

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»

АНАЛІЗ СИСТЕМ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ

Навчальний посібник

Рекомендовано Методичною радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
як навчальний посібник для здобувачів ступеня магістра,
за освітньою програмою «Технічні та програмні засоби автоматизації»
спеціальності 151 Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології

Укладач: Л. М. Бугаєва, С. В. Плашихін

Електронне мережне навчальне видання

Київ
КПІ ім. Ігоря Сікорського
2022

Рецензент: *Степанюк А.Р.*, канд. техн. наук, доцент

Відповідальний редактор: *Ковалюк Д.О.*, канд. техн. наук, доцент

*Гриф надано Методичною Радою КПІ ім. Ігоря Сікорського
(протокол № __ від _____ р.)*

*За поданням Вченої ради інженерно-хімічного факультету
(протокол № 11 від 28.11.2022 р.)*

Навчальний посібник є частиною навчально-методичного забезпечення з дисципліни та розроблений у відповідності до її програми (силабусу). Посібник призначений для надання допомоги здобувачам в процесі підготовки та виконання комп'ютерних практичних робіт. До кожної роботи подано теоретичні відомості, порядок та приклад проведення розрахунків, оброблення результатів та оформлення звіту з практикуму. Для студентів, які навчаються за освітньою програмою Технічні та програмні засоби автоматизації.

Реєстр. № НП / / -. Обсяг 3,15 авт. арк.

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»
проспект Перемоги, 37, м. Київ, 03056
<https://kpi.ua>

Свідоцтво про внесення до Державного реєстру видавців, виготовлювачів
і розповсюджувачів видавничої продукції ДК № 5354 від 25.05.2017 р.

© КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2022

ЗМІСТ

ВСТУП.....	5
ПРАКТИЧНА РОБОТА №1 ПОБУДОВА ДЕРЕВА РІШЕНЬ ГНУЧКОЇ ХТС (ГХТС) ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПАКЕТУ SIMULINK MATLAB.....	7
1.1. Теоретичні відомості.....	7
1.2. Завдання.....	11
1.3. Обробка та аналіз результатів. Оформлення звіту.....	12
1.4. Контрольні запитання.....	12
ПРАКТИЧНА РОБОТА №2 РІШЕННЯ ЗАДАЧ КЛАСИФІКАЦІЇ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ПРОГРАМИ SEE-5.....	13
2.1. Завдання.....	13
2.2. Хід виконання роботи в програмі See5.....	13
2.3. Обробка та аналіз результатів. Оформлення звіту.....	20
2.4. Контрольні запитання.....	20
ПРАКТИЧНА РОБОТА №3 ПРОВЕДЕННЯ НЕЧІТКОГО КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB.....	21
3.1. Завдання.....	21
3.2. Хід виконання роботи.....	21
3.3. Обробка та аналіз результатів. Оформлення звіту.....	30
3.4. Контрольні запитання.....	30
ПРАКТИЧНА РОБОТА №4 РОЗРОБКА СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИВОДУ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧИ ВИБОРУ МЕТОДУ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ В ПАКЕТІ FUZZY LOGIC TOOLBOX.....	31
4.1. Завдання.....	31
4.2. Хід виконання роботи в пакеті Fuzzy Logic MATLAB.....	32
4.3. Приклад рішення.....	37
4.4. Обробка та аналіз результатів. Оформлення звіту.....	42
4.5. Контрольні запитання.....	43
ПРАКТИЧНА РОБОТА №5 ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРУБЧАТИХ ТЕПЛООБМІННИКІВ ПРИ РУСІ ТЕПЛОНОСІЯ В	

РЕЖИМАХ ПРЯМОТОКУ ТА ПРОТИТОКУ ЗА МЕТОДОМ МОНТЕ-КАРЛО	44
5.1. Теоретичні відомості	44
5.2. Хід рішення задачі	49
5.3. Завдання	52
5.4. Приклад розрахунку для випадку прямогочної схеми руху теплоносіїв	53
5.5. Обробка та аналіз результатів. Оформлення звіту	56
5.6. Контрольні запитання	56
ПРАКТИЧНА РОБОТА №6 МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕРЕЖ ПЕТРІ	57
6.1. Основні теоретичні положення	57
6.2. Завдання	59
6.3. Приклад виконання мережі Петрі	61
6.4. Обробка та аналіз результатів. Оформлення звіту	66
6.5. Контрольні запитання	66
СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ	67
ДОДАТОК А. ЗАХОДИ БЕЗПЕКИ ПІД ЧАС ВИКОНАННЯ ПРАКТИЧНИХ РОБІТ	68
ДОДАТОК Б. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ №1	73
ДОДАТОК В. ІНДИВІДУАЛЬНІ ЗАВДАННЯ ДО ПРАКТИЧНОЇ РОБОТИ №5	74

ВСТУП

Навчальна дисципліна «Аналіз систем в умовах невизначеності» вивчається здобувачами другого рівня підготовки магістр спеціальності 151 – Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології у третьому навчальному семестрі.

Мета і завдання практикуму – закріпити на практиці вміння та досвід, отримані в процесі вивчення кредитного модулю «Аналіз систем в умовах невизначеності». Матеріал практикуму спрямований на одержання знань та практичних вмінь з використання різних методів та засобів, що дозволяють вирішувати різні задачі дослідження та аналізу процесів та систем в умовах невизначеності.

Навчальна дисципліна є вибірковою і згідно із структурно-логічною схемою навчання за освітньою програмою для її успішного освоєння студент повинен:

- набути компетентності на отримати результати навчання, передбачені освітньою програмою вищої освіти ступеня магістр;
- мати уміння та досвід роботи з персональним комп'ютером на рівні впевненого користувача;
- здатність аналізувати виробничо-технологічні системи і комплекси як об'єкти автоматизації, визначати способи та стратегії їх автоматизації;
- здатність інтегрувати знання з інших галузей, застосовувати системний підхід та враховувати нетехнічні (економічні, правові, соціальні та екологічні) аспекти при розв'язанні інженерних задач та проведенні наукових досліджень.

В процесі опанування навчальної дисципліни заплановане виконання здобувачами шести комп'ютерних практичних робіт за індивідуальним завданням. Для кожної роботи подано основні теоретичні відомості та

розрахункові формули і розглянуто типовий приклад виконання. Для самоперевірки засвоєння матеріалу роботи подано контрольні запитання.

Кожне практичне завдання виконується протягом двох академічних годин. Протягом заняття здобувач повинен засвоїти тему, мету і завдання практичної роботи, повторити основні теоретичні положення за темою роботи і самостійно виконати розрахунки за своїм варіантом завдання. Роботи виконуються на персональному комп'ютері з використанням математичних програмних пакетів.

ПРАКТИЧНА РОБОТА №1

ПОБУДОВА ДЕРЕВА РІШЕНЬ ГНУЧКОЇ ХТС (ГХТС) ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ПАКЕТУ SIMULINK MATLAB

Мета роботи: Навчитись будувати дерева подій і рішень із використанням пакету Simulink Matlab та використовувати їх при прийнятті рішень для забезпечення надійності роботи ХТС.

1.1. Теоретичні відомості

У випадку, коли потрібно прийняти низку рішень в умовах невизначеності, якщо кожне рішення залежить від результату попереднього рішення, часто застосовують графову структуру-дерево рішень. Метод дерева рішень - це один із методів аналізу великих масивів даних. Ідея "дерев рішень" започаткована у книзі Е.Ханта, Дж.Мерина і П.Стоуна "Experiments in Induction", яку було опубліковано в 1966 році.

Дерево рішень – це графічне зображення послідовності рішень і станів середовища із указівкою відповідних ймовірностей і виграшів для будь-яких комбінацій альтернатив і станів середовища.

Зазвичай дерево рішень краще будувати на основі дерева подій. Топологічна схема (граф) може давати загальне уявлення про стан системи, альтернативні шляхи протікання процесу і його результати. Опишемо стан системи, що складається із 3-х агрегатів.

Початковим пунктом схеми є вузол, який представляє в загальному випадку стан, що розглядається.

З нього гілки ведуть до вузлів, що представляють стан першого агрегату, далі до наступних і т.д. поки на виході не будуть отримані всі можливі комбінації станів агрегатів (подій).

* У результаті виходить дерево подій, в якому кожен шлях від початкової точки (кореня) до кінцевого вузла описує одну з можливих еволюцій системи. Побудуємо дерево подій для цих трьох паралельно працюючих агрегатів, де A_i і \bar{A}_i означає відповідно працездатний і непрацездатний стани і-го агрегату.

* Імовірність відмови однакова для всіх трьох агрегатів і дорівнює 0,001.

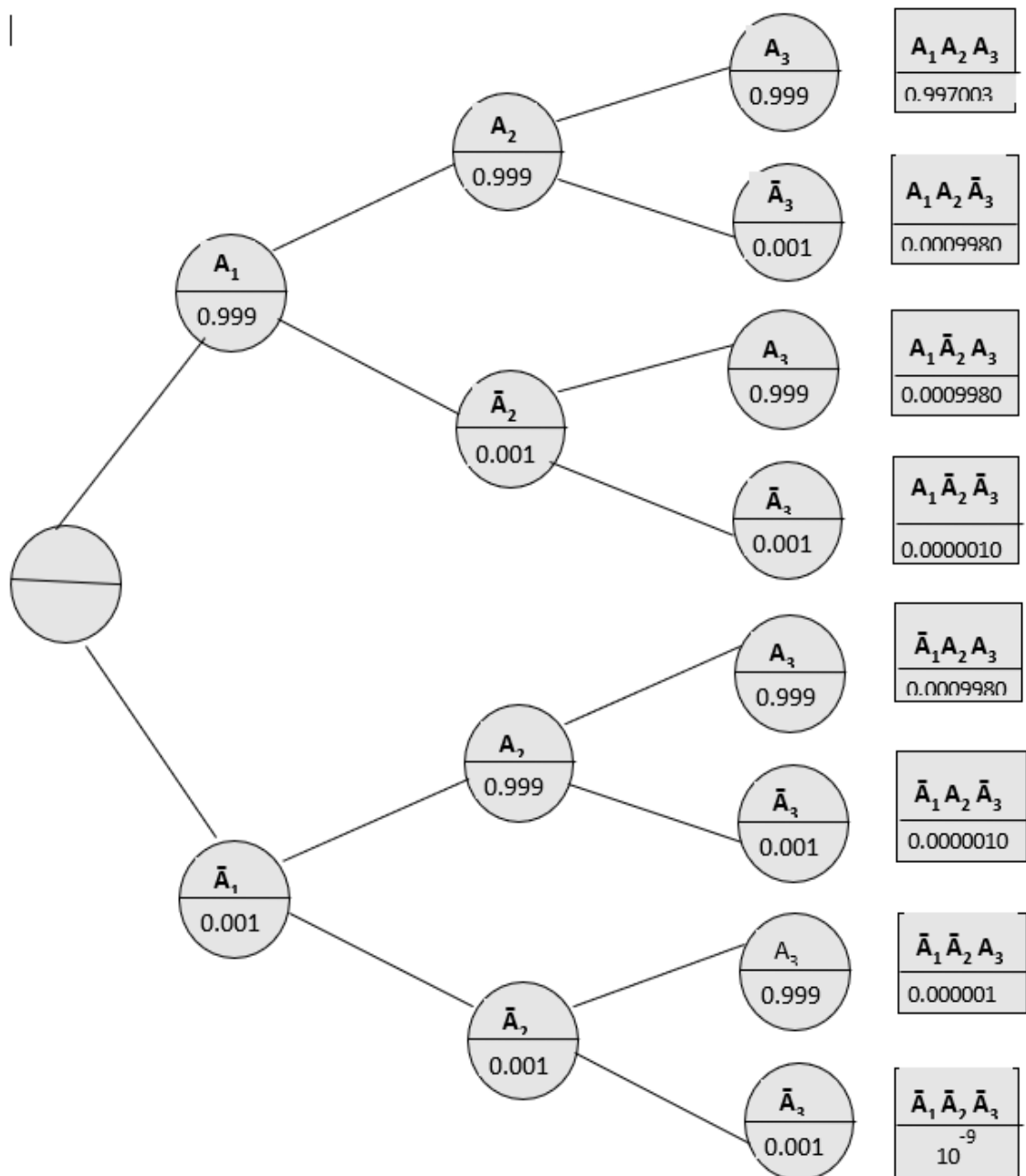


Рисунок 1.1 – Дерево подій, що описує стан трьох агрегатів

Якщо ймовірність виходу із строю будь-яких двох апаратів (1-го та 2-го або 2-го та 3-го або 1-го та 3-го) дорівнює або більше деякого припустимого рівня k , то треба підключити ще один дублюючий апарат (4-ий апарат) із визначених типів 1, 2, 3, який повинен забезпечити припустиму ймовірність відключення двох апаратів одночасно (ймовірність, що залишиться один працюючий апарат).

На основі дерева подій будуюмо дерево рішень. Для цього треба додати вузли прийняття рішень (квадратні), останніми ідуть кінцеві вершини, що відображають ймовірність відповідної події.

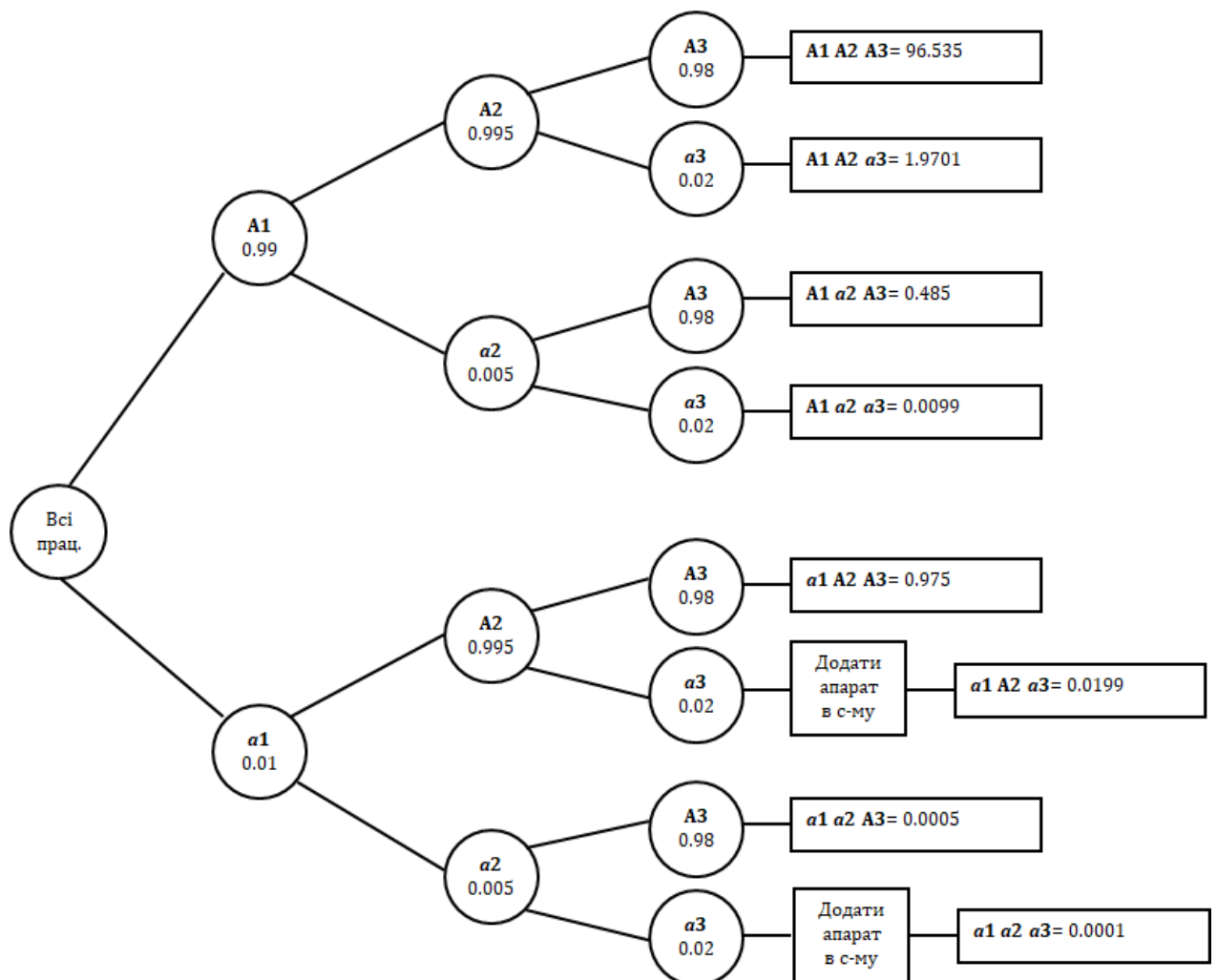


Рисунок 1.2 – Дерево рішень A – ймовірність роботи; a – ймовірність відмови

Це дерево подій треба може бути реалізоване в пакеті *Simulink* середовища MATLAB, де воно набуває вигляду, який зображений на рисунку 1.3.

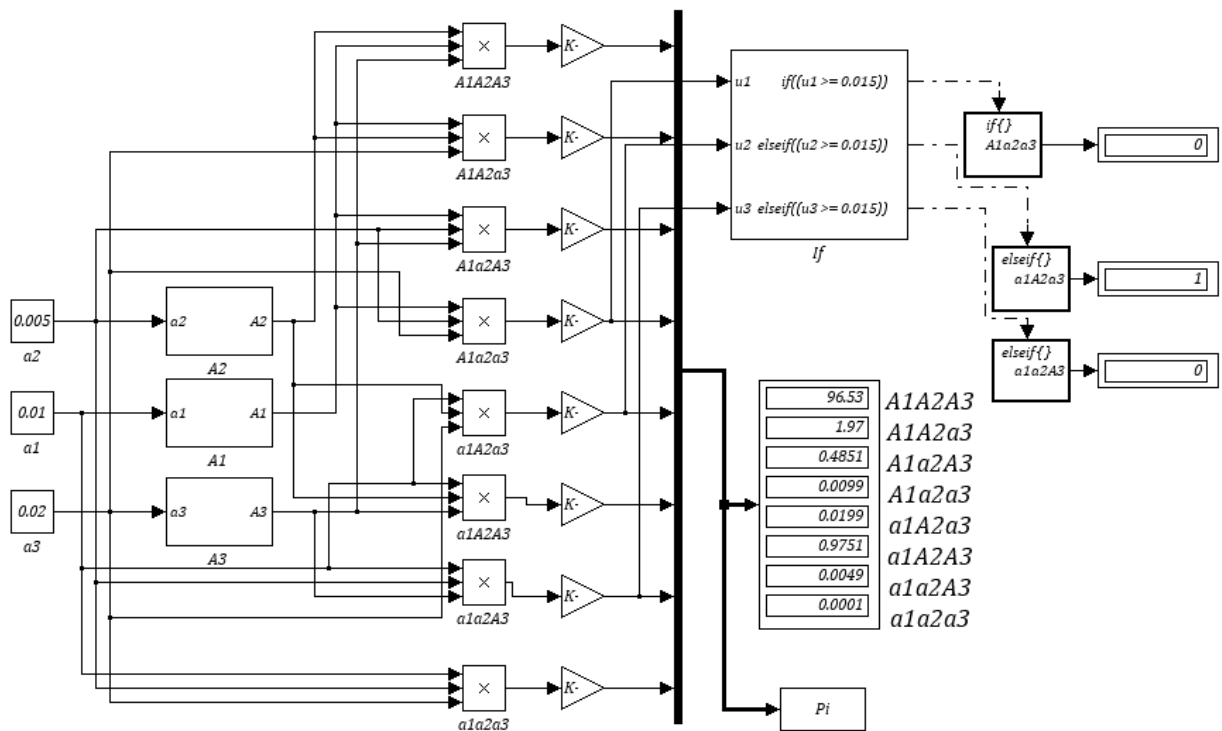


Рисунок 1.3 – Реалізація дерева рішень в *Simulink*

Оскільки треба виключити можливість відмови всіх апаратів виникає необхідність підключення додаткового апарату на нижній гілці. Як можна бачити на рис.1.2, потреба підключення додаткового апарату виникає ще за ситуації, коли не працюють 1-й та 3-й апарати. Для кожного варіанту завдання після побудови дерева подій і трансформації його в дерево рішень може бути зроблено висновок такого типу. Слід нагадати, що вершини подій не залежать від особи, що приймає рішення (ОПР). А от вершини рішень формуються людиною, а саме ОПР.

Редагування документів

Ввести математичний вираз можна в будь-якому порожньому місці документа Mathcad. Для цього треба помістити курсор введення в бажане місце документа, клацнувши в ньому мишею, і просто починати вводити формулу, натискаючи клавіші на клавіатурі. При цьому в документі

створюється математична область (math region), що призначена для збереження формул, які інтерпретуються процесором Mathcad.

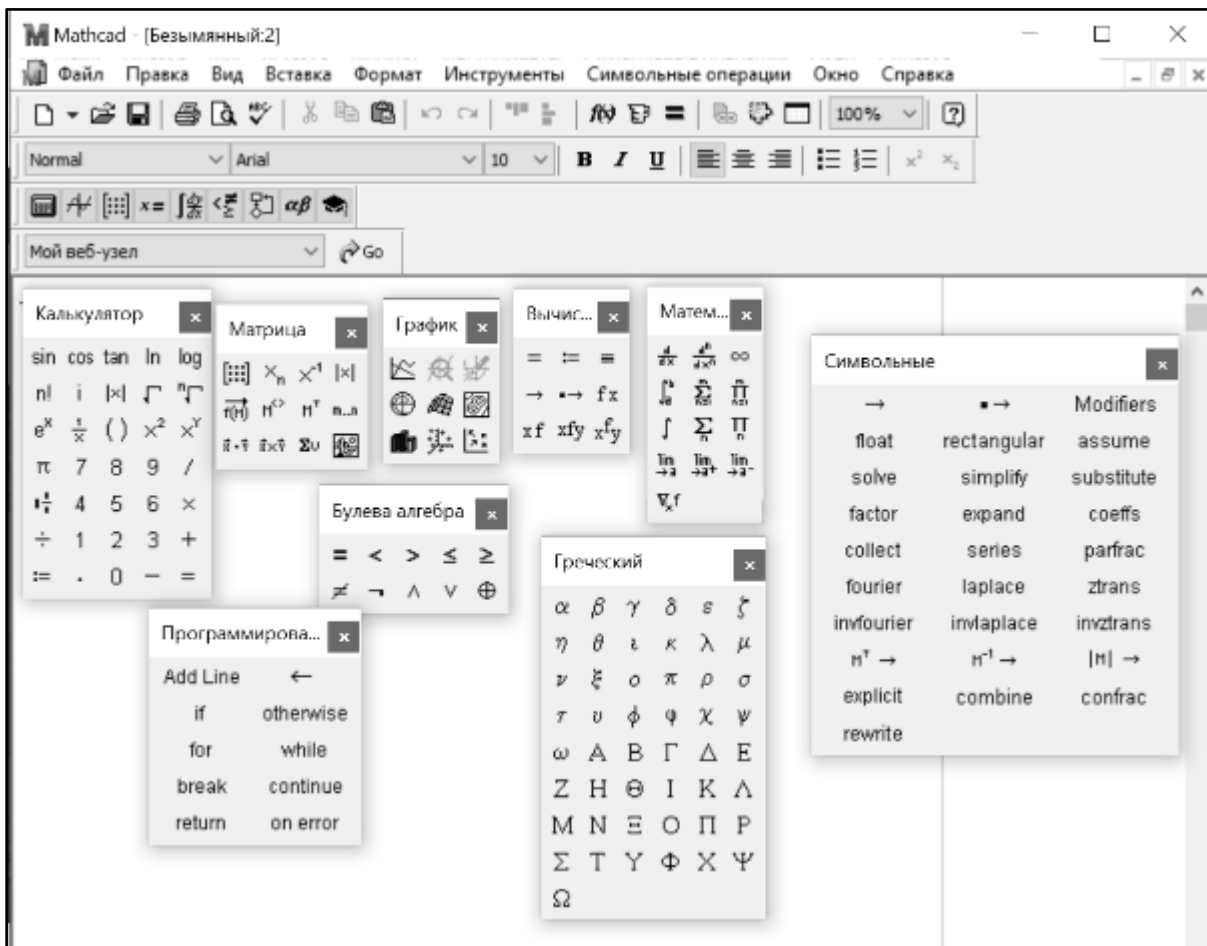


Рисунок 1.4 – Основні панелі інструментів

1.2. Завдання

Три апарати типу 1, 2, 3 працюють паралельно у ГХТС. Режим роботи ХТС передбачає можливість відключення кожного. Імовірність відмови апаратів (розглядається, як незалежні події) відповідно p_1, p_2, p_3 . Необхідно забезпечити режим роботи системи, коли вилучено можливість роботи менш ніж двох апаратів. Для цього у випадку виключення 2-х апаратів можна додати 4-й із вказаних типів.

1. Побудувати дерево подій для системи трьох апаратів.
2. На його основі побудувати дерево рішень згідно із пунктом 3.

3. Якщо імовірність виходу із строю будь-яких двох апаратів (1-го та 2-го або 2-го та 3-го або 1-го та 3-го) дорівнює або більше деякого припустимого рівня k , то треба підключити ще один дублюючий апарат (4-ий апарат) із визначених типів 1, 2, 3, який повинен забезпечити допустиму імовірність відключення двох апаратів одночасно (імовірність, що залишиться один працюючий апарат).
4. Побудувати остаточне дерево рішень.

Наприклад, якщо імовірність відключення 1-го, 2-го та 3-го апаратів 0.06, 0.1 та 0.4. Імовірність відключення 1-го та 2-го одночасно складає 0.006 (гранично припустимий рівень відмови $k = 0.5\%$), що перевищує 0.005, тому треба додати апарат (заданого переліку) з такою імовірністю, щоб відключення будь-яких трьох апаратів було б меншим за гранично припустимий рівень. В нашому випадку при додаванні одного апарату будь-якого типу дає значення менше за 0.005.

Індивідуальні завдання до практичної роботи знаходяться в додатку Б.

1.3. Обробка та аналіз результатів. Оформлення звіту

При оформленні звіту з практичної роботи до заздалегідь підготовленого протоколу додається:

- роздруковані аркуші з результатами виконаної практичної роботи;
- опис по етапах порядку виконання практичної роботи.

1.4. Контрольні запитання

1. Що таке дерево подій і що відображають його вершини?
2. Як будується дерево рішень?
3. Чим відрізняються вершини подій від вершин рішень?
4. Побудуйте дерево подій та рішень, пов'язані з прогнозом погоди.
5. Які програмні засоби пакету Simulink можна використовувати для побудови дерева рішень?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №2

РІШЕННЯ ЗАДАЧ КЛАСИФІКАЦІЇ ІЗ ВИКОРИСТАННЯМ ЗАСОБІВ ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОГО АНАЛІЗУ ДАНИХ ПРОГРАМИ SEE-5

Мета роботи: Ознайомитись із системою побудови дерева рішень за даними у програмному середовищі **See5/C5.0**. Застосувати побудоване дерево для класифікації для нових даних

2.1. Завдання

1. Ознайомитись з графічним інтерфейсом **See5/C5.0** та описом системи **See5/C5.0**.

2. Розглянути файл даних, що відповідає варіанту задачі. Скласти опис задачі, описати залежні та незалежний фактори, множини їх значень, визначити об'єм та склад навчальної і тестової множин.

3. Отримати результати у вигляді звіту про правила (Rule Report), в якому перелічені знайдені правила із вказаними їх характеристиками.

Провести декілька сеансів аналізу ситуації (прогнозу) для даних, що не увійшли до навчальної множини.

2.2. Хід виконання роботи в програмі See5

Розглянемо як треба використовувати програму **See5** на прикладі розроблювання системи, що дає змогу визначити діагноз за симптомами гострого апендициту. Слід зауважити, що алгоритм C5.0 (попередня версія C4.5) вже багато років входить до топ 10 алгоритмів машинного навчання.

В якості вхідної інформації використані дані клініки, в яких зареєстровані результати обстеження 103 людей зі встановленими

діагнозами (використано файл даних реальних клінічних спостережень, який сформований російською мовою).

Для роботи в See5 необхідними є два файли – імен змінних і даних. У файлі імен змінних (Apendicit.names) наводяться назви ознак, що використовуються та класів.

Оскільки вхідними ознаками були 8 симптомів, то файл імен змінних буде мати такий вигляд:

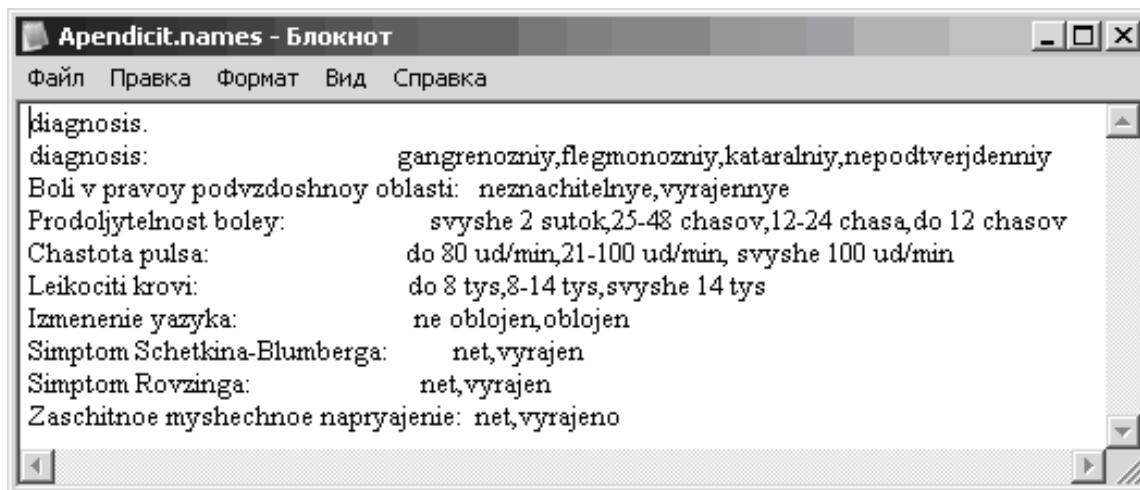


Рисунок 2.1 –Визначення класів та ознак, за якими здійснюється класифікація

На рисунку 2.1 відображено відповідність ознаки її значенням: зліва від двокрапки вказано ознаку, а справа – її можливі значення. Перша ознака (diagnosis) – цільова, саме вона буде видаватися в якості результату роботи машини висновку.

Таблиця 2.1 – Вхідні дані та їх кодування для діагностики апендициту

Симптоми гострого апендициту	Вираженість	Код
x1- болі в правій області	Незначні	1
x2 - тривалість болі	Виражена	2
	Більше 2 діб	1
	25—48 годин	2

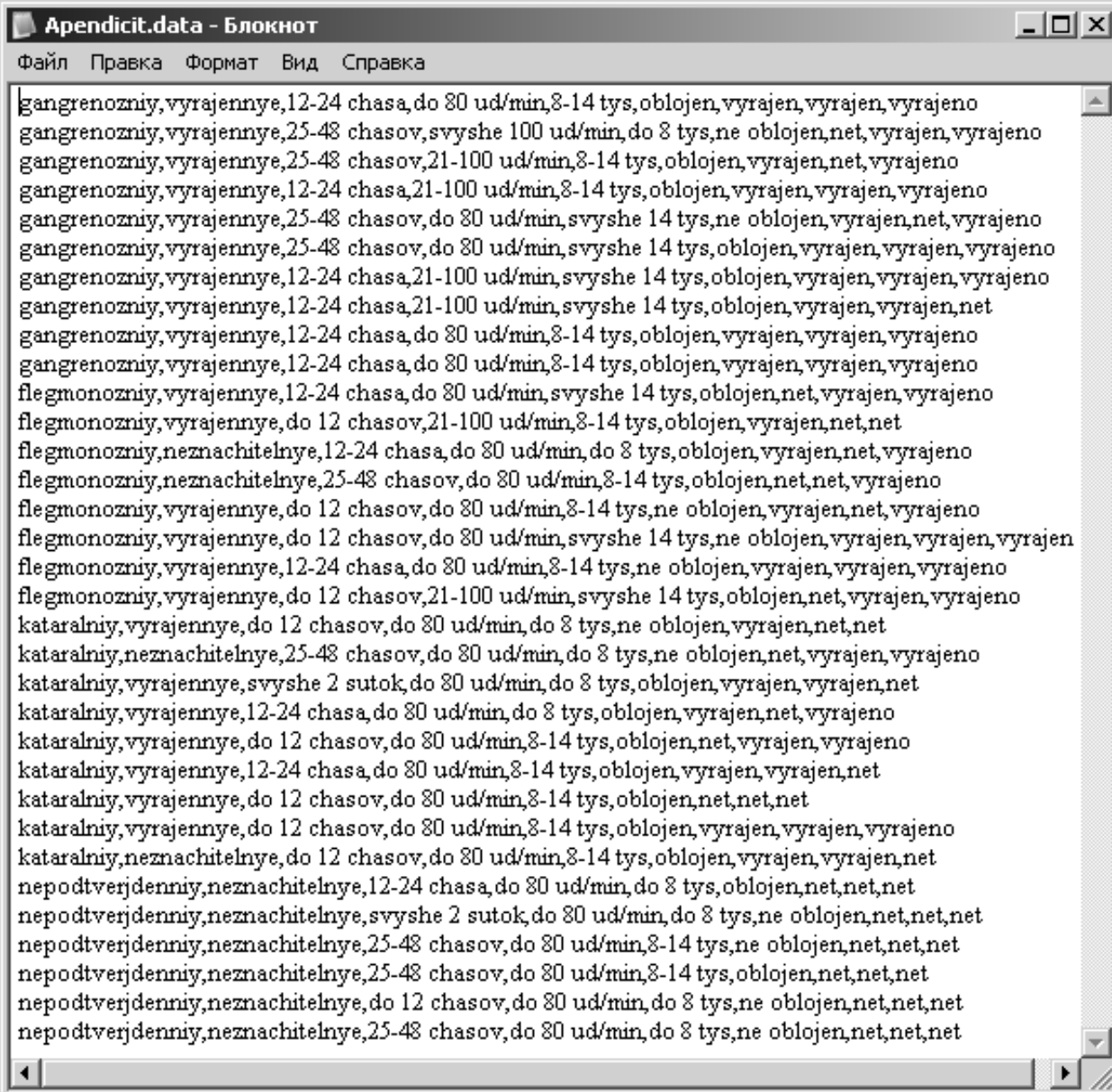
	1—24 годин	3
	До 12 годин	4
x3 - частота пульсу	До 80 уд/хв	1
	21—100 уд/ хв	2
	Більше 100 уд/ хв	3
x4 - лейкоцити крові	До 8 тис.	1
	8—14 тис.	2
	Вище 14 тис.	3
x5 - зміна язика	Не обкладений	0
	Обкладений	1
x6 - симптом Щеткіна—Блімберга	Відсутній	0
x7 - симптом Ровзінга	Виражені	2
	Відсутні	0
	Виражений	2
x8 Захисна м'язова напруга	Відсутня	0
	Виражена	2

Таблиця 2.2 – Вхідні дані з діагностики апендициту, з використанням кодів значень ознак з таблиці 2.1

Діагноз	Болі	Продовження болей	Частота пульсу	Лейкоцити крові	Зміни язика	Симптом Щеткіна-Блюмберга	Симптом Ровзінга	Захисне м'язове напруження
1	2	3	1	2	1	2	2	2
1	2	2	3	1	0	0	2	2
1	2	2	2	2	1	2	0	2
1	2	3	2	2	1	2	2	2

1	2	2	1	3	0	2	0	2
1	2	2	1	3	1	2	2	2
1	2	3	2	3	1	2	2	2
1	2	3	2	3	1	2	2	0
1	2	3	1	2	1	2	2	2
1	2	3	1	2	1	2	2	2
2	2	3	1	3	1	0	2	2
2	2	4	2	2	1	2	0	0
2	1	3	1	1	1	2	0	2
2	1	2	1	2	1	0	0	2
2	2	4	1	2	0	2	0	2
2	2	4	1	3	0	2	2	2
2	2	3	1	2	0	2	2	2
2	2	4	2	3	1	0	2	2
3	2	4	1	1	0	2	0	0
3	1	2	1	1	0	0	2	2
3	2	1	1	1	1	2	2	0
3	2	3	1	1	1	2	0	2
3	2	4	1	2	1	0	2	2
3	2	3	1	2	1	2	2	0
3	2	4	1	2	1	0	0	0
3	2	4	1	2	1	2	2	2
3	1	4	1	2	1	2	2	0
4	1	3	1	1	1	0	0	0
4	1	1	1	1	0	0	0	0
4	1	2	1	2	0	0	0	0
4	1	2	1	2	1	0	0	0
4	1	4	1	1	0	0	0	0
4	1	2	1	1	0	0	0	0

Другим файлом, необхідним для роботи See5, є файл даних (Apendicit.data). В даній роботі він має такий вигляд:



```
Apendicit.data - Блокнот
Файл Правка Формат Вид Справка
gangrenozniy, vyrajennyye, 12-24 chasa, do 80 ud/min, 8-14 tys, oblojen, vyrajen, vyrajen, vyrajeno
gangrenozniy, vyrajennyye, 25-48 chasov, svyshe 100 ud/min, do 8 tys, ne oblojen, net, vyrajen, vyrajeno
gangrenozniy, vyrajennyye, 25-48 chasov, 21-100 ud/min, 8-14 tys, oblojen, vyrajen, net, vyrajeno
gangrenozniy, vyrajennyye, 12-24 chasa, 21-100 ud/min, 8-14 tys, oblojen, vyrajen, vyrajen, vyrajeno
gangrenozniy, vyrajennyye, 25-48 chasov, do 80 ud/min, svyshe 14 tys, ne oblojen, vyrajen, net, vyrajeno
gangrenozniy, vyrajennyye, 25-48 chasov, do 80 ud/min, svyshe 14 tys, oblojen, vyrajen, vyrajen, vyrajeno
gangrenozniy, vyrajennyye, 12-24 chasa, 21-100 ud/min, svyshe 14 tys, oblojen, vyrajen, vyrajen, vyrajeno
gangrenozniy, vyrajennyye, 12-24 chasa, 21-100 ud/min, svyshe 14 tys, oblojen, vyrajen, vyrajen, net
gangrenozniy, vyrajennyye, 12-24 chasa, do 80 ud/min, 8-14 tys, oblojen, vyrajen, vyrajen, vyrajeno
gangrenozniy, vyrajennyye, 12-24 chasa, do 80 ud/min, 8-14 tys, oblojen, vyrajen, vyrajen, vyrajeno
flegmonozniy, vyrajennyye, 12-24 chasa, do 80 ud/min, svyshe 14 tys, oblojen, net, vyrajen, vyrajeno
flegmonozniy, vyrajennyye, do 12 chasov, 21-100 ud/min, 8-14 tys, oblojen, vyrajen, net, net
flegmonozniy, neznachitelnye, 12-24 chasa, do 80 ud/min, do 8 tys, oblojen, vyrajen, net, vyrajeno
flegmonozniy, neznachitelnye, 25-48 chasov, do 80 ud/min, 8-14 tys, oblojen, net, net, vyrajeno
flegmonozniy, vyrajennyye, do 12 chasov, do 80 ud/min, 8-14 tys, ne oblojen, vyrajen, net, vyrajeno
flegmonozniy, vyrajennyye, do 12 chasov, do 80 ud/min, svyshe 14 tys, ne oblojen, vyrajen, vyrajen, vyrajen
flegmonozniy, vyrajennyye, 12-24 chasa, do 80 ud/min, 8-14 tys, ne oblojen, vyrajen, vyrajen, vyrajeno
flegmonozniy, vyrajennyye, do 12 chasov, 21-100 ud/min, svyshe 14 tys, oblojen, net, vyrajen, vyrajeno
kataralniy, vyrajennyye, do 12 chasov, do 80 ud/min, do 8 tys, ne oblojen, vyrajen, net, net
kataralniy, neznachitelnye, 25-48 chasov, do 80 ud/min, do 8 tys, ne oblojen, net, vyrajen, vyrajeno
kataralniy, vyrajennyye, svyshe 2 sutok, do 80 ud/min, do 8 tys, oblojen, vyrajen, vyrajen, net
kataralniy, vyrajennyye, 12-24 chasa, do 80 ud/min, do 8 tys, oblojen, vyrajen, net, vyrajeno
kataralniy, vyrajennyye, do 12 chasov, do 80 ud/min, 8-14 tys, oblojen, net, vyrajen, vyrajeno
kataralniy, vyrajennyye, 12-24 chasa, do 80 ud/min, 8-14 tys, oblojen, vyrajen, vyrajen, net
kataralniy, vyrajennyye, do 12 chasov, do 80 ud/min, 8-14 tys, oblojen, net, net, net
kataralniy, vyrajennyye, do 12 chasov, do 80 ud/min, 8-14 tys, oblojen, vyrajen, vyrajen, vyrajeno
kataralniy, neznachitelnye, do 12 chasov, do 80 ud/min, 8-14 tys, oblojen, vyrajen, vyrajen, net
nepodtverjdeniy, neznachitelnye, 12-24 chasa, do 80 ud/min, do 8 tys, oblojen, net, net, net
nepodtverjdeniy, neznachitelnye, svyshe 2 sutok, do 80 ud/min, do 8 tys, ne oblojen, net, net, net
nepodtverjdeniy, neznachitelnye, 25-48 chasov, do 80 ud/min, 8-14 tys, ne oblojen, net, net, net
nepodtverjdeniy, neznachitelnye, 25-48 chasov, do 80 ud/min, 8-14 tys, oblojen, net, net, net
nepodtverjdeniy, neznachitelnye, do 12 chasov, do 80 ud/min, do 8 tys, ne oblojen, net, net, net
nepodtverjdeniy, neznachitelnye, 25-48 chasov, do 80 ud/min, do 8 tys, ne oblojen, net, net, net
```

Рисунок 2.2 – Множина даних (dataset) для формування навчальної та контрольної множин

Після того, як файл даних Apendicit.data завантажений в системі See5, головне вікно набуває такого вигляду:

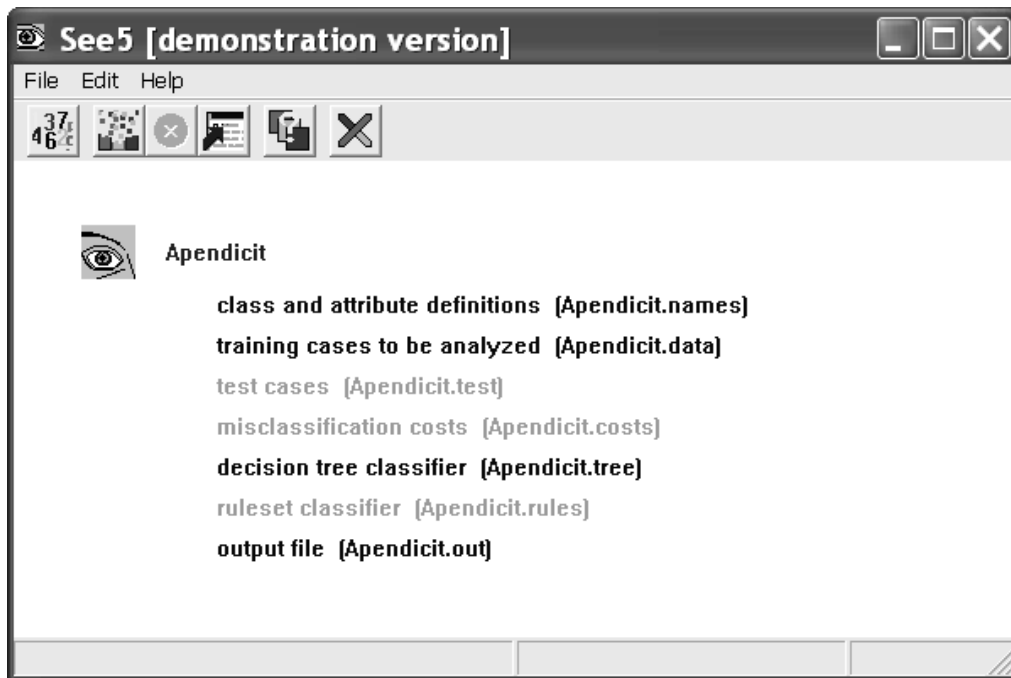


Рисунок 2.3 – Стартове вікно програми See5

Натиснемо кнопку Construct Classifier для того, щоб задати параметри алгоритму конструювання класифікатора. При цьому з'явиться вікно діалогу, зображене на рисунку 2.4:

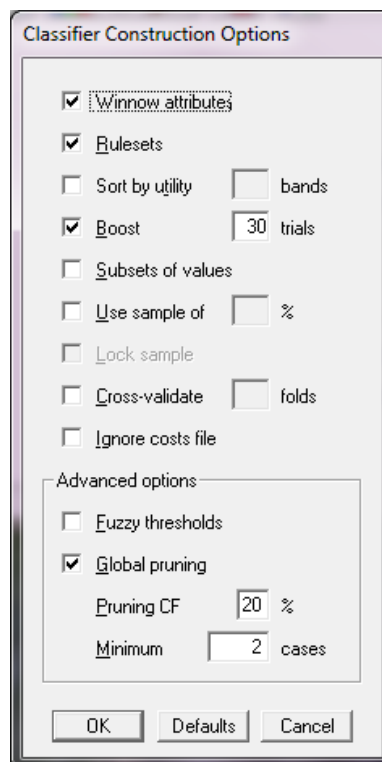


Рисунок 2.4 – Вікно налаштування побудови класифікатора програми See5

Після цього система видає вікно результатів, що містить такий звіт про побудову початкового дерева рішень:

```

Results for npak2
File Edit
-----
Evaluation on training data (35 cases):

Rules
-----
No      Errors
-----
5       10(28.6%) <<

(a) (b) (c) (d) <-classified as
-----
8     1   1           (a): class 1
2     5   1           (b): class 2
3     1   4   1       (c): class 3
                        8   (d): class 4

Attribute usage:

100% x1
100% x8
49%  x5

Rule utility summary:

Rules      Errors
-----
1          17(48.6%)
1-2        17(48.6%)
1-3        14(40.0%)
1-4        12(34.3%)

Time: 0.0 secs

```

Рисунок 2.5 – Вікно результатів побудови класифікатора

При зміні параметрів налаштування не вдалось досягнути більшої точності. Спробуємо використати побудований класифікатор. На тестовій множині було отримані рішення типу:

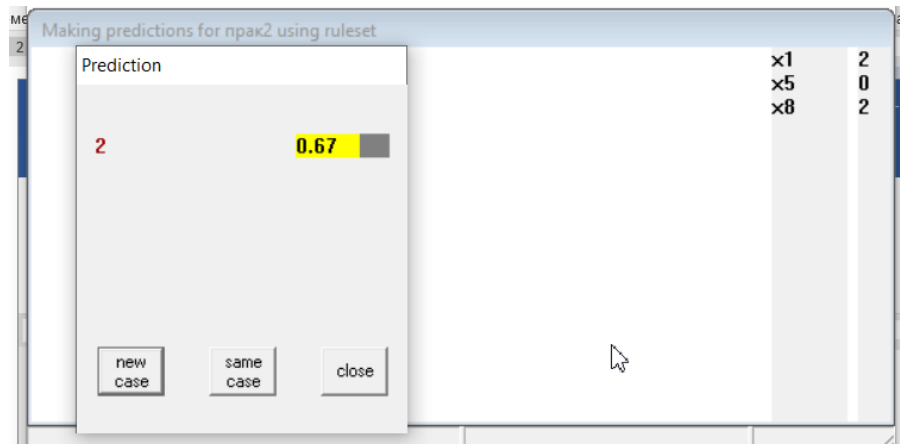


Рисунок 2.6 – Вікно тестування класифікатора

Проведені тестування показали, що тільки параметри 1, 5 та 8 впливають на прийняття рішень. Це специфіка методу C5.0, алгоритм

якого визначає вплив кожного з параметрів на рішення. В нашому випадку рішення (діагноз) залежить тільки від значень цих трьох параметрів.

Як бачимо, система правильно класифікує наявність апендициту, проте недостатньо добре виокремлює його симптоми, тобто для кращого виокремлення потрібне лабораторне дослідження пацієнта.

2.3. Обробка та аналіз результатів. Оформлення звіту

При оформленні звіту з практичної роботи до заздалегідь підготовленого протоколу додається:

- роздруковані аркуші з результатами виконаної практичної роботи;
- опис по етапах порядку виконання практичної роботи.

2.4. Контрольні запитання

1. Як треба формувати навчальну та тестову множину (dataset) для побудови класифікатора засобами програми See5?
2. Як можна оцінити якість побудованого класифікатора?
3. Чим відрізняються вершини подій від вершин рішень?
4. Побудуйте дерево подій та рішень, пов'язані з прогнозом погоди.
5. Які програмні засоби пакету Simulink можна використовувати для побудови дерева рішень?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №3

ПРОВЕДЕННЯ НЕЧІТКОГО КЛАСТЕРНОГО АНАЛІЗУ ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНИХ ДАНИХ В СЕРЕДОВИЩІ MATLAB

Мета роботи: застосувати MATLAB для інтелектуального аналізу даних: визначення кластерів та їхніх центрів для даних, які генеруються випадковим розіграшом, і для експериментальних даних, отриманих при моделюванні установки поділу коксового газу

3.1. Завдання

1. Ознайомитися із графічним інтерфейсом і функціями MATLAB для проведення кластеризації.

2. Розглянути кластеризацію даних, отриманих випадковим розіграшом (25-30 значень). Скласти кілька варіантів скриптів (m-файлів) для різних варіантів завдання кластеризації. Одержати результати для обох методів кластеризації (fscn та subclust) при різній кількості кластерів і проілюструвати їх графічно (3-4 графіка). Графіки розмістити у звіті. При використанні нечіткої кластеризації представити дані по степенях приналежності точок до отриманих кластерів.

3. Провести кілька варіантів кластеризації експериментальних даних за допомогою графічного інтерфейсу findcluster. Представити декілька графіків із результатами, доповнити їх чисельними даними координат центрів кластерів..

3.2. Хід виконання роботи

1. Кластеризація випадкових даних за допомогою методів fscn й subclust.

Проведемо випадковий розіграш 25 значень для 2-ух змінних:

```
>> data = rand(20, 2);
```

а). Проведемо **кластеризацію на 2 кластери**. Для цього наберемо в командному режимі MATLAB наступні команди:

```
[center,U,obj_fcn] = fcm(data, 2);  
plot(data(:,1), data(:,2),'o');  
max = max(U);  
index1 = find(U(1,:) == max);  
index2 = find(U(2, :) == max);  
line(data(index1,1), data(index1, 2), 'linestyle', 'none', 'marker', '*', 'color',  
'g');  
line(data(index2,1), data(index2, 2), 'linestyle', 'none', 'marker', '*', 'color',  
'r');  
line(center(1,1),center(1,2), 'linestyle', 'none', 'marker', 'o', 'color', 'black');  
line(center(2,1),center(2,2), 'linestyle', 'none', 'marker', 'o', 'color', 'black');  
[C,S]=subclust(data,0.5);  
line(C(1,1),C(1,2), 'linestyle', 'none', 'marker', 'd', 'color', 'black');  
line(C(2,1),C(2,2), 'linestyle', 'none', 'marker', 'd', 'color', 'black');
```

Результат запуску m-файлу показаний на рисунку 3.1 - центри кластеризації по fcm – порожні o, а по subclust – зафарбовані у вигляді diamond.

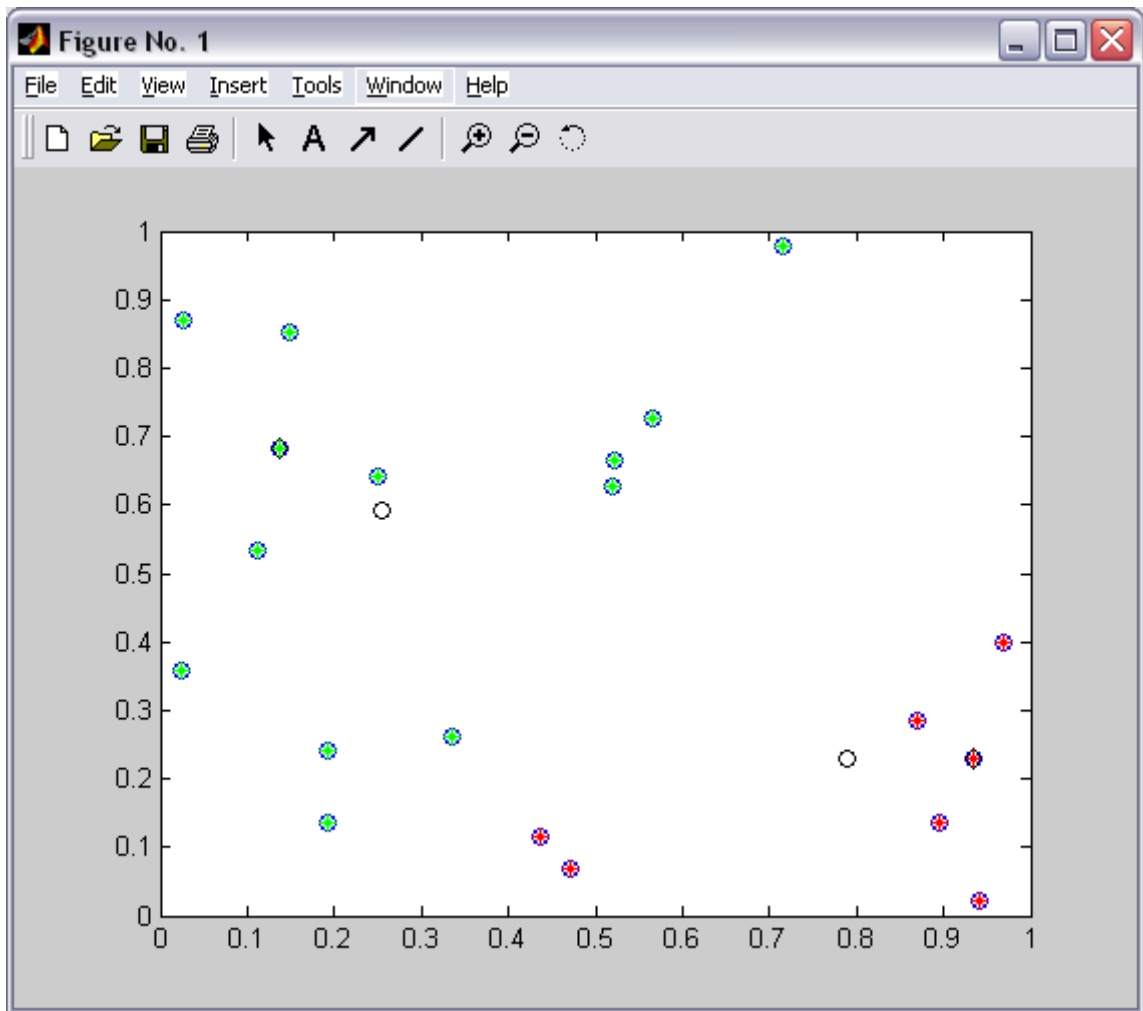


Рисунок 3.1 – Кластеризація даних для 2-х кластерів

Приналежності точок до отриманих кластерів показана в матриці $U =$

Columns 1 through 8

0.6311 0.9580 0.7218 0.1004 0.8474 0.0202 0.8858
0.7628

0.3689 0.0420 0.2782 0.8996 0.1526 0.9798 0.1142
0.2372

Columns 9 through 16

0.7355 0.6105 0.9952 0.0343 0.9670 0.7731 0.0317
0.0768

0.2645 0.3895 0.0048 0.9657 0.0330 0.2269 0.9683
0.9232

Columns 17 through 20

```
0.6400 0.3427 0.2820 0.9105
0.3600 0.6573 0.7180 0.0895
```

б). Проведемо кластеризацію даних на 3 кластер.

Відповідний m-файл буде мати вигляд:

```
[center,U,obj_fcn] = fcm(data, 3);
plot(data(:,1), data(:,2),'o');
max = max(U);
index1 = find(U(1,:) == max);
index2 = find(U(2, :) == max);
index3 = find(U(3, :) == max);
line(data(index1,1), data(index1, 2), 'linestyle', 'none', 'marker', '*', 'color',
'g');
line(data(index2,1), data(index2, 2), 'linestyle', 'none', 'marker', '*', 'color',
'r');
line(data(index3,1), data(index3, 2), 'linestyle', 'none', 'marker', '*', 'color',
'b');
line(center(1,1),center(1,2), 'linestyle', 'none', 'marker', 'o', 'color', 'black');
line(center(2,1),center(2,2), 'linestyle', 'none', 'marker', 'o', 'color', 'black');
line(center(3,1),center(3,2), 'linestyle', 'none', 'marker', 'o', 'color', 'black');
[C,S]=subclust(data,0.5);
line(C(1,1),C(1,2), 'linestyle', 'none', 'marker', 'd', 'color', 'black');
line(C(2,1),C(2,2), 'linestyle', 'none', 'marker', 'd', 'color', 'black');
line(C(3,1),C(3,2), 'linestyle', 'none', 'marker', 'd', 'color', 'black');
```

Результати отримані після запуску m-файлу показано на рисунку 3.2 (центри кластеризації по fcm – порожні o, а по subclust – зафарбовані у вигляді diamond).

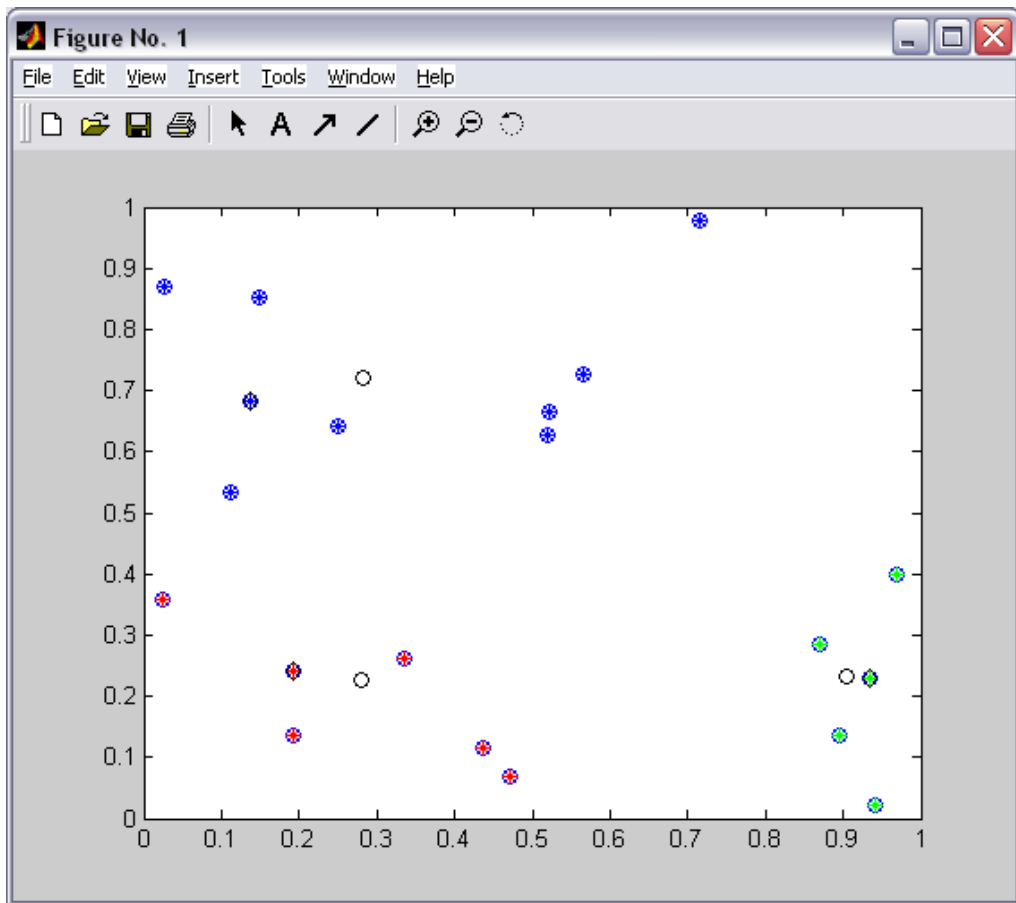


Рисунок 3.2 – Кластеризація даних для 3-х кластерів

Приналежності точок до отриманих кластерів показана в матриці U:

U =

Columns 1 through 8

0.0290	0.0557	0.1516	0.8930	0.0692	0.9813	0.0592
0.1412						
0.9283	0.3265	0.1649	0.0570	0.6545	0.0113	0.1457
0.1976						
0.0427	0.6179	0.6835	0.0499	0.2763	0.0074	0.7952
0.6612						

Columns 9 through 16

0.0152	0.2426	0.0119	0.9966	0.0255	0.1264	0.9636
0.8746						
0.9523	0.1906	0.0409	0.0021	0.0885	0.1685	0.0237
0.0826						

0.0324 0.5668 0.9473 0.0013 0.8860 0.7052 0.0127
0.0429

Columns 17 through 20

0.0126 0.1260 0.2005 0.0329
0.9683 0.7991 0.7062 0.0767
0.0192 0.0749 0.0933 0.8903

2. Кластеризація даних за допомогою графічного інтерфейсу `findcluster`.

Занесемо експериментальні дані з файлу Excel у файл `Data.dat`:

```
>> data=xlsread('Netstar3.xls');
```

% треба вказати шлях до файла

% альтернативний спосіб – імпорт файлу з носія та визначення типу та ін.

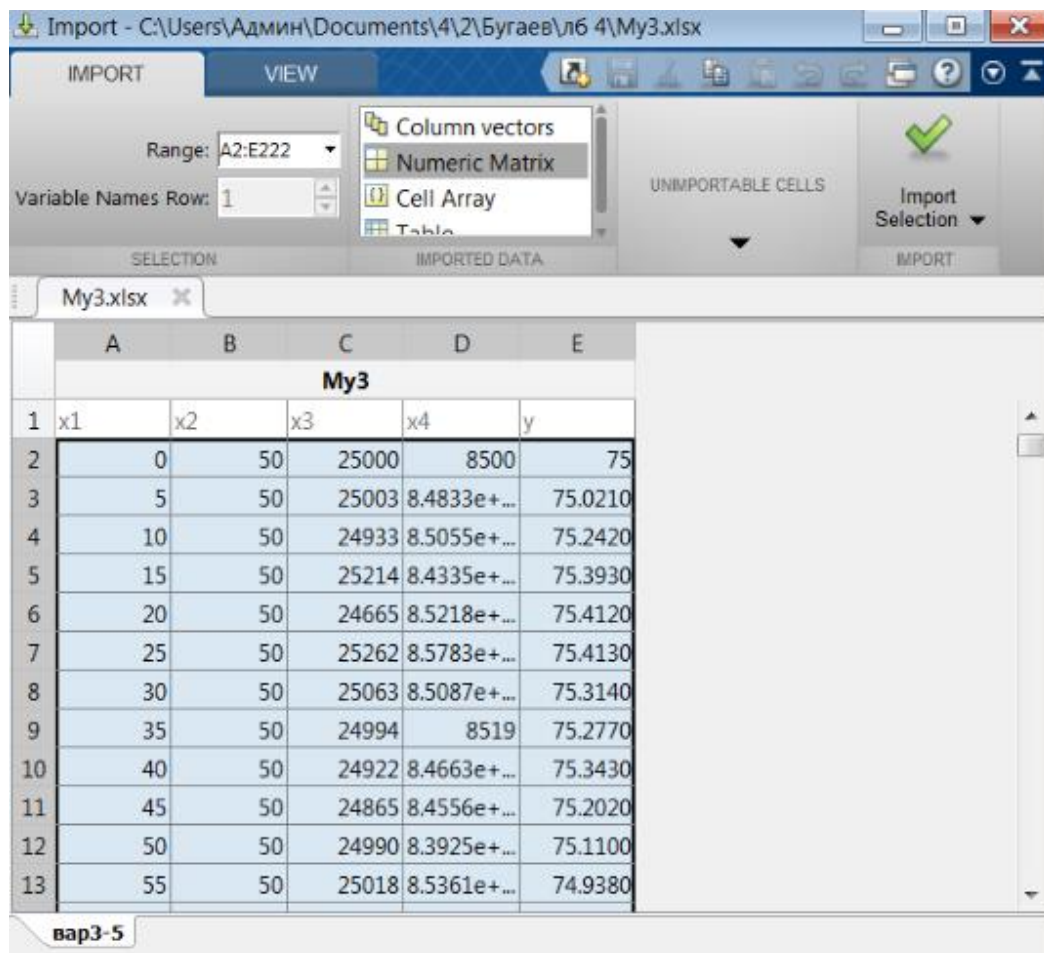


Рисунок 3.3 – Імпортування даних з файлу в MATLAB

Отримані експериментальні дані для установки низькотемпературного розділення коксового газу, а саме: степені відкриття вентилю, витрати коксового газу, витрати азоту і концентрації етиленової фракції на виході задані у таблиці виду:

Температура С°	Степінь відкриття вентилю (%)	Витрати коксового газу (м ³ /год)	Витрати азоту (м ³ /год)	Концентрація етиленової фракції (%)
115	25	25356	8426,1	75,869
120	25	24923	8503,7	76,061
125	25	25107	8574,1	75,937
130	25	24879	8593,9	75,8
135	25	24852	8418,2	75,808
140	75	24745	8503,8	73,994
145	75	24880	8457,6	73,81
150	75	24823	8434,8	73,736

Перші чотири стовпчики відповідають вхідним змінним (x_1, \dots, x_4), а останній - вихідній змінній y .

% якщо буде table необхідно перетворити за допомогою команди:

```
% data=table2array(data);
```

```
>> num=3:3:end;
```

```
>> dat=data(num,:);
```

% далі необхідно записати у текстовий файл із розширенням *.dat оскільки findcluster загрузає % саме цей тип файлів

```
>> save('D:\Data.dat','dat','-ascii');
```

Для запуску програми кластеризації наберемо в командному рядку

```
>>findcluster
```

У вікні, що з'явилося, натискаємо кнопку Load data і вибираємо наш файл FuzzyData.dat. Результати кластеризації даних по алгоритму

Subtractive clustering показані на рисунку 3.4 – центри показані чорними крапками.

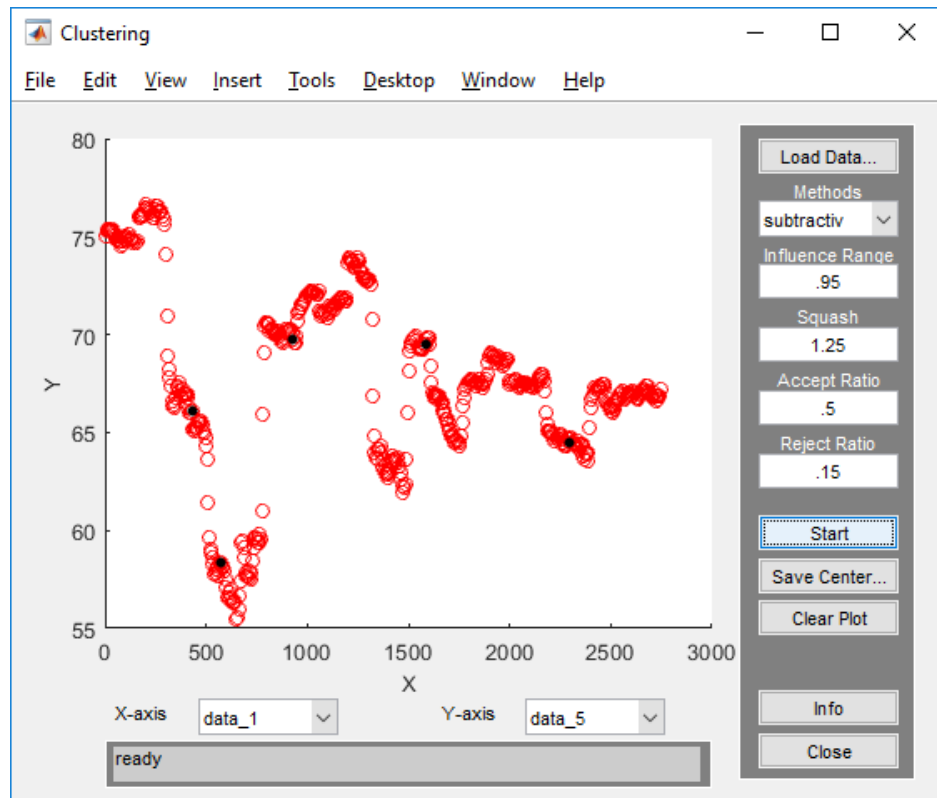


Рисунок 3.4 – Кластеризація по алгоритму *Subtractive clustering*

Для знаходження координат центрів кластерів по алгоритму *Subtractive clustering* натискаємо кнопку *Save Center* і потім зберігаємо ці координати у файл *Subtractive_center.dat*. У командному рядку набираємо:

```
>> Subtractive_center=textread('Subtr_center.dat')
```

```
Subtractive_center = 1.0e+04 *
```

```
0.1585 0.0030 2.2000 0.8500 0.0069
0.0570 0.0065 3.2000 1.1000 0.0058
0.2295 0.0050 1.8000 1.0500 0.0065
0.0930 0.0055 3.2000 0.8000 0.0070
0.0430 0.0015 2.5000 1.1000 0.0066
```

Проведемо кластеризацію тих самих даних за алгоритмом *Fuzzy c-means*. Для цього в закладці *Methods* обираємо *fcm* і проводимо далі кластеризацію також при той же кількості кластерів, що було отримано у

попередньому випадку – тобто при кількості кластерів 4. Результати кластеризації показані на рисунку 3.5 - центри показані чорними точками.

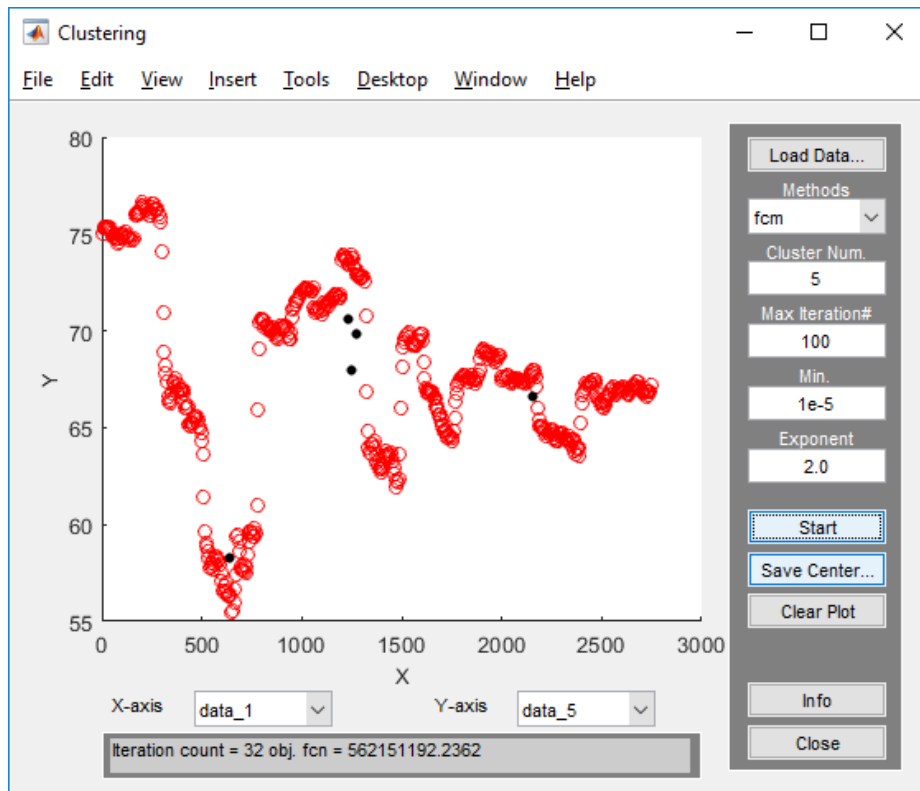


Рисунок 3.5 – Кластеризація по алгоритму *Fuzzy c-means (fcm)*

Для знаходження координат центрів кластерів по алгоритму *Fuzzy c-means* натискаємо кнопку *Save Center* і потім зберігаємо ці координати у файл *Fcm_center.dat*. У командному рядку набираємо:

```
>> Fcm_center=textread('Fcm_center.dat')
```

```
Fcm_center = 1.0e+04 *
    0.1248  0.0043  3.1479  0.8251  0.0068
    0.1275  0.0037  2.4935  0.8892  0.0070
    0.1234  0.0048  2.2100  0.8421  0.0071
    0.2156  0.0051  1.8058  0.9213  0.0067
    0.0638  0.0065  3.1960  1.0988  0.0058
```

Висновки

Варіант кластеризації з випадково згенерованими числами дає значення приналежностей до кластерів та координати центрів кластерів. При використанні інтерфейсу *findcluster* отримуємо двомірну візуалізацію

результатів та отримаємо тільки центри кластерів. Як можна бачити на рис. 4 та 5 отримали центри кластерів, координати яких для різних методів кластеризації суттєво відрізняються.

3.3. Обробка та аналіз результатів. Оформлення звіту

При оформленні звіту з практичної роботи до заздалегідь підготовленого протоколу додається:

- роздруковані аркуші з результатами виконаної практичної роботи;
- опис по етапах порядку виконання практичної роботи.

3.4. Контрольні запитання

1. Що таке кластеризація?
2. Для чого і коли потрібна кластеризація?
3. Чим відрізняється кластеризація від класифікації?
4. Чим відрізняється нечітка кластеризація від чіткої?
5. Яку інформацію ви отримаєте в результаті нечіткої кластеризації в командному режимі?
6. Яку інформацію ви отримаєте в результаті нечіткої кластеризації в програмі findcluster?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №4

РОЗРОБКА СИСТЕМИ НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИВОДУ ДЛЯ РІШЕННЯ ЗАДАЧІ ВИБОРУ МЕТОДУ ОЧИЩЕННЯ ГАЗОВИХ ВИКИДІВ В ПАКЕТІ FUZZY LOGIC TOOLBOX

Мета роботи: Навчитись використовувати засоби пакету Fuzzy Logic Matlab, а саме працювати в інтерфейсі пакету вибираючи терми, функції приналежності, правила й приймати рішення при різних значеннях нечітких параметрів

4.1. Завдання

Вибрати метод газоочищення від SO_2 в залежності від необхідної степені очищення, рівня забруднення та температури. Визначити терми для нечітко визначених параметрів та правила по вибору відповідних методів очищення. Сформувати відповідний fis-файл у пакеті Fuzzy Logic MATLAB. Провести пошук найкращого методу очищення при різних вхідних даних. Зробити висновки порівнюючи отриманий вибір із базою даних по методах очищення.

Таблиця 4.1 – Інтервальні значення факторів для сорбційних хімічних методів очищення від SO_2

N	Найменування фактору	Низька	Середня	Висока
1	Початкова концентрація	0.1-0.2	0.2-0.3	0.3-0.5
2	Степінь очищення	76-80	80-90	90-98
3	Температура газу, що очищується	20-100	100-120	120-140

Таблиця 4.2 – Правила вибору сорбційних хімічних методів очищення від SO₂

№	Степінь очищення			Початкова концентрація			Температура			Наявність домішок		Отриманий продукт		Матеріальна ємність			Енергетична ємність		
	Н	С	В	Н	С	В	Н	С	В	ТАК	НІ	ТАК	НІ	Н	С	В	Н	С	В
61		1				1	1				1	1			1				1
62			1			1	1				1	1			1				1
63		1				1		1			1		1		1				1
64			1		1				1		1	1				1			1
66			1	1			1				1	1				1			1
67	1			1			1				1	1			1				1
68		1		1			1				1		1		1				1

4.2. Хід виконання роботи в пакеті Fuzzy Logic MATLAB

Система нечіткого логічного висновку (СНЛВ - *.fis) складається з 5 основних компонентів:

1. Редактор СНЛВ (FIS Editor);
2. Редактор функцій приналежності (Membership Function Editor);
3. Редактор продуктивних правил (Rule Editor);
4. Компонент для перегляду результатів застосування правил (Rule Viewer);
5. Компонент для перегляду результатів на всій області зміни вхідних даних (Surface Viewer).

Для створення нової СНЛВ необхідно в командному вікні MATLAB набрати команду **fuzzy**.

При цьому у Вас на екрані з'явиться порожній редактор СНЛВ. Якщо ж не треба створювати нову, а відкрити вже наявну СНЛВ (демонстраційний приклад у MATLAB tipper –визначення розміру чайових у ресторані), то необхідно набрати **fuzzy tipper**.

Для вирішення цієї задачі в середовищі MATLAB повторимо необхідні дії для створення СНЛВ (FIS).

Для цього в командному рядку необхідно набрати:

fuzzy

Відкриється редактор СНЛВ (FIS Editor) з одним входом **input1**, і одним виходом **output1**. Для даного прикладу необхідно побудувати систему з 2 входами і 1 виходом. Для цього обираємо пункт **Add input** з меню **Edit**. З'явиться другий жовтий прямокутник, що називається **input2**. У нашому прикладі маємо два входи: якість їжі та обслуговування. Тому краще замінити назву вхідних змінних.

1. Натисніть мишкою на жовтий прямокутник, що називається **input1** (прямокутник підсвітитися червоним кольором);
2. У правому білому полі поміняйте назву **input1** на **обслуговування**;
3. Натисніть мишкою на жовтий прямокутник ліворуч, що називається **input2** (прямокутник підсвітитися червоним кольором);
4. У правому білому полі замініть назву **input2** на **їжа**;
5. Натисніть мишкою на блакитний прямокутник праворуч, що називається **output1**;
6. У правому білому полі поміняйте назву **output1** на **чайові**.
7. Оберіть пункт **Save to workspace as...** з меню **File**;
8. Введіть ім'я змінної **Dinner** і натисніть ОК.

Тепер треба визначити функції приналежності, зв'язані з кожною змінною. Для того, щоб зробити це, відкрийте редактор функцій приналежності.

Редактор функцій приналежності

Відкрити редактор функцій приналежності можна одним з трьох способів:

- Обрати з меню **View** пункт **Edit Membership Functions...**

- Двічі клацнути на іконці для вихідної змінної.
- Ввести **mfedit** у командному рядку.

Редактор функції приналежності є засобом, що дозволяє бачити і редагувати усі функції приналежності, що зв'язуються з усіма вхідними і вихідними змінними для всієї системи нечіткого логічного висновку.

З верхньої лівої сторони області графа в цьому редакторі є "палітра змінних", що дозволяє встановлювати функції приналежності для даної змінної. Для того, щоб встановити функції приналежності, зв'язані з вхідними чи вихідною змінною для СНЛВ, вибираємо змінну в цій області, натиснувши на неї.

Процес визначення вхідних функцій приналежності для цих двох вхідних змінних нашої задачі наступний:

1. Оберіть вхідну змінну обслуговування, клацнувши на ній. Встановіть область визначення і перегляду в інтервалі [0 10].
2. Оберіть пункт **Add MFs...** з меню **Edit**. При цьому відкриється діалогове вікно.
3. Оберіть тип функції приналежності **gaussmf** і вкажіть їхнє число, рівне **3**.
4. Натисніть на кривій з лівим максимумом і змініте її назву на **погане**. Змінити вигляд функції приналежності можна мишкою, чи ввести її параметри [1.5 0].
5. Криву із середнім максимумом назвемо **гарне**, а її параметри встановимо рівними [1.5 5].
6. Криву з правим максимумом назвіть **відмінне**, а її параметри встановіть рівними [1.5 10].
7. Оберіть вхідну змінну **їжа**, клацнувши на ній. Встановіть область її визначення і перегляду в інтервалі [0 10].
8. Виберіть пункт **Add MFs...** з меню **Edit**. При цьому, у вікні, що з'явився, оберіть тип функції приналежності **trapmf** і вкажіть їхню кількість, рівну **2**.

9. Натисніть на кривій з лівим максимумом і змініть її назву на **прогірка**. Також поміняйте її вигляд, задавши параметри [0 0 1 3].

10. Криву з правим максимумом назвіть **чудова**, а її параметри встановіть [7 9 10 10].

Потім Вам потрібно створити функції приналежності для вихідної змінної **чайові**.

Вхідні змінні мають змінюватися від 0 до 10, але значення вихідної змінної повинно бути між 5 і 25 відсотками.

Використовуємо трикутні функції приналежності для вихідної змінної. Для цього зробіть наступне:

Спочатку визначте область її визначення і перегляду в інтервалі [0 30], щоб накрити вихідну область. Додайте 3 функції приналежності типу **trimf**. Дайте їм назви **малі, середні і великодушні** й встановіть їхні параметри

[0 5 10], [10 15 20], [20 25 30], відповідно.

Тепер, коли всі змінні названі, і функції приналежності мають відповідні форми й імена, можна скласти правила.

Редактор правил

Для того, щоб викликати редактор правил, перейдіть у меню **View** і виберіть пункт **Edit rules...**, чи наберіть **ruleedit** у командному рядку **Створення правил**, використовуючи графічний інтерфейс редактора правил. Заснований на описах вхідних і вихідних змінних, визначених у редакторі СНЛВ, редактор правил дозволяє створювати правила автоматично, натискаючи і вибираючи один пункт в кожному списку вхідних змінних, один пункт в кожному списку вихідних змінних, і один пункт з'єднання. Вибираючи **none**, як одну з змінних ви виключаєте цю змінну з даного правила. Вибираючи **not** під будь-яким ім'ям змінної встановлюється протилежне значення. Правила можуть змінюватися, видалятися чи додаватися натисканням відповідної кнопки.

Для того, щоб додати перше правило в редактор Правил, обираємо наступне:

1. погане, під змінною **обслуговування**.
2. прогіркла, під змінною **їжа**.
3. кнопку or, у блоці **Connection**.
4. малі, під вихідною змінною **чайові**.

Результатом буде наступне:

1. If (обслуговування is погане) or (їжа is прогіркла) then (чайові is малі) (1)

Числа в дужках – це вага, що може відноситися до кожного правила. Можна визначити вагу від нуля до одиниці під **Weight**. За замовченням ваги приймаються рівними 1.

Аналогічно можна задати друге і третє правила в редакторі правил:

1. If (обслуговування is погане) or (їжа is прогіркла) then (чайові is малі) (1)

2. If (обслуговування is гарне) then (чайові is середні) (1)

3. If (обслуговування is відмінне) or (їжа is чудова) then (чайові is великі) (1)

Для того, щоб змінити правило, спочатку натисніть на правилі, яке хочете змінити. Потім зробіть бажані зміни в цьому правилі, і натисніть **Change rule**. Наприклад, щоб змінити перше правило на

1. If (обслуговування not погане) or (їжа not прогіркла) then (чайові is not малі) (1)

натисніть **not** під кожною змінною, і потім натисніть **Change rule**.

Спливаюче меню **Format** з меню **Options** показує обрану форму правил. Спробуйте змінити її на **symbolic**. Ви побачите

1. (обслуговування==погане)|(їжа==прогіркла) => (чайові = малі) (1)

2. (обслуговування==гарне) => (чайові= середні) (1)

3.(обслуговування==відмінне)/(іжа==чудова)=>
(чайові=великодушні) (1)

Переглядач правил

Зараз система нечіткого логічного висновку цілком визначена, в ній введені всі змінні, функції приналежності, і правила, необхідні для обчислення виходу. Перед використанням СНЛВ можна подивитися на діаграму нечіткого логічного висновку і перевірити введені правила за допомогою компонента перегляду результатів застосування правил (Rule Viewer). З меню **View** виберіть **View rules...**

4.3. Приклад рішення

В результаті оцінки експертами-технологами даних таблиць за методами очищення були вироблені правила для вибору типу методу очищення.

Ці значення факторів методів очищення відкидних газів від оксидів сірки розглядались в якості основних при формуванні правил для вибору типу методу очищення.

Таблиця 4.3 – Правила вибору методів очищення від SO₂

№	Степінь очищення			Початкова концентрація			Температура			Наявність домішок		Отриманий продукт		Матеріаломісткість			Енергоємність		
	Н	С	В	Н	С	В	Н	С	В	ТАК	НІ	ТАК	НІ	Н	С	В	Н	С	В
1	1					1		1		1		1				1		1	
2			1			1	1				1	1			1				1
3		1				1			1		1		1			1			1
4			1	1				1		1		1				1		1	
5			1	1			1			1		1			1				1
6	1					1	1				1		1		1		1		

Хід виконання роботи

В командному рядку MATLAB набираємо **fuzzy**.

При цьому відкриється редактор СНЛВ (FIS Editor) з одним входом **input1**, і одним виходом **output1** (рис.4.1). Для даного приклада необхідно побудувати систему з 3 входами і 1 виходом. Для цього виберіть пункт **Add input** з меню **Edit**. З'явиться другий жовтий прямокутник, що називається **input2**, і т.д.

- Натисніть мишкою на жовтий прямокутник, що називається **input1** (прямокутник підсвітитися червоним кольором);
- У правому білому полі поміняйте назву **input1** на **Koncentracia**;
- Натисніть мишкою на жовтий прямокутник ліворуч, що називається **input2** (прямокутник підсвітитися червоним кольором);
- У правому білому полі замініть назву **input2** на **StepenOchistki**;
- Натисніть мишкою на жовтий прямокутник ліворуч, що називається **input3** (прямокутник підсвітитися червоним кольором);
- У правому білому полі замініть назву **input3** на **Temperatura**;
- Натисніть мишкою на блакитний прямокутник праворуч, що називається **output1**;
- У правому білому полі поміняйте назву **output1** на **MetodOchistki**.
- Оберіть пункт **Save to workspace as...** з меню **File**;
- Введіть ім'я змінної **SO2** і натисніть ОК.

Далі треба визначити функції приналежності, зв'язані з кожною змінною. Для того, щоб зробити це, відкрийте редактор функцій приналежності (рис.4.2).

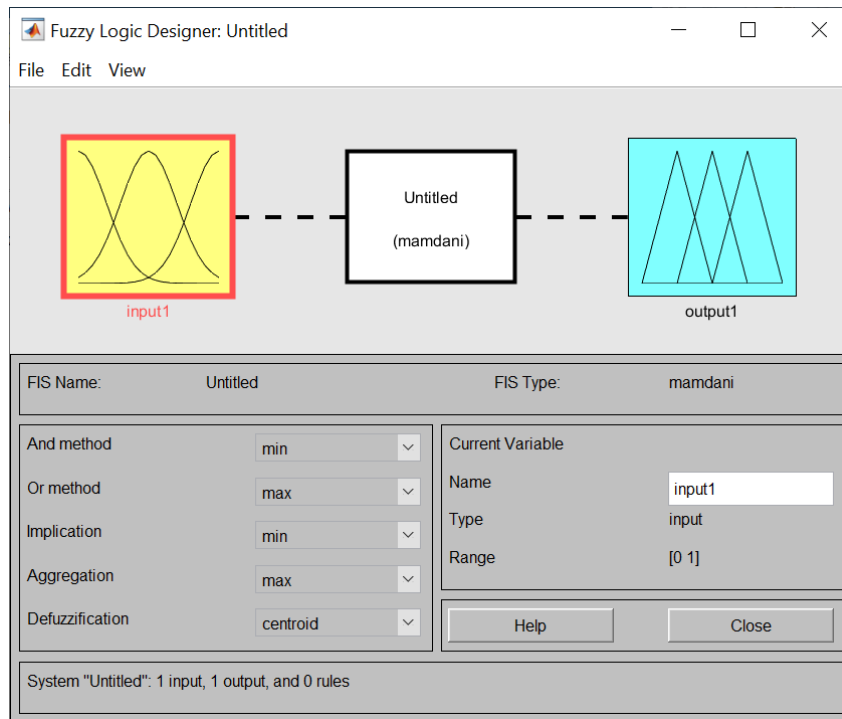


Рисунок 4.1 – Редактор СНЛВ (FIS Editor)

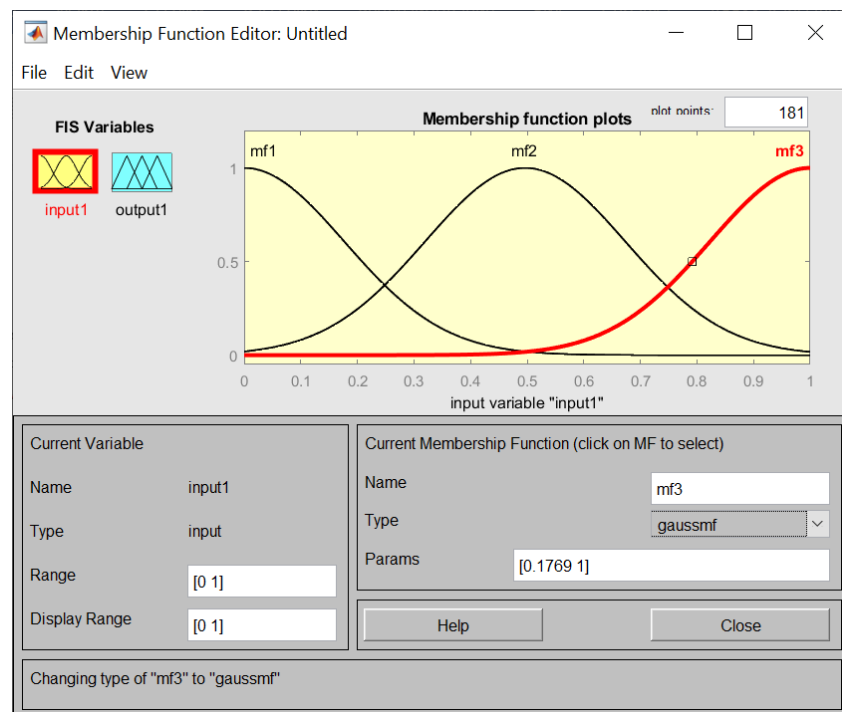


Рисунок 4.2 – Редактор функцій приналежності

Обираємо для всіх вхідних змінних гаусові функції . як це показано на рисунку 4.1. Для вихідної змінної, а саме дискретного номеру методу,

обираємо функції приналежності у вигляді трапецій, що максимально наближені до прямокутників. В результаті отримаємо наступні функції приналежності для всіх змінних (рисунок4.3).

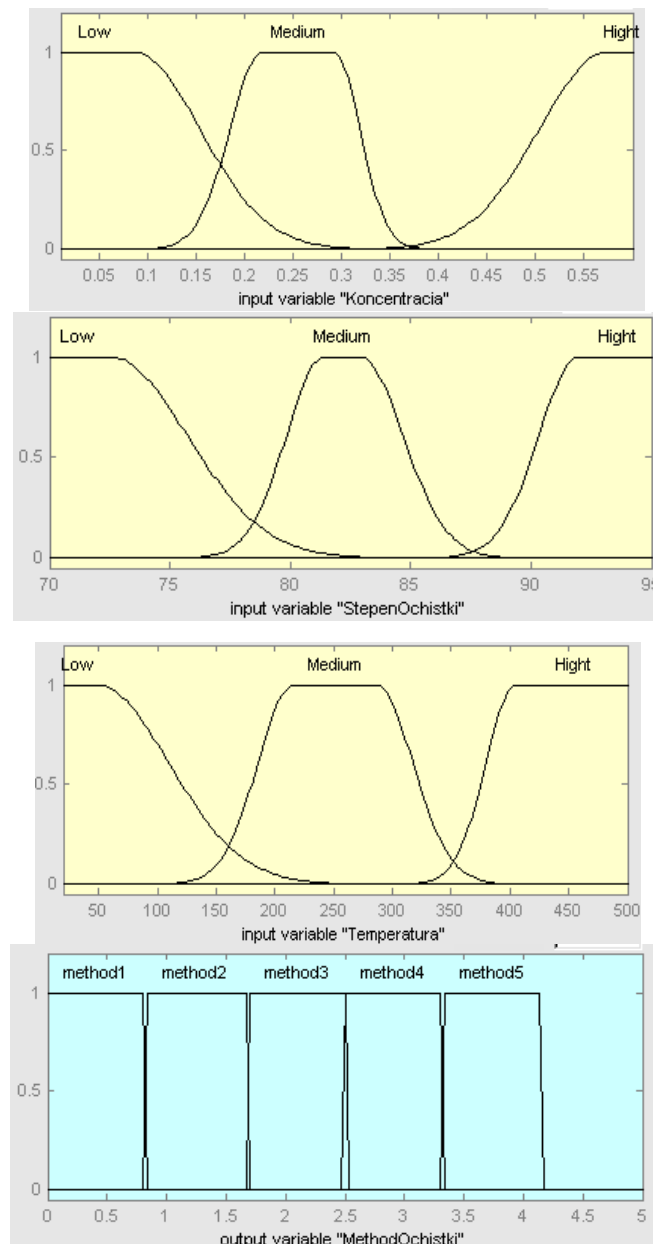


Рисунок 4.3 – Функції приналежності всіх змінних

Для того, щоб викликати редактор правил, перейдемо у меню **View** і виберемо пункт **Edit rules**, чи наберемо **ruleedit** у командному рядку, використовуючи графічний інтерфейс редактора правил. Заснований на описах вхідних і вихідних змінних, визначених у редакторі СНЛВ, редактор правила дозволяє створювати правила автоматично, натискаючи і

обираючи один пункт в кожному списку вхідних змінних, один пункт в кожному списку вихідних змінних, і один пункт з'єднання. Вибираючи **none**, як одну з змінних ви виключаєте цю змінну з даного правила. Вибираючи **not** під будь-яким ім'ям змінної ви встановлюєте протилежне значення. В нашому випадку правила матимуть вигляд (рисунок 4.4):

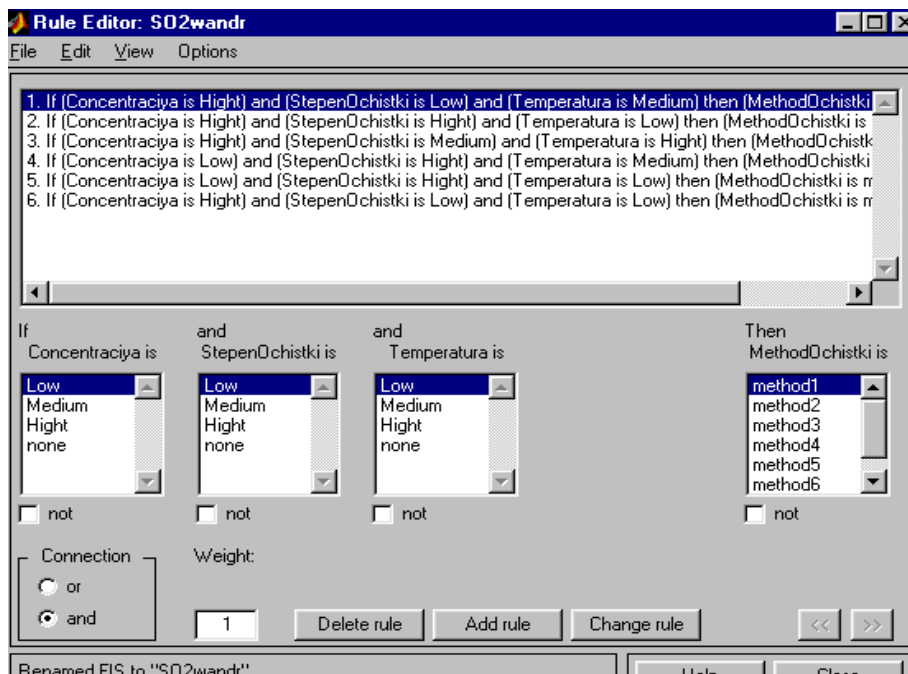


Рисунок 4.4 – Правила за умовою завдання в редакторі правил

Зараз система нечіткого логічного висновку повністю визначена: введені всі змінні, функції приналежності та всі правила, необхідні для обчислення виходу. Результат роботи побудованої СНЛВ можна побачити на рис.4.4 за допомогою компонента перегляду результатів застосування правил Rule Viewer.

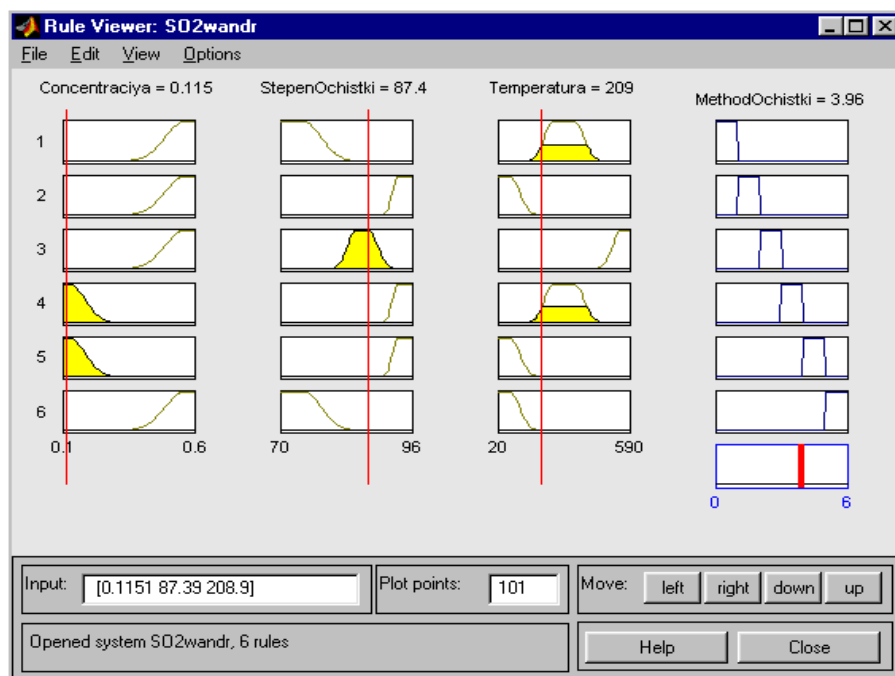


Рисунок 4.5 – Переглядач правил дає результати роботи побудованої СНЛВ

Цей режим використовується для отримання рішень (нечіткого виведення). В нашому завданні – визначити метод очищення. Це можна робити рухаючи червоний бігунок у кожному вікні, але звичайно точні значення параметрів таким чином виставляти важко. Краще це робити у вікні Input, що на рисунку 4.3 видно внизу зліва.

Висновок: Як бачимо, для значень параметрів [0.1151 87.39 208.9] отримали $MethodOchistki=3,96$ що відповідає в таблиці завдання методу очищення №4 - каталітичний абсорбційний.

4.4. Обробка та аналіз результатів. Оформлення звіту

При оформленні звіту з практичної роботи до задалегідь підготовленого протоколу додається:

- роздруковані аркуші з результатами виконаної практичної роботи;
- опис по етапах порядку виконання практичної роботи.

4.5. Контрольні запитання

1. Що таке нечітка логіка і її відмінність від чіткої?
2. Поняття лінгвістичної змінної. Наведіть приклади бажано на змінних роботи.
3. Як обирати функції приналежності для неперервних змінних типу технологічних параметрів процесу?
4. Які функції приналежності найбільш придатні для різного типу змінних?
5. Які функції приналежності наявні в редакторі СНЛВ MATLAB?
6. Як вводяться правила в редакторі правил?
7. Як можна отримати результат роботи СНЛВ?
8. Які можливості редагування в СНЛВ для покращення результатів

ПРАКТИЧНА РОБОТА №5
ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТРУБЧАТИХ
ТЕПЛООБМІННИКІВ ПРИ РУСІ ТЕПЛОНОСІЯ В
РЕЖИМАХ ПРЯМОТОКУ ТА ПРОТИТОКУ ЗА МЕТОДОМ
МОНТЕ-КАРЛО

Мета: Оцінити зміну характеристик теплообміну в режимі прямогоку за методом Монте-Карло при зміні температури основного потоку.

5.1. Теоретичні відомості

**Метод статистичних випробувань для врахування випадковостей
при моделюванні та аналізі складних систем**

У випадках, коли аналітичні методи не можна побудувати (або ж потрібно перевірити їхню точність), доводиться прибгати до універсального методу статистичного моделювання або, як його часто називають, методу Монте-Карло.

Ідея методу надзвичайно проста й полягає в наступному. Замість того, щоб описувати процес за допомогою аналітичного апарата (диференціальних або алгебраїчних рівнянь), виконується «розіграш» випадкового явища за допомогою спеціально організованої процедури, що включає в себе випадковість і дає випадковий результат. У результаті статистичного моделювання («розіграшу») ми одержуємо щоразу нову, відмінну від інших реалізацію досліджуваного процесу. Якщо таких реалізацій отримано багато, то ця множина реалізацій може бути використана як статистичний матеріал, що може бути оброблений звичайними методами математичної статистики. Після такої обробки можуть бути отримані характеристики, що цікавлять нас: математичне очікування та дисперсії випадкових величин і т. ін.

Одиничний жереб і форми його організації. Основним елементом, з яких складається статистична модель, є одна випадкова реалізація явища, яке моделюється. Реалізація – це як би один «екземпляр» випадкового явища з усіма властивими йому випадками.

Щораз, коли в хід явища втручається випадок, його вплив враховується не розрахунком, а жеребом. Як можна здійснити цей жереб? Якщо жереб кидається для того, щоб довідатися, чи відбулася подія A , його потрібно організувати так, щоб умовний результат розіграшу мав ту ж ймовірність, що й подія A .

Умовимося називати «одиничним жеребом» будь-який досвід з випадковим результатом, що відповідає на одне з наступних питань:

- 1) Відбулася чи ні подія A ?
- 2) Яка з подій A_1, A_2, \dots, A_k відбулася?
- 3) Яке значення прийняла випадкова величина X ?
- 4) Яку сукупність значень прийняла система випадкових величин X_1, X_2, \dots, X_k ?

Одиничний жереб може бути розіграний різними способами, але є один стандартний механізм, за допомогою якого можна здійснити будь-який різновид жереба. А саме, кожного разу досить уміти одержувати випадкове число R , всі значення якого від 0 до 1 рівно імовірні.

Розглянемо третю задачу, як основну, тому що четверта вирішується аналогічно стільки разів, скільки маємо випадкових величин X_1, X_2, \dots, X_k .

3) Яке значення прийняла випадкова величина X ? Коли випадкова величина безперервна й має задану щільність імовірності $f(x)$. Щоб розіграти її значення, досить здійснити наступну процедуру: перейти

від щільності ймовірності $f(x)$ до функції розподілу $F(x)$ по формулі (5.1), а потім знайти для функції F зворотну їй функцію (2).

$$F(x) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(x) dx \quad (5.1)$$

Далі виконуємо таку послідовність дій:

- Розіграємо випадкове число R від 0 до 1.
- Відкладаємо його значення на осі ОУ (тобто як значення $F(x)$).
- Проводимо з отриманої точки лінію паралельну осі ОХ до перетину із графіком функції $F(x)$.
- З точки перетину опускаємо перпендикуляр на ось ОХ.
- Отриману точку X слід розглядати як значення зворотної функції Ψ .

Графічно процедура розіграшу значення X показана на рисунку 5.2. Для числа R знайдено таке значення X , при якому $F(X) = R$ (це показано стрілками на рисунку 5.2).

Можна записати, що отримане X і є результатом підстановки R в зворотну функцію:

$$X = \Psi(R) \quad (5.2)$$

Можна довести, що отримане значення X має саме потрібний нам розподіл $f(x)$.

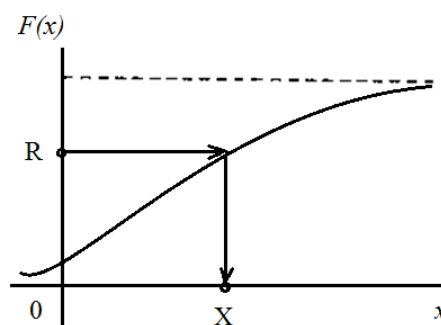


Рисунок 5.2 – Функція розподілу $F(X)$

Далі розглянемо другу задачу. Оскільки перша є її спрощеним випадком $k=2$.

2) Яка з декількох подій відбулася? Нехай події A_1, A_2, \dots, A_k сумісні й утворюють повну групу. Тоді сума їхніх імовірностей p_1, p_2, \dots, p_k дорівнює одиниці. Розділимо інтервал $(0-1)$ на k ділянок довжиною p_1, p_2, \dots, p_k (рисунку 5.3). На який з відрізків потрапило число R – та подія і відбулася.

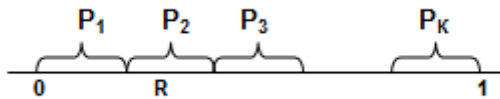


Рисунок 5.3 – Розіграш, яка з подій відбулась

Засоби розіграшу випадкових чисел

Виникає питання: а як же розігрується це число R ?

Існує цілий ряд різновидів так званих «датчиків випадкових чисел»:

- Обертний барабан, у якому перемішуються перенумеровані кульки. Нехай, наприклад, нам треба розіграти випадкове число R від 0 до 1 з точністю до 0,001. Заклав у барабан 1000 перенумерованих кульок, приведемо його в обертання й після зупинки виберемо першу кульку, що попалася, прочитаємо його номер і розділимо на 1000.

- Скласти досить велику таблицю, у якій всі цифри 0, 1, 2, ..., 9 зустрічаються випадковим образом і з однаковою імовірністю (частотою) – таблиці випадкових чисел.

- Для розіграшу R на ЕОМ застосовуються спеціальні датчики, якими оснащені багато обчислювальних машин. Це можуть бути як «фізичні датчики», засновані на перетворенні випадкових шумів, так й

обчислювальні алгоритми, по яких сама машина обчислює так звані «псевдовипадкові числа».

Імітаційна модель

Імітаційна модель (ІМ) – це формальний (тобто виконаний на деякій формальній мові) опис логіки функціонування досліджуваної системи і взаємодії окремих її елементів у часі, що враховує найбільш значущі причинно-наслідкові зв'язки у системі, і забезпечує проведення статистичних експериментів.

Оскільки основою імітаційного моделювання є метод статистичних випробувань, найбільший ефект від його застосування досягається при дослідженні систем, на функціонування яких найбільший вплив мають випадкові фактори.

Саме імітаційна модель може бути використана для комп'ютерного експерименту в цілях дослідження, проектування, аналізу і оцінки функціонування складних еколого-економічних систем.

Застосування імітаційного моделювання доцільне також у наступних випадках:

- якщо не існує закінченої постановки задачі на дослідження, і іде процес пізнання об'єкта моделювання;
- якщо характер процесів що протікають у системі не дозволяє описати ці процеси у аналітичній формі;
- якщо необхідно спостерігати за поведінкою системи (чи окремих її компонентів) протягом визначеного періоду, у тому числі зі зміною швидкості протікання процесів;
- при вивченні нових ситуацій у системі або при оцінці її функціонування у нових умовах;
- якщо досліджувана система є елементом більш складної системи, інші елементи якої мають реальне втілення;

- коли необхідно дослідити поведінку системи при введенні до неї нових компонентів; при підготовці спеціалістів і освоєнні нової техніки (у якості тренажерів).

Тобто метод Монте-Карло саме доречно використовувати в задачах з високим рівнем невизначеності.

5.2. Хід рішення задачі

Математичний опис процесу

Для моделі ідеального витіснення рівняння теплового балансу в стаціонарних умовах функціонування має вигляд:

$$-\frac{d(v\rho C_p T)}{dl} + \sum Q_{T, BT} = 0 \quad (5.3)$$

В процесі теплообміну при наявності одного джерела (стоку) теплоти:

$$\begin{aligned} \sum Q_{T, BT} &= q_{T, F} F_{\text{оа}} = K_T \Delta T F_{\text{оа}} \\ F_{\text{оа}} &= F/L \end{aligned} \quad (5.4)$$

З урахуванням $v = \text{const}$, $\rho = \text{const}$, $C_p = \text{const}$ отримаємо:

$$-v\rho C_p \frac{dT}{dl} \pm K_T \Delta T F_{\text{оа}} = 0 \quad (5.5)$$

Для потоку 1, що охолоджується:

$$\frac{dT_1}{dl} = -\frac{K_T F_{\text{уд}} (T_1 - T_2)}{v_1 \rho_1 C_{p1}} \quad (5.6)$$

Для охолоджуючого потоку 2:

$$\frac{dT_2}{dl} = \frac{K_T F_{\text{уд}} (T_1 - T_2)}{v_2 \rho_2 C_{p2}} \quad (5.7)$$

Таким чином, для стаціонарного режиму роботи проточного теплообмінника диференціальні рівняння теплового балансу по кожному теплоносію мають вигляд (5.6) та (5.7)

За умови прямогоку необхідно для вирішення системи рівнянь (5.6) та (5.7) задати початкові значення температур T_1 і T_2 при $l=0$ відомі для кожного потоку:

$$l=0 \begin{cases} T_1 = T_{1H} \\ T_2 = T_{2H} \end{cases} \quad (5.8)$$

Задача вирішення системи диференціальних рівнянь з відомими початковими умовами називається прямою.

У протиточному теплообміннику теплоносії рухаються в протилежних напрямках: теплоносій 1 з температурою T_1 рухається від $l=0$ до $l=L$, а теплоносій з температурою T_2 – від $l=L$ до $l=0$.

Щоб про інтегрувати обидва рівняння в напрямі від $l=0$ до $l=L$, необхідно змінити знак правої частини рівняння (5.7) на протилежний, в результаті чого отримаємо

$$\frac{dT_2}{dl} = - \frac{K_T F_{yd} (T_1 - T_2)}{v_2 \rho_2 C_{p2}} \quad (5.9)$$

При протівотоці приведені в початкових даних температурні умови мають вигляд:

$$\begin{cases} l=0 & T_1 = T_{1H} \\ l=L & T_2 = T_{2H} \end{cases} \quad (5.10)$$

з яких випливає, що початкові умови коректно задані лише для рівняння (1): $l=0$, $T_1=T_{1H}$; для рівняння (5.9) початкові умови не задані, відома лише температура $T_2=T_{2H}$ при $l=L$.

Задача вирішення системи диференціальних рівнянь (5.6), (5.9) з відомими значеннями початкових температур теплоносіїв T_1 і T_2 в двох різних точках по краям теплообмінника називається двоточною краєвою задачею.

Вибір чисельного методу рішення

При розрахунку для системи звичайних диференціальних рівнянь (5.6)-(5.27) за умови (5.8) (пряма задача) необхідно використовувати числовий метод Ейлера.

Метод Ейлера – найпростіший метод першого порядку для числового інтегрування системи диференціальних рівнянь $dy_j/dx=f(x,y_j)$ з початковими умовами $x_0, y_j(x_0)=y'_{j0}$ де j – номер диференціального рівняння.

Він реалізується наступною рекурентною формулою:

$$y_{j,i}=y_{j,i-1}+hf_j(x_{i-1},y_{j,i-1}),$$

де $y_{j,i}$ – рішення j –го диференціального рівняння в даній x_i –й точці, $y_{j,i-1}$ – рішення j –го диференціального рівняння в попередній x_{i-1} –й точці, h – крок інтегрування (приріст змінної x), $f_j(x_{i-1}, y_{j,i-1})$ – значення правої частини j – го диференціального рівняння в точці $x_{i-1}, y_{j,i-1}$.

Метод має велику похибку, тому для отримання точного результату необхідно використовувати малий крок інтегрування.

При розрахунку протитоку для вирішення системи звичайних диференціальних рівнянь (5.6), (5.9) при умовах (5.10) (двухточкова краєва задача) необхідно поряд з чисельним методом Ейлера використовувати метод ітерацій чи пристрілки невідомого значення початкової умови – температури T_{2k} на границі $l=0$.

Для забезпечення збіжності рішення рекомендується в якості першого наближення T_{2k} взяти результат, отриманий при прямоточній схемі руху потоків. Ітерації проводяться до виконання умови $|T_2-T_{2k}|<\epsilon$, де T_2 – розраховане значення другого теплоносія на границі $l=L$ на даній ітерації.

Середовище моделювання Simulink.

Для моделювання заданого процесу в статичному режимі скористаємося засобами моделювання середовища Simulink. Спочатку необхідно увійти в середовище моделювання Simulink. Для цього необхідно запустити Matlab і викликати середовище Simulink, наприклад з командного рядка командою “simulink” або натиснувши відповідну кнопку на панелі інструментів. Після виконання даної команди з'явиться вікно Simulink з менеджером бібліотек. У правій частині вікна виводяться всі модулі поточної бібліотеки. Приступити до створення нової s-моделі можна натиснувши кнопку на панелі інструментів “Create a new model” (створити нову s-модель).

Складання s-моделі здійснюється з використанням технології “drag-and-drop”, тобто блоками для побудови моделі є компоненти модулів з відповідних розділів бібліотек, що перетаскуються у вікно моделі

5.3. Завдання

Виконати рішення прямої і двухточкової краєвої задачі на прикладі математичного моделювання трубчатих теплообмінників в режимах прямотоку і протитоку.

Скласти модель трубчатих теплообмінників.

Розробити математичне і програмне забезпечення для визначення профілю зміни температури теплоносія по довжині теплообмінника при прямоточній і протиточній схемах руху теплоносіїв (рис. 5.1).

Завдання виконати із застосуванням m – файлів та Simulink Matlab. Оцінити зміну характеристик теплообміну в режимі прямотоку за методом Монте-Карло (при зміні температури основного потоку $T_{1н}$). Для оцінки впливу використовувати аналіз чутливості на базі імітаційного експерименту (із застосуванням методу Монте – Карло). Провести аналіз отриманих результатів імітаційного експерименту.

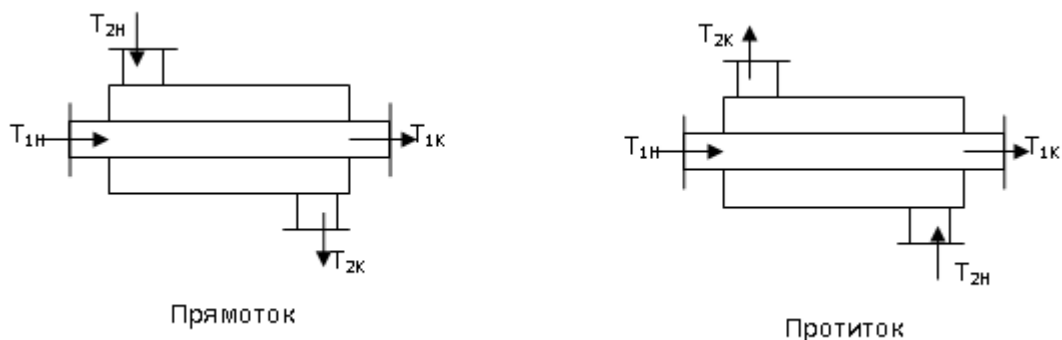


Рисунок 5.4 – Схема потоків апарату

Моделювання процесу здійснити за наступних припущень:

– Режим руху теплоносіїв в трубному і між трубному просторі – ідеальне витіснення.

– Зміною фізико-хімічних властивостей теплоносіїв з зміною їх температури можна знехтувати.

– В якості розрахункового діаметру приймають або діаметр такої поверхні циліндричної стінки, зі сторони якої α значно менше, ніж з протилежної, або середній діаметр $d_{\text{ср}}$, якщо коефіцієнти тепловіддачі з обох сторін стінки близькі по величині.

5.4. Приклад розрахунку для випадку прямоточної схеми руху теплоносіїв

Для розрахунку зміни температури теплоносіїв в теплообміннику треба розробити s-модель прямоточного теплообмінника в Simulink (файл *.mdl), приклад якої можна бачити на рис.5.4.

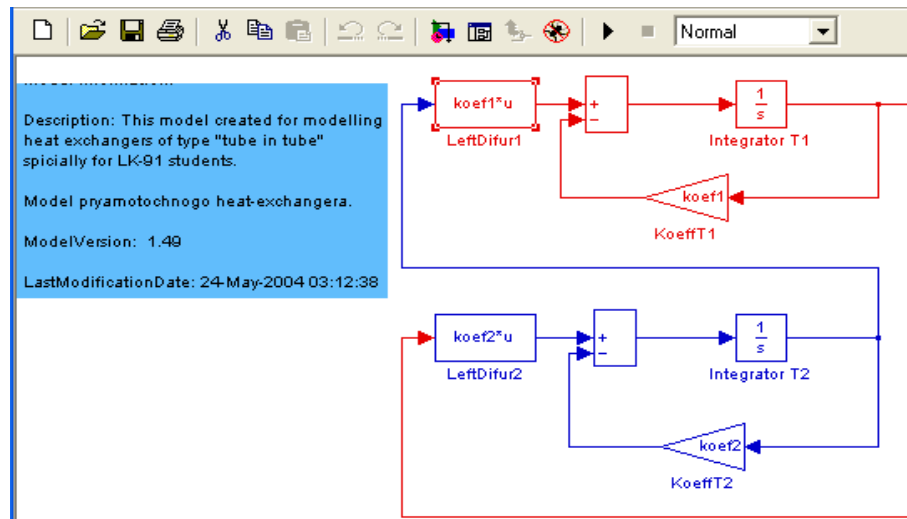


Рисунок 5.5 – Модель прямоточного теплообмінника «труба в трубі» побудована в Simulink.

При розробці s-моделі застосовувались блоки Fcn, Integrator, Gain та Sum (можна інші).

Для проведення розрахунків по моделі може бути складено скрипт *.m, що реалізує алгоритм розрахунку. В даний файл вводять початкові дані. Скрипт розраховує невідомі для моделі параметри та запускає модель на розрахунок, виводить отримані результати в числовому та графічному вигляді. Перевагою такого поєднання s-моделі в Simulink та скрипту є те, що користувачу не потрібно змінювати s-модель, а лише змінити вхідні дані в скрипті, що набагато простіше. Крім того є можливість програмно змінювати параметри моделі, що дозволяє проводити розрахунки моделі при різних параметрах без перебудови моделі вручну.

Ця перевага і використовується в програмі для аналізу впливу коефіцієнта тепловіддачі від стінки до холодного теплоносія α_2 на теплообмін. Коефіцієнт тепловіддачі змінюється випадковим чином в деяких межах за нормальним законом розподілу – тобто реалізується метод Монте-Карло. Після цього проводиться розрахунок по моделі.

Розрахунок проводиться для різних значень коефіцієнту, перше задається за умовою задачі, а інші випадковим розіграшем. На графік зміни температур (рисунок 5.6) наносяться профілі, отримані при всіх значеннях α_2 .

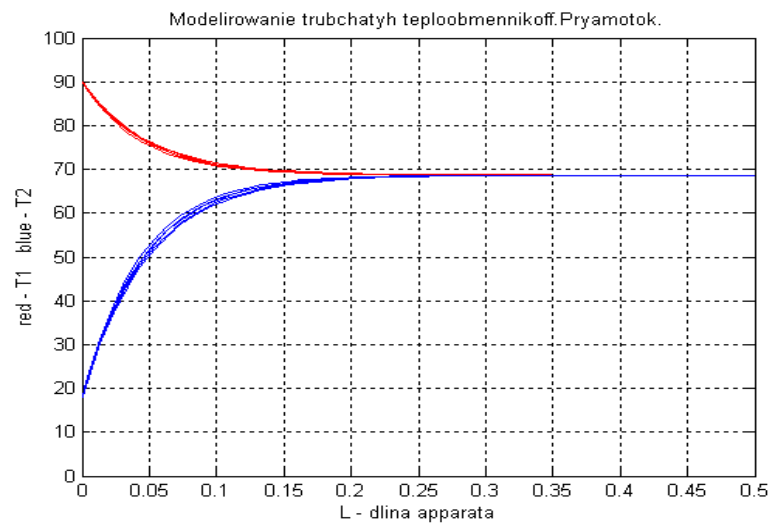


Рисунок 5.5 – Графічні результати моделювання зміни температур теплоносіїв в прямооточному теплообміннику

Висновки

З отриманих результатів видно, що при відхиленні коефіцієнту α_2 від заданого значення випадковим чином в межах біля 10%, профілі температур майже не змінюються, що свідчить про малу чутливість процесу до зміни коефіцієнта. Невелике відхилення температур спостерігається тільки всередині апарату, що в загальному випадку не впливає на кінцеві температури (всі криві співпадають).

Аналогічно проводиться розрахунок та дослідження для випадку протиточної схеми руху теплоносіїв.

5.5. Обробка та аналіз результатів. Оформлення звіту

При оформленні звіту з практичної роботи до заздалегідь підготовленого протоколу додається:

- роздруковані аркуші з результатами виконаної практичної роботи;
- опис по етапах порядку виконання практичної роботи.

5.6. Контрольні запитання

1. Як організувати одиничний жереб для того, щоб довідатися, чи відбулася подія A із заданою імовірністю?
2. Як має бути реалізовано розіграш для визначення яка саме подія має відбутися із послідовності подій, імовірності яких відомі?
3. Покажіть, як можна розіграти випадкову величину, що задана деякою функцією розподілу.
4. Що таке псевдовипадкові числа та як їх можна отримати?
5. Наведіть приклади застосування методу Монте-Карло.
6. Що таке імітаційна модель та як вона пов'язана із методом Монте-Карло?

ПРАКТИЧНА РОБОТА №6

МОДЕЛЮВАННЯ ДИСКРЕТНИХ СИСТЕМ ІЗ ЗАСТОСУВАННЯМ МЕРЕЖ ПЕТРІ

Мета роботи: Навчитись моделювати дискретні системи із застосуванням мереж Петрі (МП), проводити дослідження можливих станів системи із використанням спеціалізованого програмного забезпечення HPSim. Провести аналіз досяжності заданих станів системи при матричному представленні МП засобами математичного пакету Mathcad.

6.1. Основні теоретичні положення

Побудова моделі МП. Компоненти системи і їх дія представляються абстрактними подіями. Подія може відбутися (реалізуватися) один раз, повторитися багаторазово, породжуючи конкретні дії (реалізації події) чи не відбутися жодного разу. Сукупність дій, що виникають як реалізації подій при функціонуванні дискретної системи, утворить процес, породжуваний цією системою.





Дискретні системи зручно представити як структури, утворені з елементів двох типів: подій і умов. У мережах Петрі події й умови називаються відповідно множина переходів і множина позицій. Переходи зображуються бар'єрами $|$, а місця (позиції) \circ .

Умови-позиції і події-переходи мають причинно-наслідковий зв'язок, що зображується за допомогою спрямованих дуг, що ведуть з позицій у переходи, а з переходів у позиції.

Позиції, з яких ведуть дуги на даний перехід називають його вхідними місцями.

Позиції, на які ведуть дуги з даного переходу називаються його вихідними місцями.

Виконання умови зображується розміткою „маркуванням” відповідної позиції, а саме приміщенням n фішок (маркерів) чи числа n у цю позицію ($n > 0$).

-  умова p не виконана;
-  умова p виконана;
-  умова p виконана 3 рази (має ємність 3);
-  умова p має ємність 5.

Неформально роботу мережі можна представити як сукупність локальних дій, що називаються спрацьовуванням переходів. Вони відповідають реалізаціям подій і приводять до зміни розмітки місць, тобто локальній зміні умов у системі. Перехід може спрацьовувати, якщо виконані всі умови реалізації відповідної події.

Спрацьовування переходу (неподільна дія, що застосовує розмітку його вхідних і вихідних місць у такий спосіб: з кожного вхідного місця вилучається по одній фішці, а в кожне вихідне місце додається по 1 фішці. Тим самим реалізація події, зображуваного переходом, змінює стан (ємність) безпосередньо зв'язаних з ним умов так, що ємність передумов, що викликали реалізацію цієї події, зменшується, а ємність постумов, на які воно впливає, збільшується.

Якщо два переходи не мають загальних вхідних місць, то їхні спрацьовування є незалежними діями, здійснюваними послідовно чи паралельно.

Якщо кілька переходів мають загальне вхідне місце, то спрацьовує тільки один (будь-який). При цьому спрацювавши цей перехід позбавить можливості спрацювати інші переходи. У такий

спосіб в мережі моделюється конфлікт між подіями, коли реалізація однієї події може виключити можливість реалізації інших.

У мережі не вказується, яким чином конфлікт варто фактично дозволити. Вважається, що рішення про те, яке з конфліктних подій варто реалізувати, приймається поза формалізмом мережі, тобто поведіння мережі носить невизначений не детермінований характер.

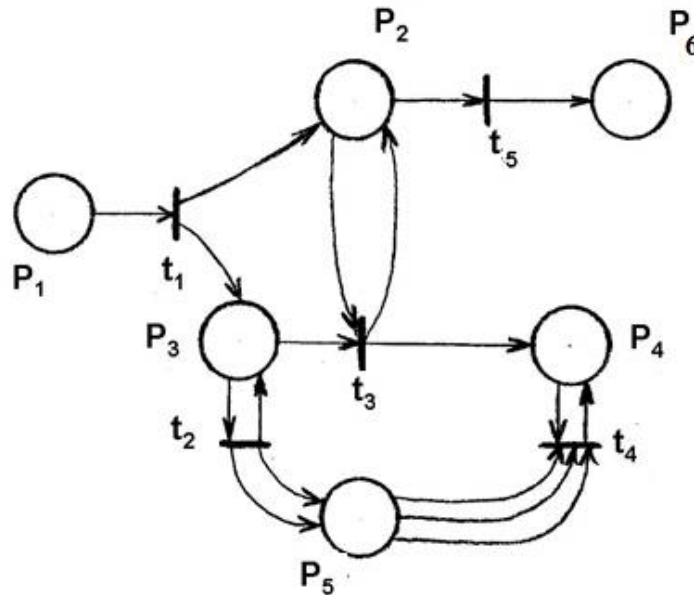


Рисунок 6.1 – Представлення мережі Петрі у вигляді мультиграфу

У процесі функціонування мережі відбувається зміна розміток місць, як результат спрацювання її переходів. Мережа зупиняється, якщо жоден з її переходів не може спрацювати.

6.2. Завдання

1. Записати МП у вигляді четвірки $МП = (P, T, I, O)$.
2. Побудувати модель дискретної системи у графічній формі мережі Петрі (СП), як на рис.1.
3. Дослідити роботу системи у формі мережі Петрі засобами обраного програмного пакету МП (HPSim).

4. Скласти в табличному вигляді послідовність станів (маркувань) системи, що дозволяють спрацювати обраним вами дозволеним переходам.

№ маркування	P₁	P₂	...	P_n	Перехід t_j, що спрацював
M₀					
M₁					
...					

5. Дослідити МП на досяжність вказаного маркування M_d із початкового M₀ засобами математичних пакетів MathCad або Matlab.

6. Проаналізувати результати моделювання МП та привести відповідні висновки.

7. Скласти звіт у порядку, що відповідають пунктам 1-6:

- умова згідно з варіантом;
- аналітичний опис у вигляді четвірки МП =(P, T, I, O);
- рисунок з графічним представленням МП , як на рис.6.1;
- аналіз досяжності заданого маркування у MathCad або Matlab;
- протокол моделювання МП (виконання МП „вручну” по крокам) ;
привести 10-15 спрацювань переходів у вигляді вищенаведеної таблиці;
- протокол моделювання МП (виконання МП у програмі по крокам)
10-15 спрацювань переходів у вигляді текстового протоколу (вікно стану Status window), зазначити конфлікти та їх вирішення програмою;
- вікно програми в режимі моделювання МП як на рис.3 із останнім станом МП ;
висновки про досяжність, наявність тупикових переходів й т.д.

6.3. Приклад виконання мережі Петрі

Розглянемо марковану мережу, граф якої представлено на рисунок 6.2.

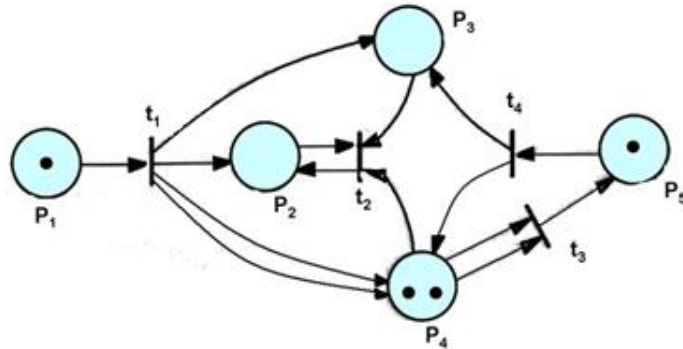


Рисунок 6.2 – Початкове маркування мережі Петрі

Як можна бачити, дозволено три переходи: t_1, t_3, t_4 , а перехід t_2 не дозволений, тому що p_2, p_3 не містять фішок. Будь-який з дозволених переходів t_1, t_3, t_4 може бути запущений. Якщо запущено деякий перехід t_j , то віддаляється фішка з кожного входу і поміщається фішка в кожен вихід.

Якщо запущений перехід t_4 , то одна фішка вилучається з p_5 , одна фішка поміщається в p_3 і одна в p_4 (буде 3 фішки). Отримаємо нове маркування в результаті запуску t_4 :

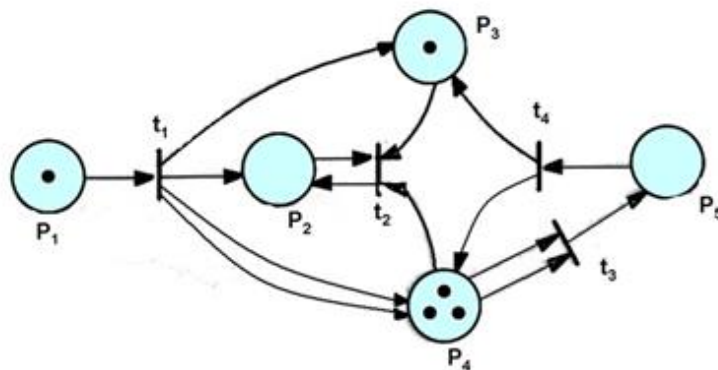


Рисунок 6.3 – Маркування в результаті запуску t_4

У мережі Петрі на рисунку 6.3 дозволені переходи t_1, t_3 . Якщо спрацює t_1 , то в p_3 буде 2 фішки, 1 фішка в p_2 і 5 фішок у p_4 (додається 2 фішки у відповідності з кратністю виходу), як ми бачимо на рисунку 6.4:

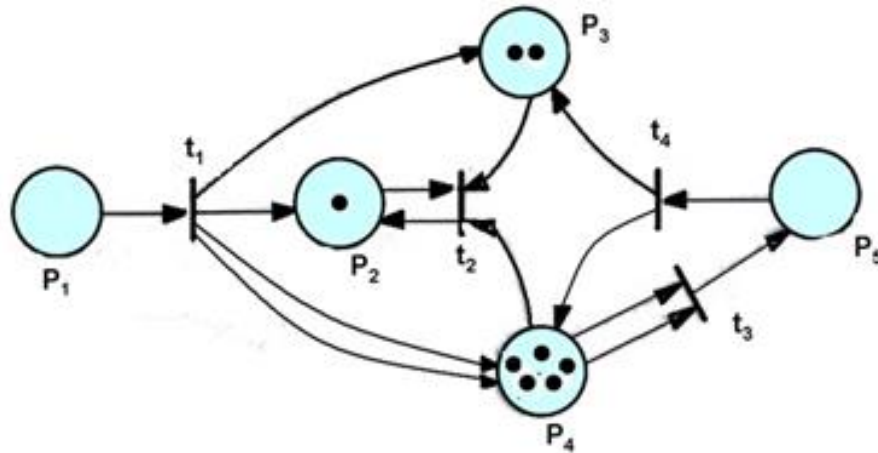


Рисунок 6.4 – Маркування в результаті запуску t_1

Мережі Петрі на рисунку 6.4 дозволено переходи t_2, t_3 . Запуск переходу t_3 утворить нове маркування.

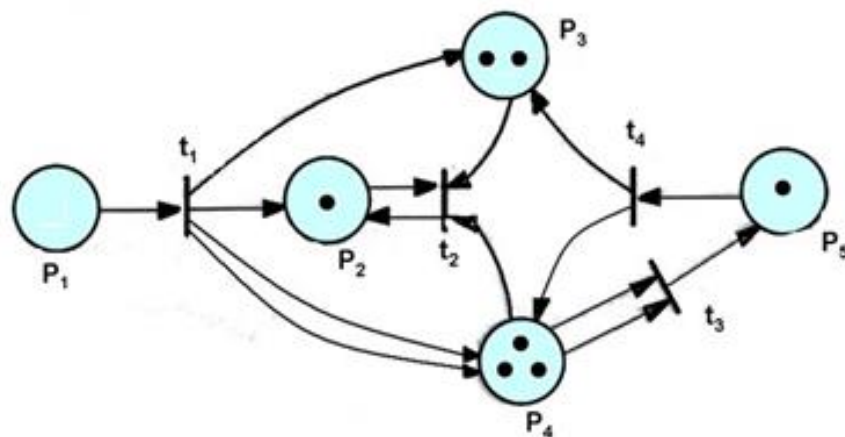


Рисунок 6.5 – Маркування в результаті запуску t_3

Запуски можуть здійснюватися доти, доки існує хоча б один дозволений перехід.

Структура мережі Петрі.

Структура мережі Петрі визначається її позиціями (множина $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$), переходами (множина $T = \{t_1, t_2, t_3, t_m\}$), вхідною функцією I і вихідною функцією O .

Вхідна функція I відображає перехід t_j у множині позицій $I(t_j)$, названих вхідними позиціями переходу. Для мережі на рис.6.1:

$$I(t_1) = \{P_1\}; \quad I(t_2) = \{P_3\}; \quad I(t_3) = \{P_2, P_3\}; \quad I(t_4) = \{P_5, P_5, P_5, P_4\}; \\ I(t_5) = \{P_2\}$$

Вихідна функція O відображає перехід t_j у множині позицій $O(t_j)$, названих вихідними позиціями переходу. Для мережі на рис.6.1:

$$O(t_1) = \{P_2, P_3\}; \quad O(t_2) = \{P_5, P_5\}; \quad O(t_3) = \{P_2, P_4\}; \quad O(t_4) = \{P_4\};$$

У такий спосіб мережі Петрі представляється у виді четвірки $МП = (P, T, I, O)$, що складається з множини позицій (P), множини переходів (T), вхідних функцій ($I: T \rightarrow P$) і вихідних функцій ($O: T \rightarrow P$).

Простір станів мережі Петрі

Якщо мережа Петрі описує функціональну схему системи, що моделюється, то робота мережі моделює процес, що змінює свій стан у часі, і для його вивчення потрібно зафіксувати його у формі деякої «історії процесу».

Стан мережі Петрі визначається її маркуванням. Запуск будь-якого переходу змінює маркування МП. Простір станів мережі Петрі відображується множиною усіх її маркувань.

Функція зміни стану $\delta(\mu, t_j)$ не визначений якщо при маркуванні μ перехід t_j не дозволений. Якщо t_j дозволений, то $\delta(\mu, t_j) = \mu'$, де μ' є маркування, отримана після запуску переходу t_j .

При виконанні мережі Петрі виходить 2 послідовності: послідовність маркувань $(\mu^0, \mu^1, \mu^2, \dots)$ і послідовність переходів, що були запуснені:

$(t_{j_0}, t_{j_1}, t_{j_2}, \dots)$. Ці послідовності зв'язані співвідношенням:
 $\delta(\mu^k, t_{j_k}) = \mu^{k+1}$ для $k = 0, 1, 2, \dots$

Маючи μ_0 і послідовність переходів легко одержати послідовність маркірувань мережі Петрі. А маючи послідовність маркірувань також можна одержати послідовність переходів.

У такий спосіб послідовності представляють опис виконання мережі Петрі.

Матричне представлення мережі Петрі

Для матричного представлення використовуються дві матриці ($m \times n$) A^- та A^+ , стовпчики яких відповідають позиціям СП (n), рядки – переходам (m). Матриця A^- описує вхідні позиції переходів. Елемент a^-_{ij} – це кількість дуг, що виходять із позиції j й входять в перехід i . Матриця A^+ описує вихідні позиції переходів. Елемент a^+_{ij} – це кількість дуг, що виходять із переходу i й входять в позицію j .

За допомогою такого представлення стає можливим рішення задачі досяжності деякого маркування M_d із початкового M_0 . Для цього потрібно обчислити матрицю змін $V = A^+ - A^-$. Якщо система $M_d = M_0 + X \cdot V$ має розв'язок, то маркування M_d може бути досяжне через послідовність спрацювань переходів у відповідності з рішенням X . Нажаль цей вектор X не дає інформації про порядок цих переходів й крім того може відповідати недозволеній послідовності запусків переходів. Тому згідно з теорією СП можливість рішення попередньої системи є тільки необхідною умовою досяжності. Достатня умова досяжності ще залишається науково невирішеною проблемою в теорії СП.

Аналіз досяжності маркування

маркування $(0, 2, 1, 2, 1, 2)$ із початкового маркування $(0, 1, 1, 0, 0, 0)$

$$m_0 := \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{pmatrix} \quad m_d := \begin{pmatrix} 0 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix} \quad A := \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 3 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix}$$

$$B := \begin{pmatrix} 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$C := B - AC = \begin{pmatrix} -1 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 2 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -3 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \quad m := m_d - m_0 m = \begin{pmatrix} 0 \\ 1 \\ 0 \\ 2 \\ 1 \\ 2 \end{pmatrix}$$

Необхідна умова досяжності маркування:

$$m = C^T X$$

$$C1 := \text{augment}(C^T, m)$$

$$C1 = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 & 1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 2 \\ 0 & 2 & 0 & -3 & 0 & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 2 \end{pmatrix} \quad C^T = \begin{pmatrix} -1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & -1 \\ 1 & 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 2 & 0 & -3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

$$\text{rank}(C^T) = 4 \quad \text{rank}(C1) = 5$$

Висновок

Ранг розширеної матриці не рівний рангу основної, тому система рішення не має, тому і вказане маркування не досяжне.

6.4. Обробка та аналіз результатів. Оформлення звіту

При оформленні звіту з практичної роботи до заздалегідь підготовленого протоколу додається:

- роздруковані аркуші з результатами виконаної практичної роботи;
- опис по етапах порядку виконання практичної роботи.

6.5. Контрольні запитання

1. Що таке мережа Петрі й для моделювання яких процесів вона використовується?
2. Які характеристики мережа Петрі має як граф?
3. Аналітичне та графічне представлення мереж Петрі, взаємне перетворення. Навести приклади.
4. Які засоби опису стану системи в мережах Петрі? Навести приклади.
5. Що таке маркування мережі та як воно працює? Показати на прикладі.
6. Поясніть, як спрацьовують переходів в мережах Петрі. Показати на прикладі.
7. Як проаналізувати досяжність деякого стану системи, визначеного маркуванням початковим та кінцевим маркуванням?
8. Дати пояснення реалізованій послідовності станів системи на прикладі лабораторної роботи.

СПИСОК РЕКОМЕНДОВАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Згуровский М.З., Панкратова Н.Д. Системный анализ. Проблемы, методология, приложения. – Киев, Наук. Думка. 2005. – 743 с.
2. Бугаєва Л.М., Бойко Т.В., Безносик Ю.О. Системний аналіз хіміко-технологічних комплексів. Київ, Інтерсервіс, 2017. – 254 с.
3. Статюха Г.О., Безносик Ю.О., Бугаєва Л.М. Інтелектуальні системи прийняття рішень при дослідженні та проектуванні хіміко-технологічних процесів. У двох книгах. – Київ: Політехніка, 2004. – 416 с.
4. Лабораторный практикум «Компьютерные технологии в инженерной химии»: Учебн.пособие . Товажнянский Л.Л., Бабак Т.Г. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2002.- с.198-217
5. Мюллер А., Гидо С. Введение в машинное обучение с помощью Python. М.: O'Reilly Media, 2017. — 392 с.
6. Мушик Э., Мюллер П. Методы принятия технических решений : Пер. с нем. - М.: Мир, 1990. - 208 с.
7. Котов В.Е. Сети Петри. – Киев: Наук. думка, 1984. – 160 с. с.

Додаток А. Заходи безпеки під час виконання практичних робіт

Цикл практичних робіт з дисципліни «Математичні пакети та їх застосування» виконуються в комп'ютерному класі кафедри технічних та програмних засобів автоматизації інженерно-хімічного факультету, де розміщені персональні комп'ютери. Обладнання живиться електричним струмом напругою 220 В. Тому при виконанні лабораторних робіт слід дотримуватися заходів безпеки наступних інструкцій.

ІНСТРУКЦІЯ

з техніки безпеки при навчанні студентів на ПЕОМ в учбових лабораторіях кафедри технічних та програмних засобів автоматизації інженерно-хімічного факультету

1. Знання і суворе дотримання цих правил є обов'язковим для всіх осіб, допущених до роботи на ПЕОМ. Доведення їх до кожного зі студентів підтверджується особистим підписом кожного з них у контрольному листі з техніки безпеки. Особи, які не одержали такого інструктажу та не поставили підпис у контрольному листі з техніки безпеки, до роботи на ПЕОМ не допускаються.

2. Всі роботи в учбових лабораторіях кафедри технічних та програмних засобів автоматизації проводяться лише з дозволу викладача або співробітника кафедри.

3. Під час проведення занять в учбовій лабораторії не повинні знаходитися сторонні особи, в тому числі студенти інших груп. Студенти не повинні самовільно залишати учбову лабораторію під час занять.

4. При роботі на ПЕОМ треба пам'ятати, що в них використовується напруга, небезпечна для життя.

5. Всі особи, працюючі в учбових лабораторіях кафедри технічних та програмних засобів автоматизації повинні бути ознайомлені з правилами надання першої медичної допомоги при ураженні електричним струмом.

6. Перед вмиканням ПЕОМ кожен з працюючих повинен отримати дозвіл викладача або співробітника кафедри.

7. У випадках виникнення короткого замикання, горіння, диму, вогню в апаратурі, пристрій необхідно негайно вимкнути з мережі та доповісти викладачеві або співробітникам кафедри. Самостійні дії по усуненню пошкодження забороняються.

8. У випадку виходу з ладу обладнання або програмного забезпечення, що зумовлені іншими причинами, доповісти викладачеві або співробітникам кафедри. Вимикати апаратуру при цьому не дозволяється. Самостійні дії по усуненню пошкодження забороняються.

9. Працюючі в учбових лабораторіях кафедри технічних та програмних засобів автоматизації несуть майнову та адміністративну відповідальність за збереження та використання обладнання, наданого для їх праці.

10. Категорично забороняється:

- самостійно вмикати та вимикати тумблери на щитку електроживлення;
- не санкціоновано вмикати електрообладнання;
- приносити та вмикати своє обладнання та пристрої, встановлювати власне програмне забезпечення;
- залишати без нагляду увімкнені пристрої та лабораторію;
- пересувати обладнання та комплектуючі;
- підключати та відключати інформаційні кабелі та кабелі живлення;
- використовувати власні носії інформації без дозволу викладачів або співробітників кафедри;
- знаходитись в учбовій лабораторії у верхньому одязі.

11. Після закінчення занять обладнання не вимикається. Робоче місце має бути прибрано працюючим та перевірено викладачем чи співробітником кафедри.

ІНСТРУКЦІЯ

про міри пожежної безпеки у лабораторіях, учбових та робочих приміщеннях кафедри технічних та програмних засобів автоматизації інженерно-хімічного факультету

1. Всі студенти повинні знати та ретельно виконувати «Загальні правила пожежної безпеки в НТУУ «КПІ імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО».
2. Завідуючий кафедрою та завідуючий лабораторією відповідають за забезпечення пожежної безпеки всіх приміщень кафедри та за справність протипожежного обладнання та сигналізації.
3. Все електричне обладнання, яке знаходиться в лабораторіях та приміщеннях кафедри, повинно мати заземлення.
4. В усіх приміщеннях повинно дотримуватись чистоти, не займати приміщення непотрібними меблями, обладнанням та матеріалами.
5. Всі двері основних та додаткових виходів утримувати у стані швидкого відкривання.
6. Зберігання та використання горючих та легкоспалахуючих рідин у приміщеннях кафедри забороняється.
7. Ремонт електричного обладнання проводити у строгій відповідності з правилами пожежної безпеки.
8. Всі електрозахисти повинні знаходитися у закритому положенні, не займаними сторонніми предметами.
9. Коридори, проходи, тамбури, евакуаційні виходи та підходи до першочергових засобів пожежогасіння, а також комунікаційні ніші повинні бути постійно вільними, чистими та нічим не зайнятими.
10. Відповідальні особи перед закриттям приміщень повинні ретельно оглянути їх, забезпечити прибирання виробничих відходів, перевірити якість перекриття води, газу, відключити напругу електромережі, перевірити стан пожежної сигналізації та засобів пожежогасіння.

11. Від усіх приміщень мати два комплекти ключів. Один комплект здавати черговому, а інший – зберігати в певному місці, яке відомо обслуговуючому персоналу.

12. Студенти повинні знати та ретельно виконувати «Загальні правила техніки безпеки в НТУУ «КПІ», про що вони ставлять свій підпис у відповідному контрольному листі з техніки безпеки перед початком проведення циклу практичних робіт. Студенти, які не пройшли інструктаж і не поставили підпис у контрольному листі, до роботи не допускаються.

Додаток Б. Індивідуальні завдання до практичної роботи №1

№ варіанту	Імовірність відмови апаратів 1-го, 2-го та 3-го типів відповідно			Гранично припустима імовірність одночасного відключення 2-х апаратів k
1	0,035	0,03	0,025	0,100%
2	0,023	0,03	0,04	0,100%
3	0,05	0,02	0,01	0,075%
4	0,01	0,005	0,02	0,015%
5	0,01	0,025	0,03	0,075%
6	0,03	0,01	0,02	0,050%
7	0,01	0,009	0,015	0,015%
8	0,02	0,01	0,02	0,030%
9	0,01	0,0245	0,02	0,040%
10	0,0225	0,02	0,03	0,065%
11	0,0155	0,04	0,03	0,100%
12	0,022	0,02	0,03	0,065%
13	0,01	0,015	0,02	0,025%
14	0,025	0,075	0,01	0,100%
15	0,0125	0,04	0,025	0,100%
16	0,035	0,0125	0,02	0,050%
17	0,025	0,012	0,0225	0,050%
18	0,0135	0,0125	0,035	0,045%
19	0,0325	0,01	0,02	0,050%
20	0,025	0,015	0,03	0,050%
21	0,0175	0,0125	0,02	0,030%
22	0,01	0,025	0,02	0,050%
23	0,01	0,009	0,02	0,010%
24	0,01	0,019	0,035	0,050%

Додаток В. Індивідуальні завдання до практичної роботи №5

Варіант 1

Визначити зміну температури теплоносіїв в теплообміннику типу “труба в трубі” при прямоточній і протиточній схемах руху теплоносіїв. Діаметр внутрішньої труби 57×3 мм, довжина апарату $L=24$ м. Витрати бутилового спирту, що рухається по кільцевому просторі, $v_1=0.002$ м³/с, питома масова теплоємність $C_{p1}=3280$ Дж/(кг*К), густина $\rho_1=760$ кг/м³, температура на вході в теплообмінник $T_{1H}=90^\circ\text{C}$. Витрати охолоджуючої води $v_2=0,0005$ м³/с, теплоємність $C_{p2}=4190$ Дж/(кг*К), густина $\rho_2=1000$ кг/м³, початкова температура $T_{2H}=18^\circ\text{C}$. Коефіцієнт тепловіддачі від бутилового спирту до стінки $\alpha_1=1422.5$ Вт/(м²*К), від стінки до води $\alpha_2=785.3$ Вт/(м²*К). Коефіцієнт теплопровідності стінки $\lambda_{CT}=46.5$ Вт/(м*К). Необхідна розрахункова залежність:

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де δ_{CT} – товщина стінки, м.

Варіант 2

Скипидар, проходячи по внутрішній трубі теплообмінника типу “труба в трубі” охолоджується, його початкова температура $T_1=130^\circ\text{C}$. В кільцевому просторі рухається вода, що охолоджує, з початковою температурою $T_2=15^\circ\text{C}$. Діаметр внутрішньої труби $25 \times 2,5$ мм, довжина апарату $L=24$ м. Витрати скипидару $v_1=4,522 \cdot 10^{-4}$ м³/с, теплоємність $C_{p1}=1870$ Дж/(кг*К), густина $\rho_1=870$ кг/м³. Витрати охолоджуючої води $v_2=1,225 \cdot 10^{-4}$ м³/с, теплоємність $C_{p2}=4190$ Дж/(кг*К), густина $\rho_2=1000$ кг/м³. Коефіцієнт тепловіддачі від скипидару до стінки $\alpha_1=1593$

Вт/(м²*К) від стінки до води $\alpha_2=556,4$ Вт/(м²*К). Коефіцієнт теплопровідності стінки $\lambda_{ст}=46,5$ Вт/(м*К).

Визначити профіль температур теплоносія по довжині теплообмінника для прямоточної і протиточної схем руху потоків.

Необхідна розрахункова залежність:

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}},$$

де $\delta_{ст}$ – товщина стінки, м.

Варіант 3

Визначити зміну температури теплоносіїв в теплообміннику типу “труба в трубі” при прямоточній і протиточній схемах руху теплоносіїв. Діаметр внутрішньої труби 48×4 мм, довжина апарату L=24м. Витрати ксилолу, що рухається по кільцевому просторі, $v_1=0,000883$ м³/с, питома масова теплоємність $C_{p1}=1890$ Дж/(кг*К), густина $\rho_1=860$ кг/м³, температура на вході в теплообмінник $T_{1Н}=110^\circ\text{C}$. Витрати охолоджуючої води $v_2=0,0003345$ м³/с, теплоємність $C_{p2}=4190$ Дж/(кг*К), густина $\rho_2=1000$ кг/м³, початкова температура $T_{2Н}=18^\circ\text{C}$. Коефіцієнт тепловіддачі від ксилолу до стінки $\alpha_1=1422,5$ Вт/(м²*К), від стінки до води $\alpha_2=785,3$ Вт/(м²*К). Коефіцієнт теплопровідності стінки $\lambda_{ст}=46,5$ Вт/(м*К). Необхідна розрахункова залежність:

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де $\delta_{ст}$ – товщина стінки, м.

Варіант 4

Ізопропілацетат, проходячи по міжтрубному простору кожухотрубчатого теплообмінника з витратами $G_1 = 4200$ кг/ч, охолоджується при початковій температурі $T_1 = 115^\circ\text{C}$, його теплоємність $C_{p1} = 1930$ Дж/(кг*К), $\rho_1 = 870$ кг/м³. По внутрішніх трубах тече охолоджуюча вода з початковою температурою $T_2 = 17^\circ\text{C}$, її витрати складають $v_2 = 1,5$ м³/час, теплоємність $C_{p2} = 4190$ Дж/(кг*К), густина $\rho_2 = 1000$ кг/м³. Коефіцієнт теплопередачі $K_T = 230$ Вт/(м²*К). Внутрішній діаметр трубки 0,018 м, довжина апарата $L = 3$ м. Кількість труб в теплообміннику $n = 61$. Визначити профіль температур теплоносіїв по довжині апарату при прямоточній та протиточній схемах руху. Оцінити вплив на теплообмін зменшення коефіцієнта теплопередачі на 3, 6, 9%.

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де $\delta_{ст}$ – товщина стінки, м.

Варіант 5

Визначити зміну температури теплоносіїв в кожухотрубчатому теплообміннику при прямоточній і протиточній схемах руху теплоносіїв. Діаметр внутрішньої труби 0.021 м, довжина апарату $L = 4$ м. Витрати рідини, що рухається в між трубному просторі, $v_1 = 0.00233$ м³/с, питома масова теплоємність $C_{p1} = 3350$ Дж/(кг*К), густина $\rho_1 = 900$ кг/м³, температура на вході в теплообмінник $T_{1Н} = 170^\circ\text{C}$. Витрати охолоджуючої води $v_2 = 0,00125$ м³/с, теплоємність $C_{p2} = 4190$ Дж/(кг*К), густина $\rho_2 = 1000$ кг/м³, початкова температура $T_{2Н} = 15^\circ\text{C}$. Коефіцієнт теплопередачі $K_T = 490$ Вт/(м²*К). Кількість труб у теплообміннику $n = 61$.

Виявити вплив на теплообмін зменшення коефіцієнту теплопередачі 5, 10 і 15%.

Варіант 6

Толуол, проходячи по між трубному просторі кожухотрубчатого теплообмінника з витратами $G_1=1900$ кг/ч, охолоджується при початковій температурі $T_1=90^\circ\text{C}$. Його теплоємність $C_{p1}=1740$ Дж/(кг*К). По внутрішнім трубам протікає охолоджуюча вода з початковою температурою $T_2=14^\circ\text{C}$, її витрати $v_2=0,5$ м³/ч, теплоємність $C_{p2}=4190$ Дж/(кг*К), густина $\rho_2=1000$ кг/м³. Коефіцієнт теплопередачі $K_T=309$ Вт/(м²*К). Діаметр внутрішньої труби 0.018 м, довжина апарату $L=2$ м. Кількість труб у теплообміннику $n=19$. Визначити зміну температури теплоносіїв в кожухотрубчатому теплообміннику при прямоточній і протиточній схемах руху теплоносіїв. Виявити вплив на теплообмін зменшення коефіцієнту теплопередачі 5, 10 і 15%.

Варіант 7

Визначити зміну температури теплоносіїв в теплообміннику типу “ труба в трубі” при прямоточній і протиточній схемах руху теплоносіїв. Початкова температура гарячого теплоносія $T_{1H}=170^\circ\text{C}$, масові витрати $G_1=0,1657$ кг/с, теплоємність $C_{p1}=3350$ Дж/(кг*К). Початкова температура охолоджуючої води $T_{2H}=15^\circ\text{C}$, її витрати $G_2 = 0,3$ кг/с, теплоємність $C_{p2}=4190$ Дж/(кг*К). Коефіцієнт тепловіддачі від гарячого теплоносія до стінки $\alpha_1=1800$ Вт/(м²*К), від стінки до холодного теплоносія $\alpha_2=1200$ Вт/(м²*К). Коефіцієнт теплопровідності стінки $\lambda_{CT}=5.5$ Вт/(м*К). Внутрішній діаметр труби теплообмінника 108×4 мм, довжина апарату $L=6$ м. Необхідна розрахункова залежність:

$$K_T = - \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де δ_{CT} – товщина стінки, м.

Варіант 8

Визначити зміну температури толуолу і охолоджуючої температури по довжині теплообмінника типу “ труба в трубі” при прямоточній і протиточній схемах руху теплоносіїв. Початкова температура толуолу $T_1=70^\circ\text{C}$, його масові витрати $G_1=0,53$ кг/с, теплоємність $C_{p1}=1740$ Дж/(кг*К). Початкова температура охолоджуючої води $T_2=16^\circ\text{C}$, її витрати $G_2 = 0,1$ кг/с, теплоємність $C_{p2}=4190$ Дж/(кг*К). Коефіцієнт тепловіддачі від толуолу до стінки $\alpha_1=114$ Вт/(м²*К), від стінки до води $\alpha_2=287$ Вт/(м²*К). Коефіцієнт теплопровідності стінки $\lambda_{CT}=46,5$ Вт/(м*К). Внутрішній діаметр труби теплообмінника 108×4 мм, довжина апарату $L=12$ м.

Необхідна розрахункова залежність:

$$K_T = - \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де δ_{CT} – товщина стінки, м.

Варіант 9

Визначити зміну температури теплоносіїв в теплообміннику типу “ труба в трубі” при прямоточній і протиточній схемах руху теплоносіїв. Діаметр внутрішньої труби 57×3 мм, зовнішньої - 89×5, довжина апарату $L=2,4$ м. Витрати бутилового спирту, що рухається по кільцевому просторі , $v_1=0.002$ м³/с, питома масова теплоємність

$C_{p1}=3280$ Дж/(кг*К), густина $\rho_1=760$ кг/м³, температура на вході в теплообмінник $T_{1H}=90^\circ\text{C}$. Витрати охолоджуючої води $v_2=0,0005$ м³/с, теплоємність $C_{p2}=4190$ Дж/(кг*К), густина $\rho_2=1000$ кг/м³, початкова температура $T_{2H}=18^\circ\text{C}$. Коефіцієнт теплопровідності стінки $\lambda_{CT}=46.5$ Вт/(м*К).

Необхідні розрахункові залежності:

При $Re > 10^4$

$$Nu=0.021 \cdot Re^{0.8} \cdot Pr^{0.43}$$

$$Re=W \cdot d_{\text{э}} \cdot \rho / \mu, Pr=C_p \cdot \mu / \lambda, \alpha=Nu \cdot \lambda / d_{\text{э}}$$

При $Re < 2300$

$$Nu=0.17 \cdot Re^{0.33} \cdot Pr^{0.43} \cdot Gr^{0.1}$$

$$Gr=g \cdot d \cdot \rho^2 \cdot \beta \cdot \Delta t / \mu$$

При $2300 < Re < 10000$

$$Nu=0.008 \cdot Re^{0.9} \cdot Pr^{0.43}$$

$$K_T = \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{CT}}{\lambda_{CT}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де d – діаметр перетину, по якому рухається вода, $\Delta t=1^\circ$, $d_{\text{э}}$ – еквівалентний діаметр кільцевого простору, м.

Варіант 10

Скипидар, проходячи по внутрішній трубі теплообмінника типу “труба в трубі”, охолоджується. Його початкова температура $T_1=130^\circ\text{C}$. В кільцевому просторі рухається вода з початковою температурою $T_1=15^\circ\text{C}$. Діаметр зовнішньої труби 54×2.5 мм, внутрішньої труби 29×2.5 мм, довжина апарату $L=24$ м. Витрати скипидару складає

$\nu_1=0.0004522 \text{ м}^3/\text{с}$, теплоємність $C_{p1}=1870 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, густина $\rho_1=870 \text{ кг}/\text{м}^3$, коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_1=0,00045 \text{ Па}\cdot\text{с}$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_1=0,128 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, коефіцієнт об'ємного розширення $\beta_1=0.00044 \text{ К}^{-1}$.

Витрати охолоджуючої води $\nu_2=0.0001225 \text{ м}^3/\text{с}$, теплоємність $C_{p2}=4190 \text{ Дж}/(\text{кг}\cdot\text{К})$, густина $\rho_2=1000 \text{ кг}/\text{м}^3$, коефіцієнт динамічної в'язкості $\mu_2=0,0001 \text{ Па}\cdot\text{с}$, коефіцієнт теплопровідності $\lambda_2=0.605 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$, коефіцієнт об'ємного розширення $\beta_2=0.00021 \text{ К}^{-1}$. Коефіцієнт теплопровідності стінки $\lambda_{ст}=46,5 \text{ Вт}/(\text{м}\cdot\text{К})$

Визначити профіль температури теплоносіїв по довжині теплообмінника для прямої та протиточної схем руху теплоносіїв. Необхідна розрахункова залежність:

$$K_T = - \frac{1}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{\delta_{ст}}{\lambda_{ст}} + \frac{1}{\alpha_2}}$$

де $\delta_{ст}$ – товщина стінки, м.