загл. с экрана.

22. ATtiny2313A [Электронный ресурс] / ATMEL. 8-bit Microcontroller with 2/4K Bytes In-System Programmable Flash – Режим доступа: [www / URL: https://www.mouser.com/ds/2/268/doc8246-1066134.pdf](http://www.mouser.com/ds/2/268/doc8246-1066134.pdf) – 26.02.2018 г. – Загл. с экрана.

23. Магда Ю.С. Микроконтроллеры серии 8051: практический подход / Ю.С. Магда. – М.: ДМК Пресс, 2008. – 228 с.

24. 8 преимуществ STM8 [Электронный ресурс] / Компания КОМПЕЛ – Режим доступа: [www / URL: https://www.compel.ru/lib/ne/2010/6/3-vosem-preimushhestv-stm8](https://www.compel.ru/lib/ne/2010/6/3-vosem-preimushhestv-stm8) – 26.02.2018 г. – Загл. с экрана.

25. Крылов Е. STM32 – 32\_разрядные микроконтроллеры на основе ядра ARM Cortex\_M3 // Компоненты и технологии – 2008 – № 11. – С. 82-85.

26. Штовба С.Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. – Винница: Издательство винницкого государственного технического университета, 2001. – 198 с.

27. Классификация микроконтроллеров [Электронный ресурс] / RadioStorage.net - радиоэлектроника, схемы и статьи радиолюбителям . – Режим доступа: [www / URL: http://radiostorage.net/1022-klassifikaciya-mikrokontrollerov.html](http://radiostorage.net/1022-klassifikaciya-mikrokontrollerov.html) – 26.11.2018 г. – Загл. с экрана.

28. Леоненков А. В. Нечеткое моделирование в среде MATLAB и fuzzyTECH. – СПб.: БХВ-Петербург, 2005. – 736 с.

29. Кривуля, Г. Ф. Анализ корректности продукционных правил в системах нечеткого логического вывода с использованием квантовых моделей / Г. Ф. Кривуля, А. С. Шкиль, Д. Е. Кучеренко // АСУ и приборы автоматизации. – 2013. – Вып. 165. – С. 42-53.

30. Закон України «Про охорону праці». Режим доступу:  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2694-12> - 10.14.1992 р.

31. Державні санітарні норми. ДСН 3.3.6.042-99 «Санітарні норми мікроклімату виробничих приміщень» - Режим доступу:  
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/va042282-99> - 01.02.1999 р.

32. Державні санітарні правила і норми. ДСанПіН 3.3.2.007-98 «Державні санітарні правила і норми роботи з візуальними дисплейними терміналами електронно-обчислювальних машин» - Режим доступу:  
<https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0007282-98> - 10.12.1998 р.

33. Державний стандарт України. ДСТУ Б В.2.5-82:2016 «Електробезпека в будівлях і спорудах. Вимоги до захисних заходів від ураження електричним струмом» - Режим доступу:  
<http://epicentre.co.ua/dstu/doc28522.html> - 01.07.2016 р.

34. Державні будівельні норми. ДБН В.2.5-28:2018 «Природне і штучне освітлення» - Режим доступу: <http://www.minregion.gov.ua/wp-content/uploads/2018/12/V2528-1.pdf> - 03.10.2018

35. Нормативно-правовий акт з охорони праці. НПАОП 0.00-7.15-18 «Вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я працівників під час роботи з екранними пристроями» - Режим доступу:  
<https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0508-18> - 14.02.2018 р.

36. Державний стандарт України. ДСТУ Б В.1.1-36:2016 «Визначення категорій приміщень, будинків, установок за вибухопожежною та пожежною небезпекою» - Режим доступу:  
[https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu\\_b\\_v\\_1\\_1\\_36/5-1-0-1759](https://dbn.co.ua/load/normativy/dstu/dstu_b_v_1_1_36/5-1-0-1759)

# ДОДАТОК А

## Комп'ютерна презентація

СХІДНОУКРАЇНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМ. В. ДАЛЯ  
ФАКУЛЬТЕТ ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ТА ЕЛЕКТРОНІКИ  
КАФЕДРА КОМП'ЮТЕРНИХ НАУК ТА ІНЖЕНЕРІЇ

### ДИПЛОМНИЙ ПРОЕКТ (РОБОТА) БАКАЛАВРА НА ТЕМУ:

Модуль шифрування даних для використання в  
сенсорних мережах

виконав:

студент групи КІ-16д

Шуліка Богдан Олегович

Керівник:

доц. Недзельський Д.О.

1

Рисунок А.1- Слайд №1

## Постановка задачі

Мета роботи – розробка експертної системи підтримки прийняття рішень (СППР) при обранні мікроконтролерного пристрою в системах логічного управління з використанням методів і процедур нечіткої логіки.

Для досягнення поставленої мети необхідно вирішити такі задачі:

- провести аналіз вимог до технологічної платформи реалізації систем логічного управління;
- провести аналіз техніко-економічних характеристик сучасних мікроконтролерних систем;
- визначити критерії, які впливають на обрання типу мікроконтролерних пристроїв в системах логічного управління;
- розробити нечітку модель обрання мікроконтролерних пристроїв на основі продукційних правил;
- розробити структуру системи підтримки прийняття рішення на основі математичного процесора MATLAB.

2

Рисунок А.2- Слайд №2

## Системи підтримки прийняття рішень

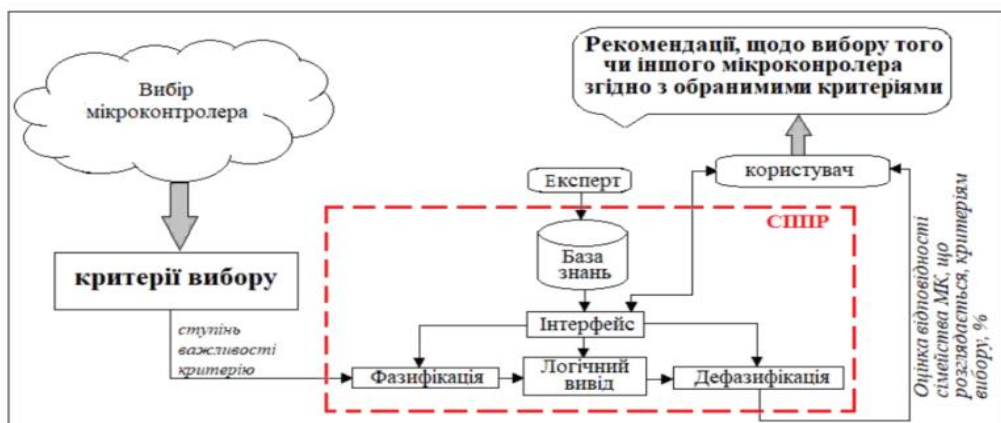
- **Експертні системи (ЭС)** - це комп'ютерні системи, що використовують знання і досвід експертів - фахівців високої кваліфікації фахівцями менш високої кваліфікації для вирішення завдань, що виникають в області їх практичної діяльності.
- **Системи підтримки прийняття рішень (СППР)** - це експертні системи, які відображають професійний досвід фахівця, який він накопичив у процесі своєї професійної діяльності в області проектування мікропроцесорної техніки.
- Використання **СППР** пояснюється тим, що людина не може вмиг дати відповідь на будь-яке питання навіть в тій сфері, в якій він є професіоналом. Цей факт є слідством того, що досвід конкретної людини слабшає, він повинен постійно практикуватися, щоб зберегти свій професійний рівень.

3

Рисунок А.1- Слайд №3

## Нечітка логіка в СППР

Найчастіше знання експертів, які відображають їх професійний досвід, накопичений в процесі діяльності, існує у фахівця підсвідомо. Саме цей факт і зумовив вибір нечіткої логіки в якості алгоритму логічного виводу для СППР



4

Рисунок А.1- Слайд №4

## Продукційні правила в СППР

Моделлю представлення знань можуть виступати моделі, створені як на основі евристичного підходу (**продукційні правила (ПП)**, фрейми, семантичні мережі), так і на основі теоретичного (формальна логіка предикатів, модальна і багатозначна логіка).

- Продукційна модель нині є однією з найпоширеніших моделей представлення знань. Головним достоїнством продукційної моделі знань є простота поповнення БЗ і її редагування; простота реалізації механізму логічного висновку і наочність пояснення результатів роботи системи



Рисунок А.1- Слайд №5

## Вхідні та вихідні лінгвістичні змінні, їх терми та функції приналежності

При обранні кількості діапазонів числових або якісних значень критеріїв слід виходити з можливості користувача визначити приналежність значень критерію до відповідного діапазону. Тому тут доцільно використовувати традиційну трирівневу систему оцінювання («добре» (В) – «середнє» (С) – «малозадовільно» (Н)) як для вхідних логічних змінних так і для вихідної.



Терми	Діапазони	Ширинна	М	$\sigma$
Н	0 40	41	20	10,25
С	30 70	41	50	10,25
В	60 100	41	80	10,25



Рисунок А.1- Слайд №6

## Кубічна форма представлення ПП

Для формалізації процесу синтезу и аналізу бази ПП будемо користуватися представленням кон'юнкцій термів ЛЗ у векторній формі, подібно кубічному представленню логічних функцій у багатозначному алфавіті.

Приклад ПП, наведених у **класичній розгорнутій формі**:

(КР - значення критерію, РВ - результат вибору)

ЯКЩО  $\{KK_1 = H\} \text{ I } \{KK_2 = H\} \text{ I } \{KK_4 = C\}$  АБО,  
 $\{KK_1 = C\} \text{ I } \{KK_3 = H\} \text{ I } \{KK_4 = H\}$  АБО,  
 $\{KK_1 = H\} \text{ I } \{KK_2 = H\} \text{ I } \{KK_3 = C\}$   
ТО РВ=Н

В **кубічній формі** ці ПП приймають наступний вигляд:

$$PB^H = \{HHXC, CXHH, HHCX\}$$

7

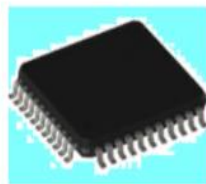
Рисунок А.1- Слайд №7

## Сімейства мікроконтролерів

**«Ядро»** – базова структура, що визначає систему команд,  
**«Сімейство»** – група мікросхем, що мають одне ядро, у яких приблизно однаковий набір програмних і периферійних функцій.



ESP



ATMega



ATtiny



MCS51



STM8



STM32

8

Рисунок А.1- Слайд №8



## Класифікація мікроконтролерів

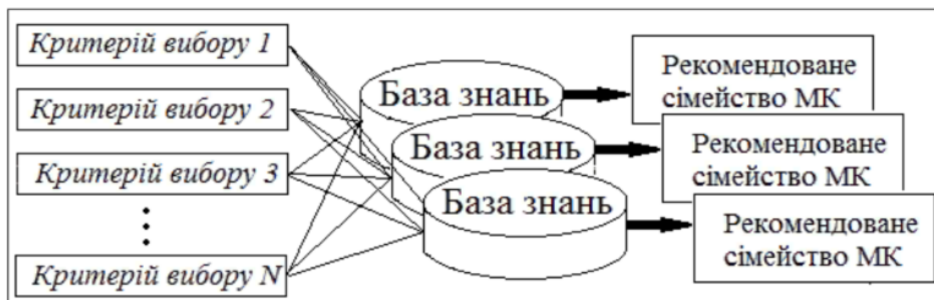
- **«Ядро»** – базова структура, що визначає систему команд, шинний інтерфейс, архітектуру пам'яті, тобто корінні відмінності «обчислювачів» один від одного. Розрізняють МК з ядром ESP, AVR (Atmel), MCS51 (Intel), ARM, STM8, STM832 тощо. Процесорне ядро може бути однаковим, а фірми-виробники – різними.
- **«Сімейство»** – група мікросхем, що мають одне ядро, у яких приблизно однаковий набір програмних і периферійних функцій. Сімейство може розбиватися на більш дрібні підродини.
- **«Серія»** (або **«лінійка»**) – це фірмовий бренд або рекламний слоган, наприклад, серія «Classic», серія «tinyAVR», лінійка «MegaPIC». Зустрічаються і загальні назви на кшталт «лінійка 16-бітних МК загального призначення».
- **«Модель»** – кілька мікросхем одного сімейства, що розрізняються між собою другорядними цифрами (літерами) в назві, що визначає різний температурний діапазон, тактову частоту, варіант корпусу, живлення.

9

Рисунок А.1- Слайд №9

## Дворівнева модель

Пропонується дворівнева система побудови нечіткого логічного виводу. На першому рівні застосовуються так звані **критерії користувача або замовника**, а на другому **рівні – техніко-економічні або конструкторські критерії**. При такому поділі критерії першого рівня визначають сімейство мікроконтролерів, а критерії другого рівня – модель мікроконтролера в лінійці МК всередині сімейства.

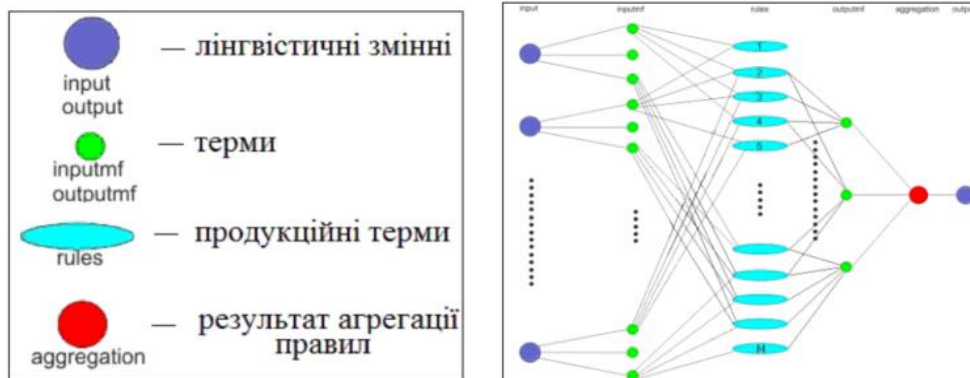


10

Рисунок А.1- Слайд №10

## Система нечіткого логічного виводу

При обранні кількості критеріїв слід враховувати, що велика кількість критеріїв призведе до необхідності розробки великої кількості ПП (верхня межа кількості ПП дорівнює  $m^k$ , де  $k$  – кількість логічних змінних,  $m$  – кількість термів логічної змінної), а мала кількість критеріїв – до втрати гнучкості та зручності СППР. При  $m=3$ , доцільно визначити **кількість критеріїв  $k=5$** .



11

Рисунок А.1- Слайд №11

## Критерії першого рівня

Критерії першого рівня є відносними. При цьому діапазони значень критеріїв (кількісні або якісні) будуть **порівняльними характеристиками** значень цього критерію серед обраних для порівняння сімейств МК.

- $K_1^1$  - Наявність пристроїв для зв'язку (Wi-Fi, Bluetooth тощо).
- $K_2^1$  - Наявність інтегрованих в мікросхему периферійних пристроїв (таймери, АЦП, ШІМ тощо).
- $K_3^1$  - Підтримка (наявність) інтерфейсів передачі даних (I2C, SPI, UART / USART, CAN, USB тощо).
- $K_4^1$  - Підтримка комерційними IDE (в разі відсутності підтримки конкретного середовища розробки через несумісність з операційною системою).
- $K_5^1$  - Наявність відповідного сімейства МК в бібліотеках САПР для збірки і симуляції схем.

12

Рисунок А.1- Слайд №12

## Значення критеріїв першого рівня для обраних сімейств

Найбільш придатні значення логічних змінних для критеріїв  
першого рівня для сімейств МК, що аналізуються

Сімейство МК	Найменування критерію				
	Наявність пристроїв для зв'язку (WiFi, Bluetooth і т.д.)	Наявність інтегрованих в мікросхему пристроїв (таймери, АЦП, ШІМ тощо)	Підтримка інтерфейсів передачі даних (I2C, SPI, UART / USART, CAN, USB і тощо.)	Підтримка комерційними IDE	Наявність сімейства в бібліотеках САПР для збірки і симуляції
ESP	В	Н	С	С	Н
ATMega	Н	С	С	С	В
ATtiny	Н	Н	Н	С	В
MCS51	Н	С	С	С	В
STM8	Н	В	В	В	С
STM32	Н	В	В	В	Н

13

Рисунок А.1- Слайд №13

## Продукційні правила першого рівня для вибору сімейства ESP

Критерії вибору					Терми вихідної ЛЗ
K1	K2	K3	K4	K5	
Н	Х	Н	Н	Н	В
С	С	С	С	Н	
С	С	С	С	С	
Н	С	С	С	Н	
Н	С	С	С	С	
С	Н	С	С	Н	
С	Н	С	С	С	
Н	Н	С	С	Н	
Н	Н	С	С	С	
С	С	Н	С	Н	
С	С	Н	С	С	
Н	С	Н	С	Н	
Н	С	Н	С	С	
С	Н	Н	С	Н	
С	Н	Н	С	С	
Н	Н	Н	С	Н	
Н	Н	Н	С	С	
С	Н	Н	Н	Н	
С	Н	Н	Н	С	
...	...	...	...	...	

Критерії вибору					Терми вихідної ЛЗ
K1	K2	K3	K4	K5	
Х	Х	Х	Х	В	Н
Х	Х	Х	В	П	
Х	Х	В	Н	Н	
Х	Х	Х	В	С	
Х	Х	В	Н	С	
Х	В	Х	С	Н	
Х	В	С	Н	Н	
Х	В	Н	Н	С	
Х	В	С	С	С	
Х	Х	В	С	С	
В	Х	Н	С	С	
В	Н	С	С	Н	
В	Н	С	Н	Н	
В	С	Н	Н	С	
В	П	П	П	С	
С	В	Н	С	С	
Н	В	Н	С	С	
В	С	С	С	С	
В	П	С	С	С	
С	В	С	Н	С	
...	...	...	...	...	

14

Рисунок А.1- Слайд №14

## Критерії другого рівня

Критерії другого рівня є абсолютними. При цьому діапазони значень критеріїв (в основному кількісні) **визначаються на обраній шкалі оцінювання**, при умові, що максимальне значення критерію відповідає 100% , а мінімальне – 1%, тобто діапазон значень є { 1 – 100}.

- $K_1^2$  - Швидкодія (тактова частота), діапазон { 1 – 100};
- $K_2^2$  - Об'єм пам'яті (Flash, ОЗУ (RAM) і ПЗУ (ROM / EPROM / EEPROM)), діапазон {1 – 100};
- $K_3^2$  - Споживана потужність (струм), діапазон { 100 – 1};
- $K_4^2$  - Ціна (з периферією і конструктивом (враховуючи типорозміри корпусів), діапазон { 100 – 1};
- $K_5^2$  - Наявність налагоджувальних (оціночних) плат, boards, програматорів, діапазон {1 –100}.

15

Рисунок А.1- Слайд №15

## Значення критеріїв другого рівня для сімейства ESP

Найбільш придатні (граничні) значення логічних змінних для критеріїв другого рівня сімейства ESP

Модель МК	Найменування критерію				
	Швидко-дія (тактова частота, МГц)	Об'єм пам'яті (Flash, ОЗП (RAM) і ПЗП (ROM / EPROM / EEPROM, Кб)	Споживана потужність (струм, мА)	Ціна (з периферією і конструктивом (типорозміром корпусів, \$)	Наявність відладочних (оціночних) плат, boards, програматоров
Значення термів логічних змінних					
ESP8266 (ESP-01)	Н	Н	С	Н (до 100 грн)	В
ESP8266 (ESP-11) або ESP8266 (ESP-12)	Н	Н	С	С (до 150 грн)	В
ESP8285 (ESP-1) або (ESP-M3)	С	С	Н	С (до 150 грн)	С
ESP-32	В	В	В	В (понад 150 грн)	Н

16

Рисунок А.1- Слайд №16

## Продукційні правила другого рівня для сімейства ESP

Найбільш придатні значення логічних змінних для критеріїв другого рівня сімейства ESP та продукційні правила для МК ESP 8266 (ESP-01)

Критерії вибору					Терми вихідної ЛЗ
$K_1^2$	$K_2^2$	$K_3^2$	$K_4^2$	$K_5^2$	
Н	Н	С	Н	В	ESP8266 (ESP-01)
Н	Н	С	С	В	ESP8266 (ESP-11) або ESP8266 (ESP-12)
С	С	Н	С	С	ESP8285 (ESP-1) або ESP8285 (ESP-М3)
В	В	В	В	Н	ESP-32

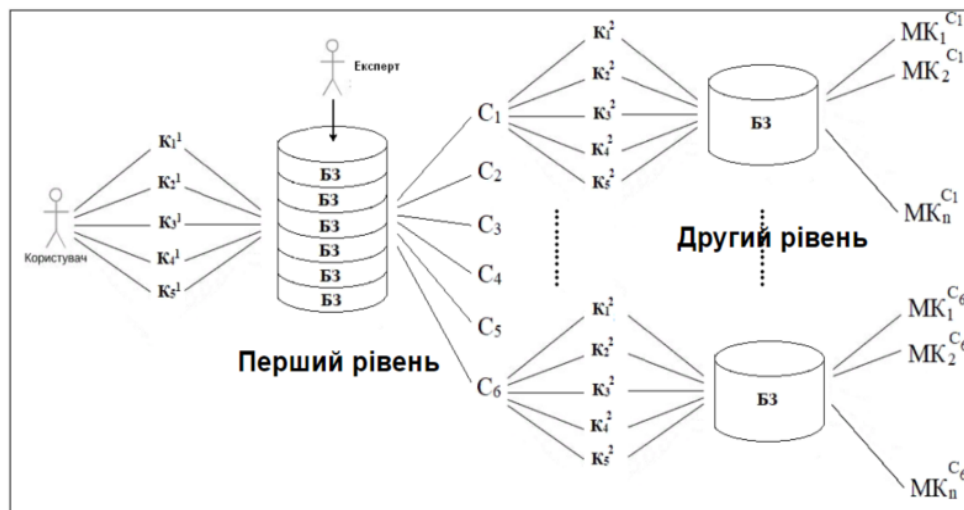
Фрагмент бази продукційних правил для ESP-01

1. If (k12 is H) and (k22 is H) and (k32 is H) and (k42 is H) and (k52 is H) then (esp-01 is H) (1)
2. If (k12 is H) and (k22 is H) and (k32 is C) and (k42 is H) and (k52 is C) then (esp-01 is C) (1)
3. If (k12 is H) and (k22 is H) and (k32 is H) and (k42 is H) and (k52 is C) then (esp-01 is C) (1)
4. If (k12 is H) and (k22 is H) and (k32 is C) and (k42 is H) and (k52 is B) then (esp-01 is B) (1)

17

Рисунок А.1- Слайд №17

## Інформаційна модель бази знань експертної СППР



$K_i^1, K_i^2$  – критерії,  $C_i^1$  – сімейства,  $MK_j^{C_i}$  – модель МК в сімействі

18

Рисунок А.1- Слайд №18

# Інтерфейс експерта

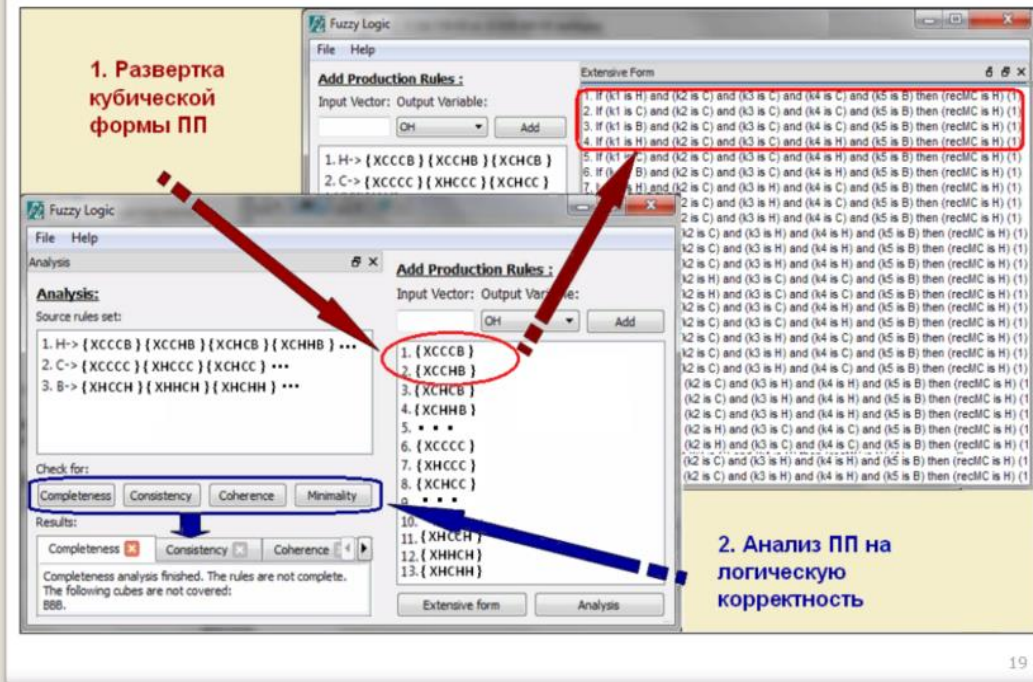


Рисунок А.1- Слайд №19

# Інтерфейс користувача

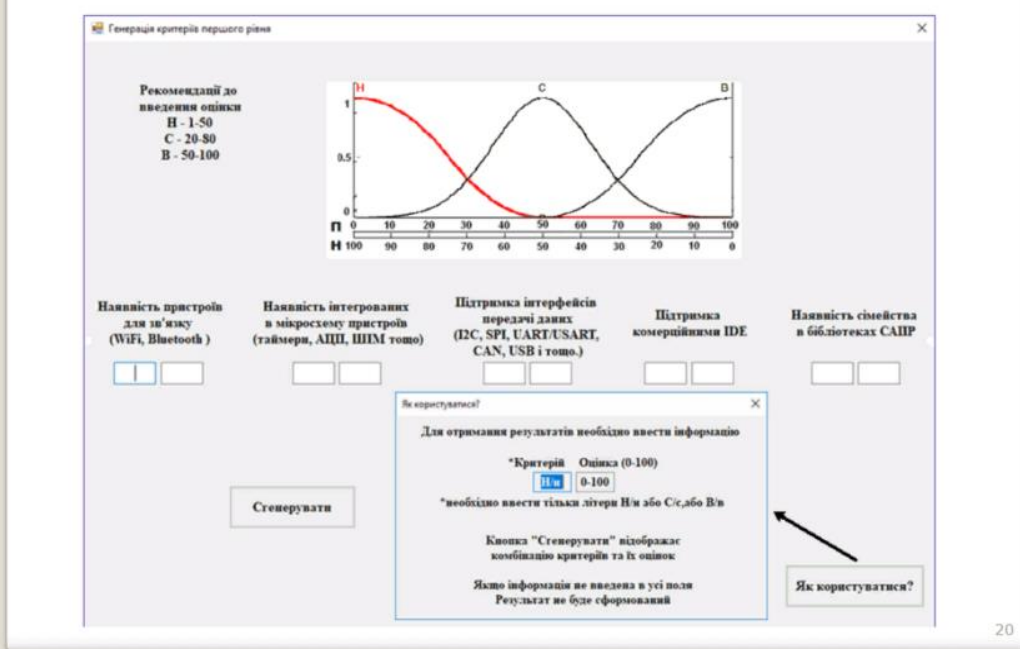
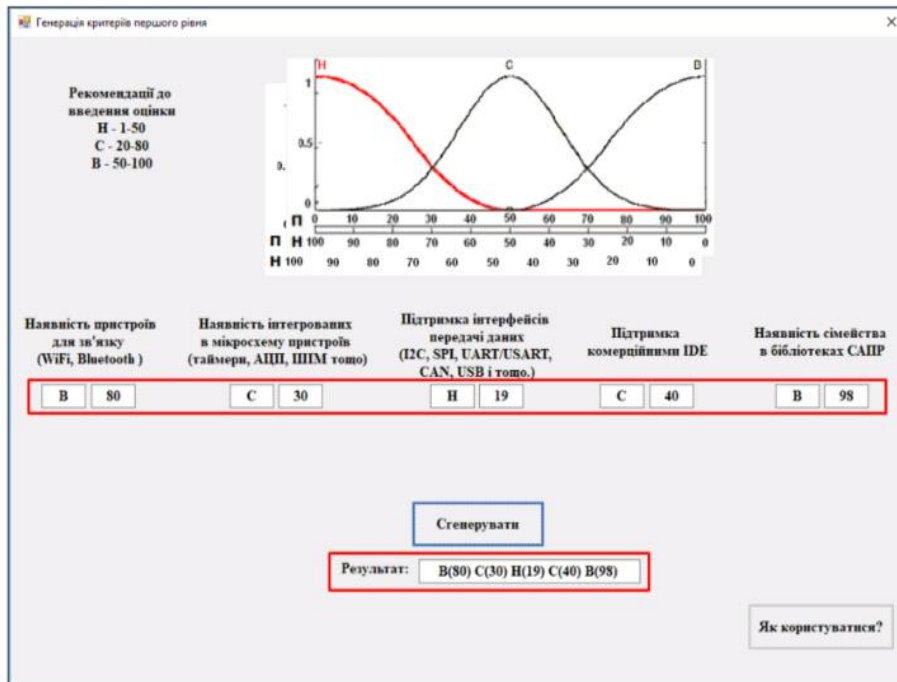


Рисунок А.1- Слайд №20

# Інтерфейс користувача - результат



21

Рисунок А.1- Слайд №21

# Результат експертного вибору сімейства ESP

Наприклад при  $K_1^1 = В (80)$ ,  $K_2^1 = Н (20)$ ,  $K_3^1 = С (50)$ ,  $K_4^1 = С (60)$ ,  $K_5^1 = В (90)$ ,  $RecMC = 21.2 \%$ , що говорить про те, що сімейство ESP відповідає вимогам користувача тільки на 22.2 %



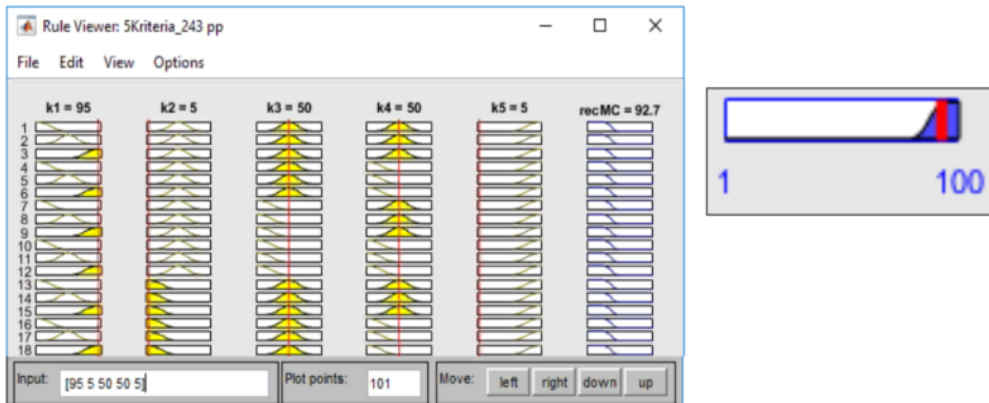
Це обумовлено тим, що користувач замовив високі вимоги до наявності моделей мікросхем цього сімейства у бібліотеках САПР. Але у дійсності МК ESP китайського виробництва відсутні у більшості бібліотек САПР.

22

Рисунок А.1- Слайд №22

## Результат експертного вибору сімейства ESP

Якщо вимоги по критерію  $K_5^1$  будуть знижені, то результат буде іншим. Наприклад, при  $K_1^1 = B$  (95),  $K_2^1 = H$  (5),  $K_3^1 = C$  (50),  $K_4^1 = C$  (50),  $K_5^1 = H$  (5),  $recMC = 92.7\%$ , що говорить про те, що сімейство ESP відповідає вимогам користувача на 92.7% та може бути використано в проектах замовника.

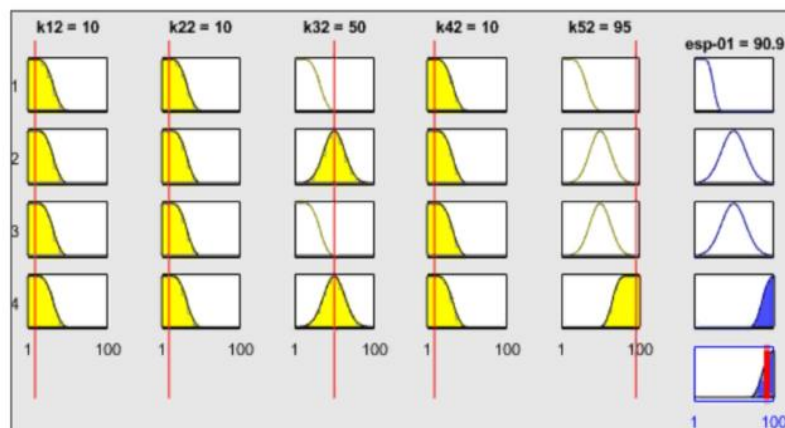


23

Рисунок А.1- Слайд №23

## Результат експертного вибору моделі всередині сімейства ESP

Наприклад при  $K_1^2 = H$  (10),  $K_2^2 = H$  (10),  $K_3^2 = C$  (50),  $K_4^2 = H$  (10),  $K_5^2 = B$  (95), відповідність МК ESP-01 до вимогам користувача = 90.9% та цей МК може бути використаний в проектах замовника.



24

Рисунок А.1- Слайд №24



## ВИСНОВКИ

- Для вирішення задачі вибору мікроконтролерних пристроїв в пристроях логічного керування запропоновано використовувати експертну систему підтримки прийняття рішень з використанням продукційних правил на основі нечіткої логіки.
- Проаналізовані сімейства мікроконтролерів, які є найбільш вживаними в системах логічного управління. Визначені критерії обрання, які використовуються на кожному з рівнів. Запропонована дворівнева модель обрання мікроконтролерів, на першому рівні обирається сімейство, а на другому рівні модель мікроконтролера всередині сімейства.
- Розроблений програмний продукт – інтерфейс користувача, який дозволяє наочно через візуальний інтерфейс готувати запит замовника.
- Проведені експерименти по вибору МК для систем логічного управління.

25

Рисунок А.1- Слайд №25

Дякую за увагу

26

Рисунок А.1- Слайд №26

## ДОДАТОК Б

Продукційні правила першого рівня для Matlab

В окне current Directory выбрать путь к сохраненному ранее \*.fis файлу

```
>> a=readfis('5Kriteria_243 pp')
```

```
a =
```

```
name: '5Kriteria_243 pp'
```

```
type: 'mamdani'
```

```
andMethod: 'min'
```

```
orMethod: 'max'
```

```
defuzzMethod: 'centroid'
```

```
impMethod: 'min'
```

```
aggMethod: 'max'
```

```
input: [1x5 struct]
```

```
output: [1x1 struct]
```

```
rule: [1x243 struct]
```

```
>> showrule (a)
```

1. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
2. If (k1 is C) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
3. If (k1 is B) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
4. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
5. If (k1 is C) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
6. If (k1 is B) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
7. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
8. If (k1 is C) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
9. If (k1 is B) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
10. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
11. If (k1 is C) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
12. If (k1 is B) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
13. If (k1 is H) and (k2 is H) and (k3 is C) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
14. If (k1 is C) and (k2 is H) and (k3 is C) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
15. If (k1 is B) and (k2 is H) and (k3 is C) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
16. If (k1 is H) and (k2 is H) and (k3 is C) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
17. If (k1 is C) and (k2 is H) and (k3 is C) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
18. If (k1 is B) and (k2 is H) and (k3 is C) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
19. If (k1 is H) and (k2 is H) and (k3 is H) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
20. If (k1 is C) and (k2 is H) and (k3 is H) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
21. If (k1 is B) and (k2 is H) and (k3 is H) and (k4 is C) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
22. If (k1 is H) and (k2 is H) and (k3 is H) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
23. If (k1 is C) and (k2 is H) and (k3 is H) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
24. If (k1 is B) and (k2 is H) and (k3 is H) and (k4 is H) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
25. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is B) and (k5 is H) then (recMC is H) (1)
26. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is B) and (k5 is C) then (recMC is H) (1)
27. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is B) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
28. If (k1 is C) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is B) and (k5 is H) then (recMC is H) (1)
29. If (k1 is C) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is B) and (k5 is C) then (recMC is H) (1)
30. If (k1 is C) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is B) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
31. If (k1 is B) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is B) and (k5 is H) then (recMC is H) (1)
32. If (k1 is B) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is B) and (k5 is C) then (recMC is H) (1)
33. If (k1 is B) and (k2 is C) and (k3 is C) and (k4 is B) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
34. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is B) and (k5 is H) then (recMC is H) (1)
35. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is B) and (k5 is C) then (recMC is H) (1)
36. If (k1 is H) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is B) and (k5 is B) then (recMC is H) (1)
37. If (k1 is C) and (k2 is C) and (k3 is H) and (k4 is B) and (k5 is H) then (recMC is H) (1)







