

Вінницький національний технічний університет

(повне найменування вищого навчального закладу)

Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації

(повне найменування інституту, факультету)

Кафедра комп'ютерних систем управління

(повна назва кафедри)

## МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Дослідження надійності та стабільності системи автоматизованого керування опаленням у "розумному" будинку.»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ІАКІТР-24м спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка



Віталій КОВАЛЕНКО

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

Керівник: д.т.н., професор кафедри КСУ



Марія ЮХИМЧУК

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

« 12 » грудня 2025 р.

Опонент: к.т.н., доцент кафедри АІТ



Володимир ГАРМАШ

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

« 12 » грудня 2025 р.

Допущено до захисту  
Завідувач кафедри КСУ  
д.т.н., професор



В'ячеслав КОВТУН

(ім'я та ПРІЗВИЩЕ)

« 12 » грудня 2025 р.

Вінницький національний технічний університет  
Факультет інтелектуальних інформаційних технологій та автоматизації  
Кафедра комп'ютерних систем управління  
Рівень вищої освіти другий (магістерський)  
Галузь знань – 17 Електроніка, автоматизація та електронні комунікації  
Спеціальність – 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології  
таробототехніка  
Освітньо-професійна програма – Інтелектуальні комп'ютерні системи

### ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри КСУ  
д.т.н., проф.

В'ячеслав КОВТУН  
« 26 » вересня 2025 року

### ЗАВДАННЯ НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

студенту Коваленко Віталій Вікторович

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: «Дослідження надійності та стабільності системи автоматизованого керування опаленням у "розумному" будинку»  
керівник роботи: д.т.н., проф. КСУ Юхимчук Марія Сергіївна  
затверджені наказом ВНТУ від « 24 » вересня 2025 року № 313
2. Термін подання студентом роботи: до « 10 » грудня 2025 року
3. Вихідні дані до роботи:
  - 1 Maria S. Yukhymchuk Evaluation of uncertainty of control by measurement with logical conditions /Vladimir M. Dubovoi, Maria S. Yukhymchuk // SPIE Digital Library as part of the proceedings of the Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016 conference. DOI <http://dx.doi.org/10.1117/12.2248871>.
  - 2 Юхимчук М. С. Метод аналізу стійкості автоматичних систем з логічними управляючими пристроями при впливі параметричних збурень / М. С. Юхимчук, С. М. Москвіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 4. – С. 155-162. – ISSN 1997-9266.
  - 3 Юхимчук М. С. Аналіз процесів в релейних системах управління з елементами штучного інтелекту / М. С. Юхимчук, В. М. Дубовой // Контроль і управління в складних системах XIII Міжнародна конференція. м. Вінниця. – 2014.
4. Зміст текстової частини: вступ, дослідження об'єкта автоматизації, аналіз існуючих автоматизованих систем, проектування структури та логіки автоматизованої системи, реалізація та тестування автоматизованої системи обліку, інвентаризації та реалізації саджанців декоративних порід дерев, економічна частина, висновки.

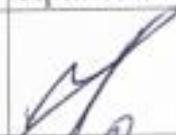
5. Перелік ілюстративного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень): блок-схеми структури автоматизованої системи – 3 шт., ER-схемабази даних – 1 шт., графічні матеріали (вікна інтерфейсу) автоматизованої системи – 8 шт.

1. Консультанти розділів роботи

| Розділ               | Прізвище, ініціали та посада консультанта      | Підпис, дата   |   |
|----------------------|--|--|---|
|                      |  | завдання видав   | завдання прийняв  |
| 4 Економічна частина | Ольга РАТУШНЯК,<br>к.т.н., доцент кафедри ЕПВМ |  |  |
|                      |  |  |   |

2. Дата видачі завдання 25.09.2025 р.

### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| № з/п | Назва та зміст етапу   | Терміни виконання | Примітка  |
|-------|--|-------------------|---|
| 1     | Дослідження актуальності поставленої задачі  | 25.09.25 р.       |   |
| 2     | Аналіз процесів обліку, інвентаризації та реалізації саджанців                                       | 10.10.25 р.       |  |
| 3     | Дослідження функціональних можливостей сучасних систем обліку у розсадниках та лісових господарствах | 17.10.25 р.       |  |
| 4     | Проектування структури та логіки автоматизованої системи   | 23.10.25 р.       |  |
| 5     | Розробка архітектури системи та структури бази даних   | 10.11.25 р.       |  |
| 6     | Розробка програмного забезпечення автоматизованої системи  | 20.11.25 р.       |  |

Студент  Віталій КОВАЛЕНКО  
(підпис) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи  Марія Юхимчук  
(підпис) (прізвище та ініціали)

## АНОТАЦІЯ

УДК 004.9:681.5

Коваленко В. В. Дослідження надійності та стабільності системи автоматизованого керування опаленням у «розумному» будинку. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 174 – Автоматизація, комп'ютерно-інтегровані технології та робототехніка, освітньо-професійна програма – Інтелектуальні комп'ютерні системи. Вінниця: ВНТУ, 2025. 102 с.

Бібліогр.: 62 назв; рис.: 44; табл.: 6.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є дослідження надійності та стабільності функціонування автоматизованої системи керування опаленням у «розумному» будинку з використанням нечіткого контролера з метою підвищення енергоефективності та забезпечення комфортних умов експлуатації.

В оглядово-аналітичній частині роботи виконано аналіз сучасних автоматизованих систем керування опаленням у «розумних» будинках, розглянуто основні підходи до використання елементів штучного інтелекту в системах керування, а також проаналізовано особливості релейних систем та методи оцінювання їх стійкості.

У теоретично-методичній частині розроблено математичну та імітаційну модель автоматизованої системи керування опаленням із нечітким контролером, сформовано алгоритми керування температурним режимом приміщень та обґрунтовано вибір критеріїв оцінки стабільності системи.

У практичній частині реалізовано імітаційну модель системи керування в середовищі Scilab/Xcos/Flt, проведено серію експериментів для дослідження стійкості системи при різних вхідних впливах та режимах роботи, а також виконано оцінку ефективності застосування нечіткого керування.

В економічній частині проаналізовано техніко-економічні показники розробки, розраховано витрати на реалізацію проєкту та оцінено економічну доцільність впровадження автоматизованої системи керування опаленням у житлових будинках. Ілюстративна частина містить графічні матеріали з результатами моделювання та дослідження.

Ключові слова: автоматизована система керування, «розумний» будинок, опалення, нечіткий контролер, стабільність, надійність, імітаційне моделювання.

## ABSTRACT

UDC 004.9:681.5

Kovalenko V. V. Research of reliability and stability of an automated heating control system in a smart home. Master's qualification thesis in the specialty 174 – Automation, computer-integrated technologies and robotics, educational program – Intelligent computer systems. Vinnytsia: VNTU, 2025. 102 p.

Bibliogr.: 62 sources; fig.: 44; table: 6.

The purpose of this master's qualification work is to study the reliability and stability of an automated heating control system in a smart home using a fuzzy controller in order to improve energy efficiency and ensure comfortable operating conditions.

The review and analytical part presents an analysis of modern automated heating control systems in smart homes, considers the application of artificial intelligence elements in control systems, and analyzes the features of relay control systems and methods for evaluating their stability.

In the theoretical and methodological part, a mathematical and simulation model of an automated heating control system with a fuzzy controller was developed, control algorithms for indoor temperature regulation were formed, and criteria for assessing system stability were substantiated.

The practical part includes the implementation of a simulation model in the Scilab/Xcos/Flt environment, experimental studies of system stability under various input disturbances and operating modes, and an evaluation of the effectiveness of fuzzy control.

The economic part analyzes the technical and economic indicators of the development, calculates implementation costs, and assesses the economic feasibility of introducing the automated heating control system in residential buildings.

Keywords: automated control system, smart home, heating, fuzzy controller, stability, reliability, simulation modeling.

## ЗМІСТ

|   |    |
|---|----|
| ВСТУП.....  | 4  |
| 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ .....                                 | 7  |
| 1.1 Застосування систем управління з елементами штучного інтелекту .....  | 7  |
| 1.2 Системи управління опаленням в «розумних» будинках.....   | 18 |
| 1.3 Особливості релейних систем управління .....  | 23 |
| 1.4 Висновки. Постановка задачі дослідження.....  | 32 |
| 2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ З НЕЧІТКИМИ КОНТРОЛЕРАМИ В СЕРЕДОВИЩІ SCILAB/XCOS/FLT.....                                       | 34 |
| 2.1 Інструментальні засоби імітаційного моделювання систем з нечіткими контролерами в середовищі Scilab/Xcos/Flt..... | 34 |
| 2.2 Методика імітаційного моделювання систем з нечіткими контролерами в середовищі Scilab/Xcos/Flt.....               | 42 |
| 2.3 План експерименту моделювання систем з нечіткими контролерами в середовищі Scilab/Xcos/Flt.....                   | 55 |
| 2.4 Висновки .....  | 55 |
| 3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ АВТОКОЛИВАНЬ В РЕЛЕЙНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ОПАЛЕННЯМ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ .....       | 58 |
| 3.1 Розробка моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку .....                          | 58 |
| 3.1.1 Загальна структура моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку.....               | 61 |
| 3.1.2 Модель зміни стану автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку .....                     | 66 |
| 3.1.3 Модель нагрівання та охолодження приміщень.....   | 68 |
| 3.1.4 Імітаційна модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку .....                      | 70 |

|   |     |
|---|-----|
| 3.2 Дослідження стійкості релейної системи управління опаленням у «розумному» будинку .....                                   | 82  |
| 3.3 Оцінка ефективності імітаційного моделювання .....  | 85  |
| 3.4 Висновки.....   | 86  |
| 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....   | 87  |
| 4.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки .....   | 91  |
| 4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) .....                                     | 95  |
| 4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором..... | 98  |
| <br>  |     |
| ВИСНОВКИ .....  | 104 |
| ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ .....  | 105 |
| ДОДАТКИ .....   | 112 |
| Додаток А (обов'язковий) Протокол перевірки роботи на плагіат .....   | 113 |
| Додаток Б (обов'язковий) Технічне завдання.....   | 114 |
| Додаток В (обов'язковий) Ілюстративна частина .....   | 117 |

## ВСТУП

**Актуальність теми.** На сьогоднішній день дуже актуальні різні методи та моделі автоматизованого управління «розумним» будинком та деякі процеси в ньому. В роботі розглянуто автоматизовану систему управління опаленням у «розумному» будинку, яка використовує нечіткий контролер для управління.

Аналіз стійкості моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером цікавить багатьох фахівців, які працюють у різних галузях науки та техніки. Автоматизовані системи управління «розумним» будинком із збільшенням цін на енергоресурси сприяють зниженню використання енергії. Для цього потрібно провести аналіз стійкості систем управління та знизити при цьому витрати енергії.

Під час знижені витрат енергії дуже важливим аспектом є забезпечення стійкості систем управління, але при цьому важливо не погіршити роботоздатність та надійність [1].

Задачі про аналіз автоматизованих систем управління представлені набули широкої популярності у 80-90-х рр. за участі А. І. Лур'є та В. Н. Постніковим. Це була спроба визначення стійкості автоматизованої системи управління зі змінними параметрами. В розв'язок задачі вклад внесли також сучасні українські та зарубіжні дослідники: Н. Н. Красовський, В. Я. Якубович, А. М. Летов, А. Акер, Г. Зеймс, Дж. Віллемс, М. С. Юхимчук, В. М. Дубовой, Б. І. Мокін.

Існує дуже багато аналітичних методів моделювання та аналізу стійкості автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку, але вони не дають достатньо енергетичної ефективності.

Тому потребує розв'язання задача дослідження та аналізу стійкості моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку, що керується нечітким контролером, при різних вхідних сигналах [2].

**Мета і задачі дослідження.** Метою роботи є розробка бібліотек блоків для моделювання автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку та дослідження стійкості.

Задачами дослідження є:

- розробка моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером;
- аналіз стійкості моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером;
- перевірка ефективності та правильності роботи імітаційної моделі.

**Об'єкт дослідження** є процеси в автоматизованій системі управління опаленням в «розумному» будинку з нечітким контролером.

**Предмет дослідження** імітаційна модель та методи моделювання автоматизованої системи управління опаленням в «розумному» будинку з нечітким контролером.

**Методи дослідження.** У процесі дослідження застосовувалися: положення та методи теорії автоматизованого керування для розробки методу моделювання автоматизованої системи з нечітким контролером, методи аналізу стійкості релейних автоматизованих систем для аналізу методів оцінки стійкості автоматизованої системи управління з нечітким контролером, положення та методи теорії коливань для визначення параметрів автоколивань автоматизованої системи з нечітким контролером.

**Наукова новизна роботи:**

- удосконалена імітаційна модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку, яка відрізняється врахуванням та викристанням марковського процесу змін станів приміщенням нечіткого контролера, що дозволяє здійснювати аналіз стійкості автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку.

**Практичне значення одержаних результатів:**

– розроблена методика моделювання та дослідження автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером;

– розроблено імітаційну модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером;

**Особистий внесок здобувача.** Усі результати отримано автором самостійно. У працях, опублікованих у співавторстві, магістранту належать: [1; 38] – аналіз автоматизованої системи управління опаленням в розумному будинку, розробка автоматизованої системи управління опаленням, [77] – узагальнений підхід до математичного моделювання автоматичної системи з логічними управляючими пристроями.

**Апробація результатів роботи.** Основні положення й результати досліджень доповідалися й обговорювалися на Міжнародній науково-технічній конференції за участю працівників науково-дослідних організацій та інженерно-технічних працівників підприємств м. Вінниці та області «XLVI Науково-технічна конференція факультету комп'ютерних систем і автоматики (2017)».

**Публікації.** Дослідження опубліковано в 3 працях, з них 2 тези за матеріалами конференції, 1 стаття, що входять до переліку фахових видань, затверджених ВАК України, крім того опубліковано за іншою тематикою 3 тези за матеріалами конференції та 2 свідоцтво на реєстрацію авторського права в Державному департаменті інтелектуальної власності України.

**Обсяг і структура роботи.** Робота складається із вступу і чотирьох розділів, висновків, переліку посилань і додатків. Основний зміст викладено на 90 сторінках друкованого тексту, містить 74 рисунки, 14 таблиць. Список використаних джерел включає 92 найменування. Загальний обсяг 127 сторінок.

# 1 АНАЛІЗ ПРОБЛЕМИ ДОСЛІДЖЕННЯ СИСТЕМ УПРАВЛІННЯ З ЕЛЕМЕНТАМИ ШТУЧНОГО ІНТЕЛЕКТУ

## 1.1 Застосування систем управління з елементами штучного інтелекту

Штучний інтелект – це сукупність методів та засобів аналізу людської діяльності та створення проектів технічних систем [3]. Штучний інтелект вирішує задачі, які раніше вважали тільки задачами людського мозку.

Системи управління з елементами штучного інтелекту – це системи управління, що надають здатність машинам навчатися, підлаштовуватися до нових умов, приймати рішення та змінювати поведінку [4].

В наш час питання про системи управління з елементами штучного інтелекту піднімається все частіше та їх використання стає все більш популярним. Створення системи управління з елементами штучного інтелекту та удосконалення їх є відкритим та залишає інтерес для багатьох сфер діяльності людських робіт.

Інтерес дослідників на сьогодні не зменшився і полягає у створенні штучних систем та інтелектуальної діяльності людини, за допомогою яких зможуть перевірити та реалізувати теоретичні моделі різних систем управління. Розвиток штучного інтелекту поділяється на періоди та перспективи у використанні.

Розглянемо розвиток штучного інтелекту за останні п'ятдесят років та його цілі [5]:

- перший період, до 1970 року штучний інтелект виявляє інтелектуальну поведінку обчислювальних машин;
- до 1970 років, до засобів штучного інтелекту увійшли комп'ютери, що допомагають імітувати поведінку людини;
- до 2010 року, пристосування штучного інтелекту до змін навколишнього середовища.

До сьогодні всі підходи роботи систем управління з елементами штучного інтелекту були випробувані, але так і ніхто не зміг запровадити штучний розум, тому він влився в загальний потік технологій.

Існують два напрямки розвитку систем управління з елементами штучного інтелекту [6]:

- вирішує проблеми, які створені людиною з наближенням систем управління з елементами штучного інтелекту до можливостей людей;

- поєднання вже існуючих систем управління з елементами штучного інтелекту для створення штучного розуму, які розв'язують проблеми людей.

Класифікація підходів розробки штучного інтелекту [7]:

- низхідний, семіотичний підхід, має на меті моделювати психологічні процеси людини;

- висхідний, біологічний – вивчення нейронних мереж штучних та обчислень математичних, що демонструють інтелектуальну поведінку.

Штучний інтелект тісно пов'язаний з багатьма науками, а також з тими які використовують математичні знання. Системи управління з елементами штучного інтелекту застосовується в багатьох напрямках та методах вивчення, а саме [8]:

- в задачах, які використовують людський розум;

- в задачах, які не мають точного розв'язку;

- в моделюванні нервової діяльності людини;

- експертних системах, які можна навчати;

- в задачах прийняття рішень та пошуку.

На даний час існують методи створення систем управління з елементами штучного інтелекту, а саме [9]:

- логічний підхід, який використовує нечітку логіку;

- структурний підхід, використовує моделі нейронних мереж;

- еволюційний підхід, використовує генетичні алгоритми для роботи;

– імітаційний підхід, класичний підхід, який передає роботу інших систем без змін.

Проблема систем управління з елементами штучного інтелекту, полягає у тому, що немає одної загальної практичної задачі, яка змогла б визначити розвиток теорії або об'єднати та проаналізувати результати готових задач в даному напрямку. На даний момент продовжують дуже швидко досліджувати та узагальнювати систем управління з елементами штучного інтелекту.

Не дивлячись на проблему систем управління з елементами штучного інтелекту їх застосовують люди різного віку в повсякденному житті не помічаючи цього, а саме починаючи від смартфонів та закінчуючи складними розумними системами управління, як дома так і на роботі [10].

Модель автоматизованої системи управління опалення в «розумному» будинку з використанням елементів штучного інтелекту дозволяє керувати температурним режимом декількох кімнат в одному приміщенні. У кожному з яких може бути задана власна температура з часовими установами враховуючи рух у конкретному приміщенні. Управління даною моделю автоматизованої системи опалення може здійснюватися дистанційно за допомогою комп'ютера, планшета, телефона або спеціального пульта управління. Дана автоматизована модель системи управління опалення в «розумному» будинку може контролювати температуру всіх кімнат разом або окремо, а також є функціонал, який надає можливість задати власну температуру для певної кімнати чи загальному приміщенню. Автоматизована модель системи обробляє сигнали від всіх підключених датчиків і збільшує чи зменшує температуру повітря до встановленої попередньо. Дана модель автоматизована системи управління опалення в «розумному» будинку з елементами штучного інтелекту мінімізує витрати енергії, нагріваючи повітря тільки там де потрібно та коли потрібно, враховуючи зовнішні впливи.

Системи управління з елементами штучного інтелекту є на цей час дуже актуальними та перспективними для дослідження та використання в різних складних технологічних процесах.

До систем управління з елементами штучного інтелекту відносять:

- нечітку логіку;
- нейронні мережі;
- нейронні мережі у deep learning.

Нечітка логіка – це галузь математики, що узагальнює положення класичної логіки та теорії множин [11].

Особливість роботи нечітких контролерів в автоматизованих системах керування полягає в тому, що замість традиційного опису через диференціальні рівняння використовується досвід і знання експертів. Ці знання подаються у формі лінгвістичних змінних, які задаються через нечіткі множини.

Нечітка логіка є узагальнюючою класичною логікою, яка розглядає нечітку інформацію як лінгвістичні змінні, що можуть приймати значення типу:

- «істинно»;
- «більш-менш істинно»;
- «хибно» та інші.

Значення лінгвістичної змінної представляється за допомогою множин нечітких, приклад описання (1.1):

$$\langle x, T, U, G, M \rangle, \quad (1.1)$$

де  $x$  – ім'я змінної;

$T$  – терм-множина, кожен елемент якої задається нечіткою множиною на універсальній множині  $U$ ;

$G$  – синтаксичні правила (часто у вигляді граматики), що породжують назву термів;

$M$  – семантичні правила, що задають функції приналежності нечітких термів, породжених синтаксичними правилами з  $G$  [12].

Нечітка логіка є дуже популярна серед розробників автоматизованих систем управління. В наш час нечітке управління автоматизованими системами є дуже важливе, а саме в момент коли процеси дуже складні для аналізування

або інформація подана на якісному рівні неточно чи невизначено. Тому експериментальні дослідження показали, що нечітка логіка дає кращі результати порівняно з отриманими результатами за допомогою загально прийнятих алгоритмів управління [13].

Принципи дії нечіткої логіки можна розглянути за допомогою функцій приналежності, які використовуються в алгоритмах: Сугено, Мамдані.

Алгоритм Мамдані та Сугено – це алгоритми логічного нечіткого виведення а базі правил, які попередньо формуються [14].

Система нечіткого виведення складається з п'яти функціональних блоків, представлено на рисунку 1.1.

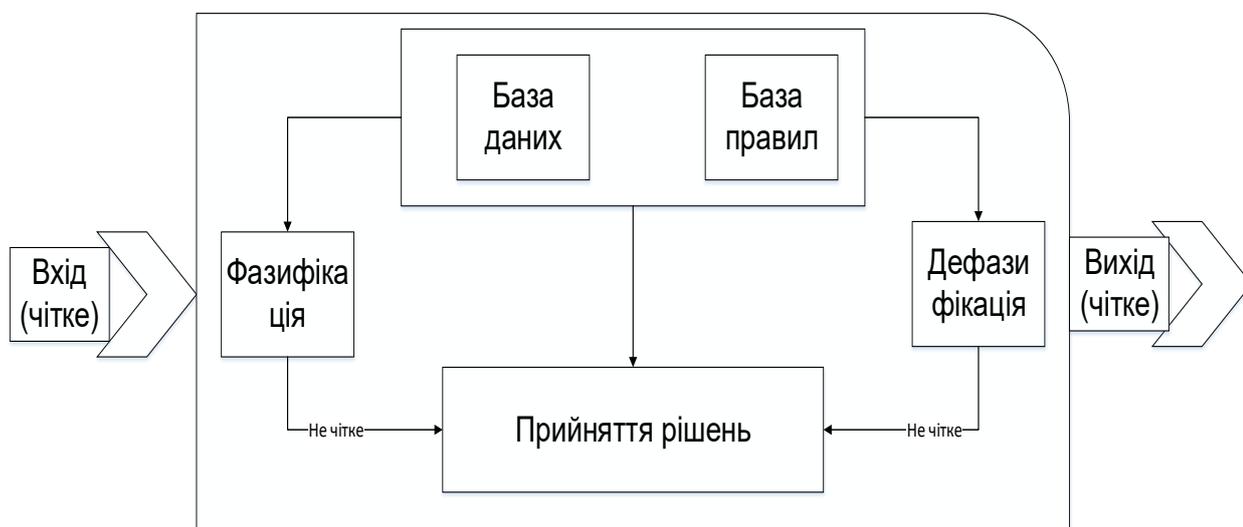


Рисунок 1.1 – Система нечіткого виведення

Фазифікація перетворює числові входні дані у лінгвістичні змінні.

База правил містить набір умов у форматі «якщо – то».

У базі даних визначаються нечіткі множини та функції належності.

Блок ухвалення рішень здійснює логічний висновок, спираючись на задані правила.

Дефазифікація переводить отримані результати висновку назад у числову форму.

Системи, що працюють на основі нечіткої логіки, дозволяють розв'язувати широкий спектр завдань: класифікацію даних, розпізнавання образів, машинне навчання, прийняття рішень, автоматизоване керування та інші [15].

Автоматизовані системи з нечіткою логікою в багатьох сферах використовують, а саме: медицині, техніці, різних системах управління, системах архівації, робото-техніці.

Отже, завдяки швидкому розвитку обчислювальної техніки, нечітких регуляторів розроблених на основі нечітких множин дали поштовх для подальших теоретичних досліджень в області розробки нечітких систем управління. Використання нечіткої логіки в автоматизованих системах управління має низку переваг, а саме: можливість керувати нечіткими вхідними даними, можливість їх оцінювати та порівнювати та проведення їх моделювання.

Теорія нейронних мереж включає різні сфери наук: схемотехніки, технології, біофізики, математики та інформатики. Нейронні мережі в наш час зустрічаються всюди, що пов'язано з прогнозуванням, класифікацією або управлінням різних систем. Таке часте використання мереж нейронних призвело до успіху, є декілька причин цього:

- нейронні мережі можуть реалізувати дуже складні залежності, це показує, що вони мають багато можливостей;
- легко використовуються.

Нейронна мережа – це математична модель, яка є побудована за принципом зв'язаних біологічних між собою нейронів [16].

Нейрон – це клітина збудлива, яка може передавати інформацію за допомогою сигналів та є складовою частиною нейронної мережі [17].

Нейрон складається з тіла клітини, яке називається сомою, два вхідні відростки:

- дендрит – відростки по яких інформація надходить;
- аксон – відростки по яких інформація передається.

Математична модель нейрона (1.2):

$$\begin{cases} \sum_{i=1}^n S = \sum_{i=1}^n w_i x_i + b \\ y = f(S) \end{cases}, \quad (1.2)$$

де  $w_i$  – вага синапсу, ( $i=1,2,\dots,n$ );

$b$  – значення зсуву;

$S$  – результат підсумовування;

$x_i$  – компонента вхідного вектора (вхідний сигнал), ( $i = 1,2,\dots,n$ );

$y$  – вихідний сигнал нейрона;

$n$  – число входів нейрона;

$f$  – нелінійне перетворення [18].

Оригінальність нейронних мереж, як аналог людського мозку, є те що вона здатна до навчання. Навчати нейронну мережу можна з вчителем, тобто контролювати весь процес, та без вчителя – не контролювати процес.

Метою навчання є зменшення функції похибки, тобто пошук таких параметрів мережі, за яких фактичні вихідні сигнали максимально наближені до очікуваних результатів, визначених навчальною вибіркою. Таким чином, процес навчання зводиться до задачі оптимізації [19].

Нейронні мережі в наш час є дуже актуальні та використовуються всюди, але не можна вважати правильним рішенням для всіх обчислювальних задач. Тому для багатьох випадків найкраще використовувати комп'ютери та обчислювальні методи.

За допомогою нейронних мереж можна вирішити ряд задач [20]:

– класифікація образів, визначає належність вхідного образу, до попередніх. Використовують переважно, для розпізнавання букв, мови;

– кластеризація, полягає у розміщенні подібних образів у один клас. Використовують для стиснення даних і дослідженні властивостей даних;

– апроксимація, полягає у знаходженні функції невідомої. Використовують при рішенні інженерних і наукових задач моделювання;

- передбачення, полягає у передбаченні значення, що мають значний вплив на прийняття рішення;

- оптимізація, полягає у знаходженні рішення, яке задовольнить системні обмеження та при цьому максимізує чи мінімізує цільову функцію;

- пам'ять, що адресується за змістом – це пам'ять яка доступна за вказаним адресом, використовують при створенні інформаційних баз даних;

- керування, має на меті розрахувати вхідний вплив, при якому система буде працювати за потрібною траєкторією, еталонної моделі. Використовують в двигунах.

Deep learning – це «глибоке навчання», яке взаємодіє з машинним навчанням, нейронними мережами та штучним інтелектом [21].

«Глибоке навчання», стало відомим у 2012 році, а на даний час є дуже популярним. Глибокі нейронні мережі, це новий тип програм, який є універсальним та може дуже точно апроксимувати будь-якої складності функцію багатьох змінних [22].

Методи «глибокого навчання» у нейронних мережах [23]:

- навчання з вчителем, вхідні дані – відібрані дані, які вручну відбираються, вихідні – це результат, який очікується від мережі. Використовують даний метод для класифікації та регресії;

- навчання без вчителя, вхідні дані – алгоритм роботи та попередньо заготовлені дані, вихідні – виявлення даних не явних шаблонів. Використовують для кластеризації та у задачах асоціацій.

Проаналізувавши методи навчання, можна сказати, що для «глибокого навчання» нейронних мереж не потрібна допомога людини, тому що дана мережа повинна самостійно виконувати свої функції.

Мета нейронних мереж з «глибоким навчанням», полягає у тому, що навчання повинно проходити дуже швидко та займати мало пам'яті та часу, використовуючи сучасні технології для цього, а саме суперкомп'ютери.

Отже, принципи стандартних нейронних мереж використовуються повсюди, але вже на новому рівні та змінами, які покращують роботу та аналіз даних.

В наш час за допомогою комп'ютера можна робити не тільки математичні обчислення, а й керувати різними системами за допомогою спеціальних елементів, одні з них є елементи штучного інтелекту. За допомогою цих елементів є можливість управляти різними системами управління враховуючи людську логіку та її роботу в даному процесі управління технологічного процесу. Управління автоматизованими системами з елементами штучного інтелекту відбувається за допомогою правил, які людина задає попередньо для системи та вони обробляються за певним алгоритмом.

Автоматизовані системи управління з елементами штучного інтелекту використовуються у багатьох сферах, наприклад в технологічних процесах, системах управління температурою, напругою, медицині та інших.

В даній роботі будемо досліджувати модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з елементами штучного інтелекту та проводити аналіз стійкості. Проблема даного дослідження полягає у тому, що створити модель системи з високою точністю та надійністю з елементами штучного інтелекту, яка реалізує оптимальну функцію управління є актуальною та пов'язаною з задачею автоматизації технологічних процесів на виробництві. Дану проблему розглядали та досліджували в багатьох роботах та існують аналоги роботи мого дослідження.

Наприклад:

– проводилися дослідження системи автоматизованого управління вихідного значення температури води з системи, використовуючи нечіткий регулятор, що описано в роботі В. Г. Шухова. В даному дослідженні автоматизована система з нечітким управлінням розглядала правила відповідно алгоритму Мамдані. Нечіткий контролер проводив управління системи за відхиленням реального та очікуваного стану об'єкта. Ціль управління в системі управління відбудеться за допомогою заданого пристрою [24];

– проводили дослідження стійкості релейної системи управління температурою в будинку з чітким контролером в роботі В. М. Дубового, М. С. Юхимчук. Ціль даного дослідження забезпечити максимальні витрати енергії, що показало не дуже хороші результати [25].

Тому не можна сказати що дану задачу дослідження температури з нечітким контролером ніхто не досліджував, але саме аналіз стійкості та зниження витрат на сьогодні в релейних системах управління опаленням у «розумному» домі без зменшення якості ніхто не досліджував. В даній магістерській кваліфікаційній роботі створення автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» домі з елементами штучного інтелекту при цьому зробити аналіз стійкості даної релейної системи є дуже важливим.

Мета роботи полягає у дослідженні аналізу стійкості автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку.

Ціль роботи – розробка моделі системи та методики її оптимізації для забезпечення максимальної енергетичної ефективності.

Аналіз стійкості автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку буде проводитися за такими критеріями: якість, надійність, адекватність моделі, ефективність моделювання, результативність моделі [26].

Для того, щоб оцінити варіанти проектних рішень для значень критеріїв (таблиця 1.1) буде використано шкалу оцінювання:

- висока = 1;
- середня = 0.5;
- низька = 0.

Основним показником оцінювання системи управління є її стійкість роботи при різних впливах.

Таблиця 1.1 – Оцінювання варіантів проектних рішень

| Критерії проектних рішень | Варіанти проектних рішень                 |   |   |
|---------------------------|---|---|---|
|                           | Система управління з нечітким контролером | Система управління з чітким контролером | Власна автоматизована система управління з нечітким контролером |
| Надійність                | 0,5                                       | 0,5                                     | 1   |
| Адекватність              | 0,5                                       | 0,5                                     | 1   |
| Якість                    | 1   | 1                                       | 0,5   |
| Ефективність              | 0,5                                       | 0,5                                     | 1   |
| Результативність          | 1   | 0,5                                     | 1   |

Стійкість систем управління можна обчислити за формулою (1.3):

$$I = \sum_{i=1}^n k_i * \alpha_i, \quad (1.3)$$

де  $I$  – показник стійкості;

$n$  – кількість критеріїв;

$k_i$  - показник стійкості  $i$ -того критерія;

$\alpha_i$  – показник стійкості інформації  $i$ -того критерія ( $\alpha_i=1$ ).

Визначення стійкості для варіантів проектних рішень за формулою 1.4, представлено у таблиці 1.2.

Таблиця 1.2 – Якість варіантів проектних рішень

| Варіанти проектних рішень                                       | Стійкість ( $I$ ) |
|---|-------------------|
| Система управління з нечітким контролером                       | $I=3,5$           |
| Система управління з чітким контролером                         | $I=3$             |
| Власна автоматизована система управління з нечітким контролером | $I=4,5$           |

Значення стійкості варіантів проектних рішень є найкращий той варіант, який має найбільше значення, в нашому випадку найкращим є власна автоматизована система управління опаленням у «розумному» будинку з елементами штучного інтелекту ( $I = 4,5$ ).

Отже, в даній магістерській кваліфікаційній роботі буде розроблено модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з елементами штучного інтелекту, яку потрібно проаналізувати та дослідити її стійкість роботи враховуючі всі впливи на неї. Дана модель буде розраховувати оптимальну температуру в будинку та порівнювати її з реальною. Результати будуть поступати з нечіткого регулятора на реле включення / виключення нагрівача.

Також проаналізувавши критерії та оцінки варіантів проектних рішень для кращого аналізу системи, було визначено, що власний варіант моделювання задовольняє всі потреби та буде реалізовуватися.

## 1.2 Системи управління опаленням в «розумних» будинках

Розумний будинок – це будинок сучасного типу, організований для життя людей за допомогою автоматизованих систем управління [27]. «Розумний» будинок є системою, яка забезпечує безпеку, комфорт та ресурсозбереження для всіх присутніх в ньому людей. Системи управління «розумними» будинками повинні розпізнавати та контролювати конкретні ситуації в будинку та реагувати на них відповідно за заданими параметрами.

Сучасний світ став швидко розвиватися у сфері обчислювальної техніки, тому система управління «розумним» будинком логічне є продовженням системи «Інтернет речей». Згідно даної системи визначено основні правила до побудови готової продукції загалом, так і окремих компонентів. На даний момент вже існують рішення щодо відносної новизни [28].

Перші зразки «розумних будинків» з'явилися в США ще у 1950-х роках. У таких системах електронні пристрої були об'єднані в єдиний комплекс і забезпечували можливість централізованого керування вмиканням та вимиканням обладнання за допомогою одного пульта. Крім того, вже тоді існувала функція дистанційного управління побутовою технікою [29].

Активний розвиток концепції «розумного дому» розпочався у 1990-х роках із появою сенсорів, без яких сьогодні неможливо уявити процес автоматизації систем управління. Сучасний «розумний будинок» інтегрує численні інноваційні рішення, що значно підвищують рівень безпеки та комфорту мешканців.

Завдяки такому обладнанню власник може бути впевненим у безперебійному функціонуванні систем навіть за його відсутності. Нині на ринку працює чимало компаній, які пропонують послуги з проектування «розумних» будинків. При виборі підрядника особливу увагу слід приділяти професіоналізму фахівців, аби уникнути технічних проблем у майбутньому [30].

Моделі автоматизованих систем управління «розумним» будинком поєднують в собі багато об'єктів автоматизації, яким може контролювати людина [31]:

- управління освітленням;
- управління електроприводами;
- клімат контроль;
- управління системою вентиляції;
- домашнього кінотеатру;
- мультірум;
- системи відеоспостереження;
- охоронно-пожежною сигналізація;
- системою контролю доступу;
- контроль навантажень і аварійних станів;
- управління інженерним обладнанням з сенсорних панелей;
- сервер управління.

В даній роботі ми не будемо розглядати всі, а тільки модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку. Дану автоматизовану модель системи ще називають системою клімат-контроль.

Система опалення (рисунок 1.2) – це пов'язані між собою елементи, які отримують, передають необхідну кількість тепла в кімнати будинку. Кожна

система опалення складається з генератора теплоти, теплопроводу та опалювального приладу [32].

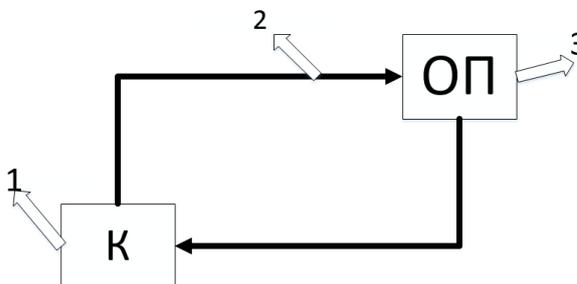


Рисунок 1.2 – Система опалення,

де 1 – генератор тепла (котел);

1 – теплопровід;

2 – опалювальний прилад.

Принцип роботи системи опалення в будинку полягає у тому, що джерело енергії нагріває теплоносій, який через систему опалення передає тепло повітрю, приміщенню чи предметам та людям безпосередньо у приміщенні.

Джерело енергії є енергією, яка виділяється під час переходу газів з одного агрегатного стану в інший, це може бути газ спалюваний, паливо, електроенергія, тепла енергія сонця.

Системи управління можуть мати декілька теплоносіїв, один з яких буде основний, а інші проміжні. В залежності, який теплоносій обрано основним за цим і класифікують системи опалення [33].

Класифікація систем опалення від теплоносія [34]:

– повітряні системи опалення, поділяються на: каналні, повітря роздається за допомогою повітропроводу; безканалні повітряні системи опалення через повітряно-опалювальні агрегати;

– водяні системи опалення у будинках, повинні мати генератор тепла (котел) і прилади через які тепло передається у повітря та предметам приміщення. Дані прилади водяної системи опалення у будинку зв'язані між собою трубопроводами, по яких циркулюється тепло від теплоносія.

Енергія від теплоносія до повітря чи предметів в приміщенні для нагрівання передається конвекційно або радіаційно.

Конвекція надає приміщенню тепло, через переміщення речовини у просторі. Радіація або теплове випромінювання, тепло передає, через електромагнітні хвилі з перетворенням теплової енергії в променеву і навпаки [35].

Автоматизовані системи управління «розумним» будинком збільшують комфорт людини, тобто система автоматизує буденні процеси людини та є простою у використанні. Для того досягти мети автоматизованого управління опаленням в «розумному» будинку потрібно дотримуватися деяких параметрів, а саме [36]:

- об'єднати всі пристрої в єдине ціле, щоб вони взаємодіяли;
- можливість віддаленого керування системою за допомогою гаджетів;
- можливість додавання нових функцій або розширення можливостей системи існуючої без зміни.

Дані параметри є основні для автоматизованої системи управління опаленням в «розумному» будинку.

Існують різні варіанти автоматизованого управління «розумних» будинків, представлено на рисунку 1.3 [37].

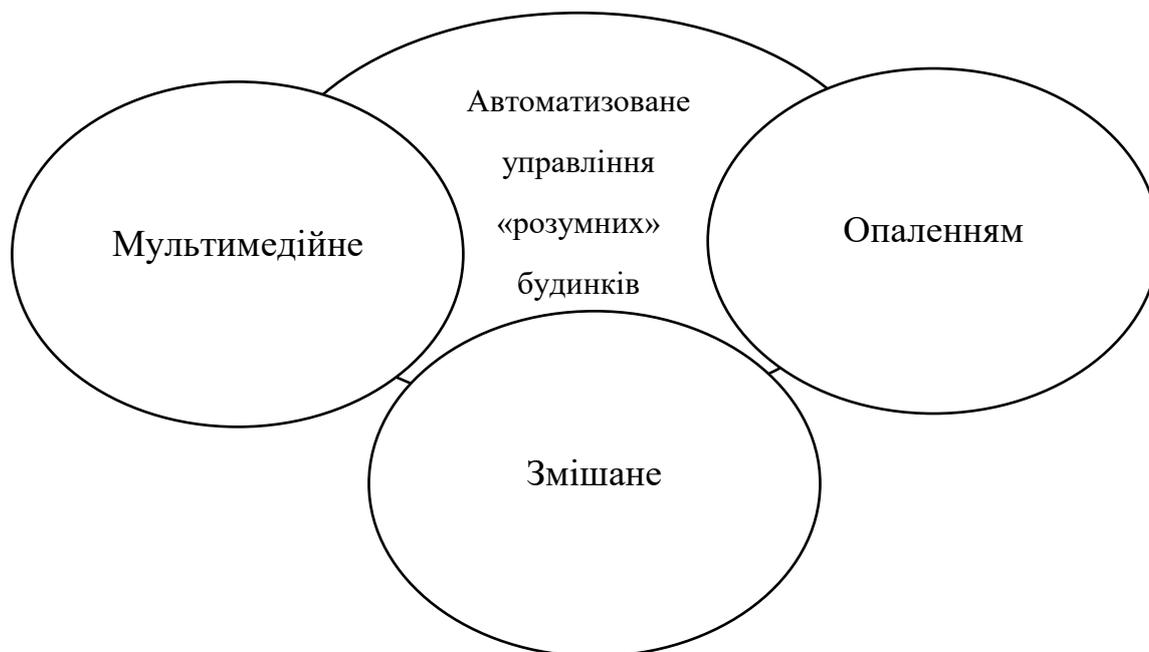


Рисунок 1.3 – Варіанти автоматизованого управління «розумних» будинків

Мультимедійна автоматизована система «розумний» будинок – це система, що складається з пристроїв мультимедіа.

Автоматизована система управління опалення в «розумному» будинку, контролює температуру повітря в приміщенні з найменшими енерговитратами. Суть системи полягає у тому, що при недостатній температурі повітря в будинку запрацює котел або система опалення працює на мінімумі поки користувач не вдома [38].

Автоматизована змішана система, складається та функціонує декілька процесів одночасно. Керування відбувається управляючими пристроями за різними протоколами.

Автоматизована модель системи управління опаленням в «розумному» будинку працює використовуючи алгоритми, які у ній збережені за допомогою яких можна контролювати температуру повітря враховуючі різні впливи при цьому мінімізувати витрати. Дана модель системи забезпечить виконання різних функцій, а саме:

- нагрівання повітря в приміщенні;
- охолодження повітря в приміщенні [39].

Модель системи автоматизованого управління опаленням в «розумному» будинку забезпечить зниження температури повітря в нічний час в кімнатах без людей та спальнях, що створить комфортні умови для сну, а також мінімізує витрати енергії та роботу апаратури і обладнання, коли в будинку відсутні люди.

Таким чином, модель автоматизованої системи управління опаленням в «розумному» будинку дає можливість створити індивідуальну комфортну температуру для кожної кімнати в будинку та для кожного члена сім'ї.

### 1.3 Особливості релейних систем управління

Релейні системи керування, або автоматизовані системи управління (див. рис. 1.4), – це такі системи, у структурі яких застосовуються елементи з релейною характеристикою. Вони відзначаються простотою у використанні та високою швидкістю, однак характеризуються невисокою точністю й схильністю до виникнення автоколивань [40].



Рисунок 1.4 – Функціональна схема релейної системи управління

Релейна характеристика – це кусково-лінійна характеристика, яка в системі управління вхідну величину перетворює в дискретне значення вихідної величини, яка зміється стрибкоподібно, що представлено на рисунку 1.5 [41].

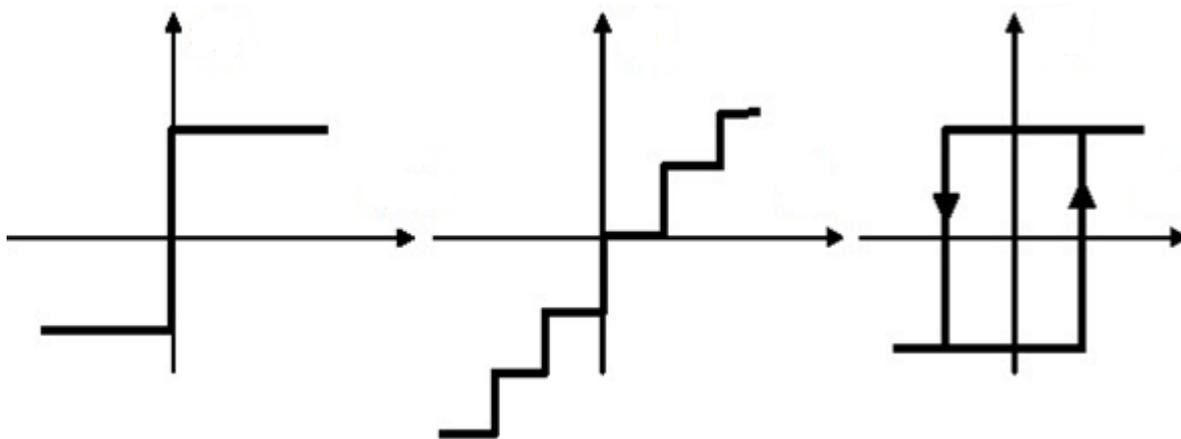


Рисунок 1.5 – Релейна характеристика систем управління

Розвиток релейних систем управління почався з винаходу електричного реле П. Шиллінгом в 1832 році [42]. Поштовхом для цього було удосконалення методів автоматизованого управління та розвиток електротехніки. Важливим етапом в релейних системах управління вважається період, коли було створено систему автоматизованого блокування на залізничному транспорті, У. Робінзоном у 1872 році, та інші [43].

В даний час релейні системи управління є також актуальними у зв'язку з бистрим розвитком промисловості, яка має на меті забезпечити технологічні процеси високонадійним управлінням складних об'єктів.

Релейні системи управління є одним з видів нелінійних дискретних автоматизованих систем управління їх розділяють: двопозиційні та багатопозиційні.

Двопозиційні релейні системи управління, характеризуються тим, що від сенсора регулюючого органу сигнал може приймати значення «відкритий» або «закритий». Дані релейні системи управління широко використовуються в установках в яких можна проводити регулювання тільки в заданих межах та з низькою точністю. Наприклад: парове та водяне нагрівання, холодильні установки, електричні печі [44].

Багатопозиційні релейні системи управління – це системи з статичною характеристикою, які змінюють свій стан статично. Дані релейні системи

використовуються для управління елементами перемикачними елементами в системі при цьому досліджуючи їх стабільність [45].

Релейні системи управління в залежності від вхідної величини, поділяються на [46]:

- системи управління стабілізації;
- системи програмного управління;
- системи слідкуючого управління;
- системи екстремального управління.

Релейні системи управління стабілізації, призначені для підтримки керованої величини з заданою точністю, при цьому помилка даного управління не повинна перевищувати допустиму.

Прикладом такої системи, може бути підтримка напруги, сталого тиску в системі, температури [47].

Зміна керованої величини відбувається за алгоритмом програми – це релейні системи з програмним управлінням. Прикладом є всі системи управління, які використовують програму для зміни вхідних значень [48].

Слідкуючі системи релейного управління, має на меті змінювати вхідні значення за заданим впливом, при цьому невідомої функції часу. Прикладом таких систем є пристрої, які працюють за вказаним шаблоном [49].

Екстремальні релейні системи управління, визначають значення вихідної величини саме екстремальне для системи, прикладом є системи з високою статичною характеристикою.

Особливості релейних систем управління [50]:

- релейні системи управління, характеризуються під час роботи автоколиваннями деякої амплітуди та частоти, нелінійні;
- забезпечують швидкою зміною вхідних сигналів та їх положення, що дають можливість використовуватися для швидкодії процесу;
- забезпечують ефект лінеаризації.

Ознайомившись з особливостями релейних систем управління можна визначити область їх застосування, через те, що в багатьох технологічних

процесах автоколивання не допустиме [51]. Застосування релейних систем управління можливо попередньо оцінити за допомогою формули 1.4.

$$\frac{\tau}{T} \leq 0.2, \quad (1.4)$$

де  $\tau$  – час запізнення об'єкта;

$T$  – постійний час об'єкта.

Основні задачі релейних систем управління:

- задача аналізу;
- задача синтезу, що може поділятися на: структурний синтез та синтез впливу.

Релейні системи управління з структурним синтезом, використовують у системі задані параметри з умови задачі, а в системах синтезу впливу, сигнали задаються такі, щоб забезпечити властивості системи [52].

Принципи керування релейними системи управління:

- розімкнуте керування;
- компенсації;
- зворотного зв'язку.

Розімкнуте керування релейними системами управління, має на меті керування об'єктами, але при цьому не контролювати збурення під час процесу. Структурна схема даного типу керування, представлена на рисунку 1.6 [53].

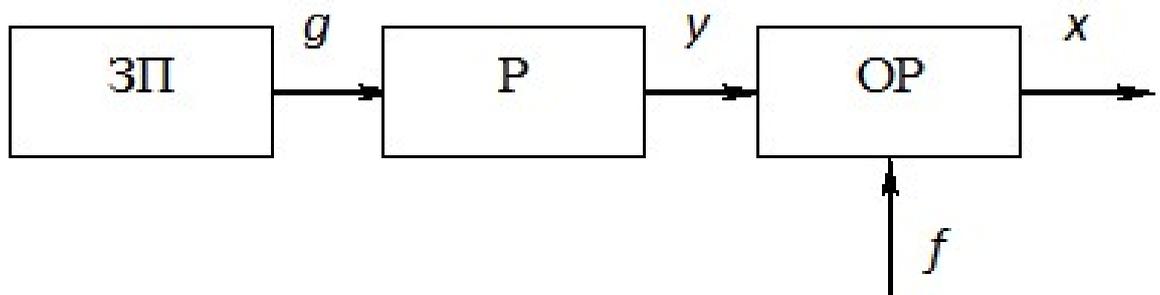


Рисунок 1.6 – Структурна схема розімкнутого керування,

де ЗП – заданий пристрій;

Р – регулятор;

ОР – об'єкт регулювання;

$g$  – вектор станів пристрою;

$y$  – вектор станів регулятора;

$f$  – збурення;

$x$  – вектор станів об'єкта регулювання (вихідна величина).

Релейні системи управління з розімкнутим керуванням не здійснюють контроль за реальним станом об'єкта. Прикладом таких систем є лінійні підсилювачі, перетворювачі, та інші.

Релейні системи управління з компенсацією, має на меті компенсувати збурення в системі [54]. Структурна схема релейної системи управління з компенсацією, представлена на рисунку 1.7.

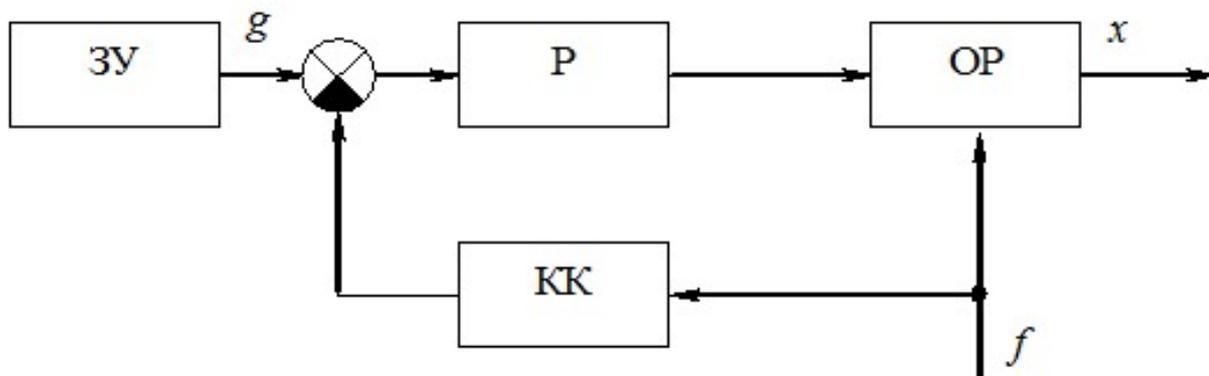


Рисунок 1.7 – Структурна схема релейної системи управління з компенсацією,

де ЗУ – задане управління;

Р – регулятор;

ОР – об'єкт регулювання;

$g$  – вектор станів пристрою;

$f$  – збурення;

$x$  – вектор станів об'єкта регулювання (вихідна величина).

КК – канал компенсації.

За допомогою даного принципу під час управління релейними системами можна досягти стабільності збурень, але при цьому вхідна величина може потрапити під вплив інших збурень.

Даний принцип використовується в системах управління струмом, напругою, тобто в системах стабілізації, які змінюють свій стан об'єкта управління.

Релейні системи управління по відхиленню, даний принцип має на меті виміряти вхідну величину та порівняти з впливом, який задається на неї. В результаті враховуючи відхилення зменшується вихідна змінна [55]. Структурна схема, представлена на рисунку 1.8.

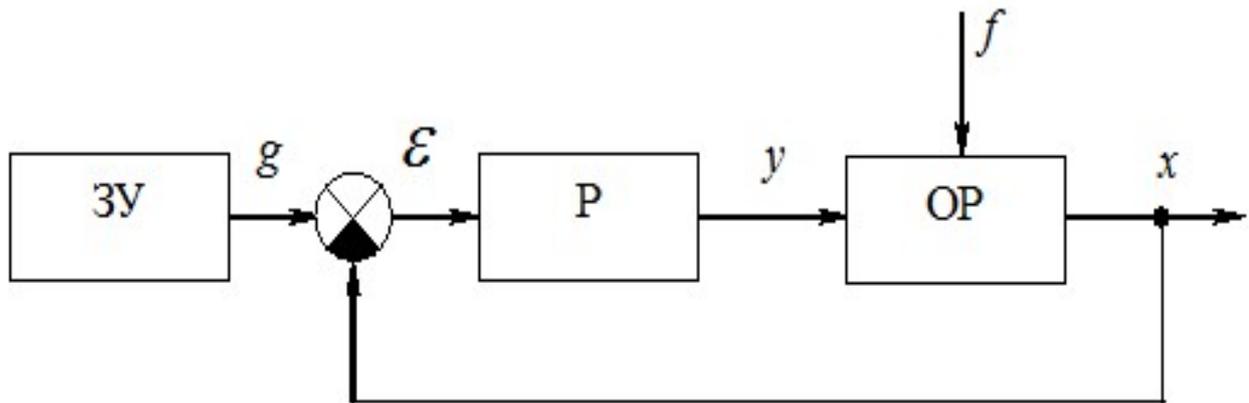


Рисунок 1.8– Структурна схема релейної системи управління з відхиленням,

де ЗУ – задане управління;

Р – регулятор;

ОР – об'єкт регулювання;

$g$  – вектор станів пристрою;

$\varepsilon$  – відхилення;

$y$  – вектор станів регулятора;

$f$  – збурення;

$x$  – вектор станів об'єкта регулювання (вихідна величина).

Використовуючи даний принцип управління для релейних систем, зменшується чутливість до змін параметрів, можливість використання до невідомих об'єктів, точний розрахунок. Недоліки використання даного управління полягає у тому, що стійкість системи дуже низька.

Релейні системи з лінійним управлінням, це системи, які працюють з лінійними рівняннями з максимальною точністю.

Нелінійні релейні системи, описуються нелінійними рівняннями, їх використовують найбільше, тому, що вони не мають зони нечутливості [56].

Релейні системи управління, використовуються у багатьох процесах та є дуже актуальними на даний час. На сьогодні кожен процес використовує релейні об'єкти та їх характеристики. Завдяки великій кількості релейних елементів вони швидко знайшли собі застосування в різних областях техніки та науки.

Релейні системи управління поділяються на симетричні та несиметричні, залежить від релейного елемента, який буде використовуватися в системі, представлено на рисунку 1.9 [57].

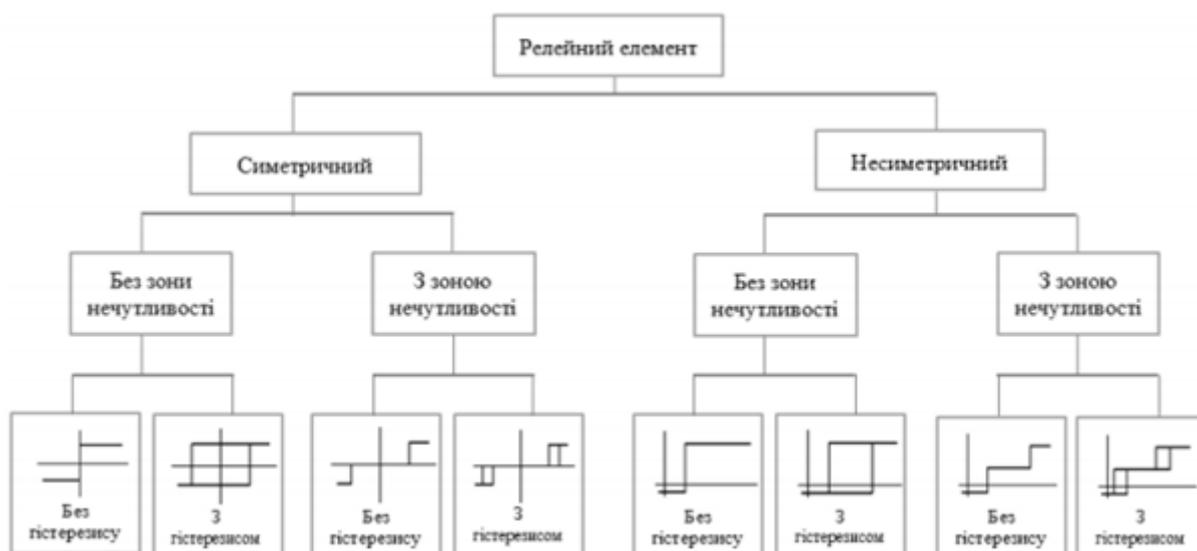


Рисунок 1.9 – Класифікація релейних автоматизованих систем за виглядом характеристики релейного елемента

Рівняння релейних елементів у релейних системах управління, представлено на рисунку 1.10 – 1.13.

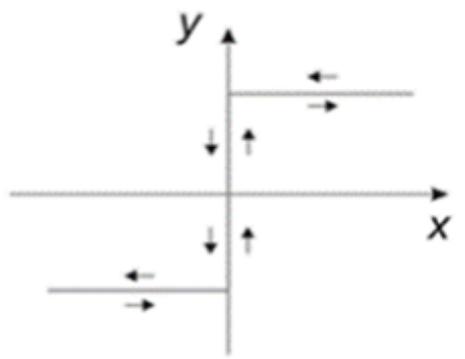


Рисунок 1.10 –Ідеальна релейна характеристика

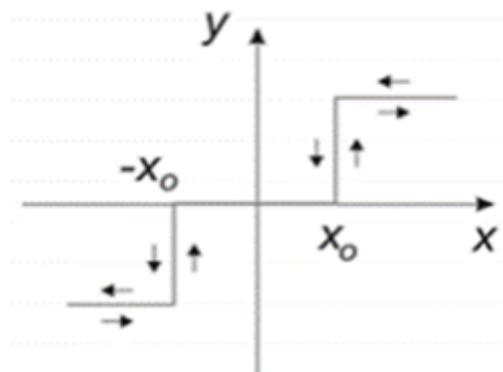


Рисунок 1.11 –Характеристика із зоною нечутливості

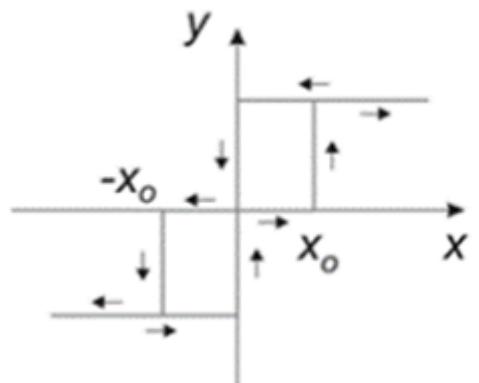


Рисунок 1.12 –Характеристика з гістерезисом

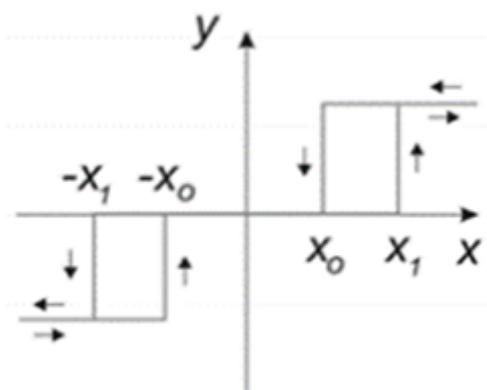


Рисунок 1.13 – Характеристика з гістерезисом і зоною нечутливості

Завдяки впровадженню нових принципів під час розробки релейних елементів, зокрема відсутності необхідності у контактних пристроях та можливості налаштувати їхні параметри, відкрилися додаткові перспективи для розвитку релейних систем управління. Такі системи належать до класу керуючих систем із переривчастою дією. Моменти замикання чи розмикання кола наперед не задаються зовні, а визначаються внутрішніми характеристиками самої системи. Саме цим пояснюються особливості динаміки процесів автоматичного регулювання.

За своєю природою релейні автоматизовані системи є виразно нелінійними, тому їхній аналіз за допомогою класичних лінійних методів теорії автоматичного регулювання неможливий. Попри це, сфера застосування релейних систем доволі широка: вони використовуються для керування температурою, напругою, частотою в радіотехнічних пристроях, обертами електродвигунів, потенціометрами, автоколивальними перетворювачами, у системах стеження за положенням об'єкта, гіроскопічними приладами та в інших випадках [58].

Розглянемо приклад релейних систем управління температурою.

В системі управління температурою буде використовуватися двопозиційний регулятор. Даний регулятор повинен підтримувати стабільну температуру в печі електричній. Температура печі вимірюється ртутним

термометром в кому є два контакти. Які реагують на зміну температури в печі, якщо температура перевищує допустиму то клапан замикається та спрацьовує реле, яке відключає нагрівач. Завдяки цьому температура знижується. Коли температура знизиться до потрібного значення то клапан розмикається та відповідно та реле теж. Завдяки цьому відбувається підключення до джерела живлення та температура починає збільшуватися. Даний процес нагрівання повторюється.

Існують різні види нагрівання, а саме від електроенергії, газу, води. В залежності від типу нагрівання такий і обирають релейний елемент для роботи [59].

Отже, в даній роботі однією з задач є зниження витрат енергії в релейних системах управління з елементами штучного інтелекту без зменшення якості та стійкості даної системи. Для даної релейної системи управління за основу візьмемо коливальний процес змінення стану досліджуваного об'єкту.

#### 1.4 Висновки. Постановка задачі дослідження

Проведений аналіз в даному розділі показав, що моделювання автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку та аналіз її стійкості є важливою задачею на шляху розв'язання проблеми надійності системи та оптимального управління системою з елементами штучного інтелекту.

Існуючі системи управління та методи для вирішення даної проблеми не дозволяють отримати точні результати. Традиційні моделі не здатні враховувати всі складні керуючі впливи та їх промоделювати, тому для реалізації автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку, здатна проаналізувати стійкість системи враховуючи впливи в режимі реального часу на неї. В роботі доцільно поєднуються ефективні засоби формального опису систем та можливість такого сучасного інструменту як імітаційне моделювання.

Методи дослідження базуються на можливості отримати високоякісні результати стабільності автоматизована система управління опаленням у «розумному» будинку з елементами штучного інтелекту за допомогою програмного забезпечення.

Постановка завдань даної кваліфікаційної роботи згідно мети та аналізу стану задачі:

- обґрунтувати структуру і принцип дії автоматизованої моделі системи управління системи опаленням у «розумному» з елементами штучного інтелекту;

- розробити модель автоматизованої системи управління системи опаленням у «розумному» з нечітким контролером;

- проаналізувати стійкість автоматизованої моделі системи управління системи опаленням у «розумному» з нечітким контролером при різних впливах.

## 2 МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМ З НЕЧІТКИМИ КОНТРОЛЕРАМИ В СЕРЕДОВИЩІ SCILAB/XCOS/FLT

### 2.1 Інструментальні засоби імітаційного моделювання систем з нечіткими контролерами в середовищі Scilab/Xcos/Flt

Імітаційне моделювання – це методика дослідження, за допомогою якої замінюють систему дослідження на модель, що з великою точністю описує реальну систему. З імітаційною системою можна проводити різні експерименти для того, щоб отримати достатньо інформації про досліджувану систему [60].

Використовують імітаційне моделювання, коли:

- достаньо дорого здійснити дослідження на реальній системі управління;
- не можливо провести певні дослідження на реальній системі управління;
- змінювати поведінку системи управління в часі.

Для імітаційного моделювання існує на даний час великий вибір інструментальних засобів. При виборі інструментального засобу для імітаційного моделювання потрібно брати до уваги всі можливості системи, а саме:

- основні характеристики досліджуваної системи;
- сумісність програмного забезпечення;
- анімація даної системи управління;
- статичні можливості системи управління;
- представлення даних та графіків роботи системи управління [61].

Інструментальних засобів імітаційного моделювання на даний час є дуже багато, наприклад [62]:

- Arena, Rockwell Automation;
- MatLab + Simulink, Math-Works, Inc;
- AnyLogic, XJ Technologies;
- GPSS World, Minuteman Software;
- Process Charter 1.0.2, Scitor;

- Powersim, Modell Data AS;
- Ithink, High Performance Systems.

Представлені інструментальні засоби на даний час популярні, але для роботи вони потребують ліцензію. Тому такі інструментальні засоби для мого використання не підходять, з даної причини я буду використовувати Scilab, який є розробний Scilab Enterprises.

Scilab – пакет математичних прикладних програм, що допомагає проводити технічні та наукові розрахунки, а також відрізняється від аналогів тим, що є безкоштовний для використання у власних цілях та комерційних. Логотип інструментального засобу Scilab, представлено на рисунку 2.1 [63].



Рисунок 2.1 – Логотип Scilab

Scilab використовується з 1994 року через Інтернет. На даний час інструментальний засіб підтримує компанія Scilab Consortium, вона складається з 25 учасників.

Даний інструментальний засіб для імітаційного моделювання написаний на різних мовах програмування та є відкритою системою, до якої користувачі можуть добавляти свої власні типи даних та дії над ними. Scilab включає в себе багато різних інструментів для роботи, як з математичними діями так і з графікою та моделюванням, а також дає можливість поєднувати.

Програма доступна на всіх операційних системах, та дозволяє самостійно користувачу розширити її функціонал, написавши потрібний модуль на будь-якій мові програмування [64].

Встановлення інструментального засобу Scilab в операційну систему Windows є дуже проста процедура. За допомогою програми-інсталятора, ми

встановлюємо програму, після чого на робочому столі додається ярлик, при натисненні на якого відображається консоль Scilab, представлено на рисунку 2.2.

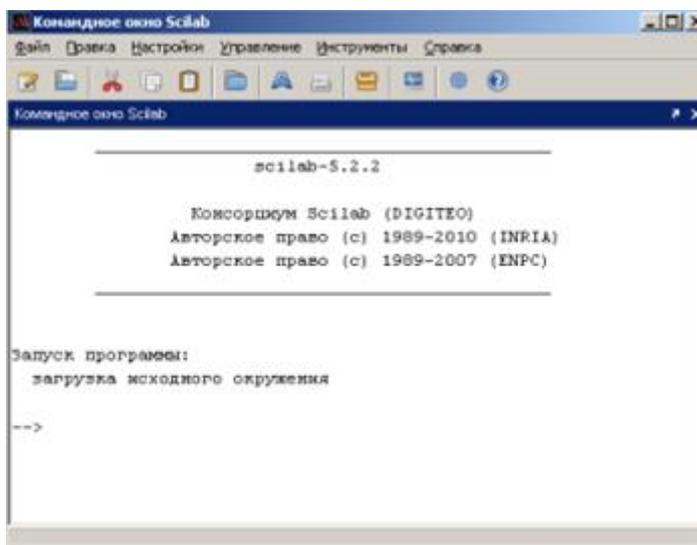


Рисунок 2.2 – Консоль Scilab

Головне вікно Scilab складається з (рисунок 2.3): перегляд файлів, командне вікно, перегляд змінних та журнал команд.

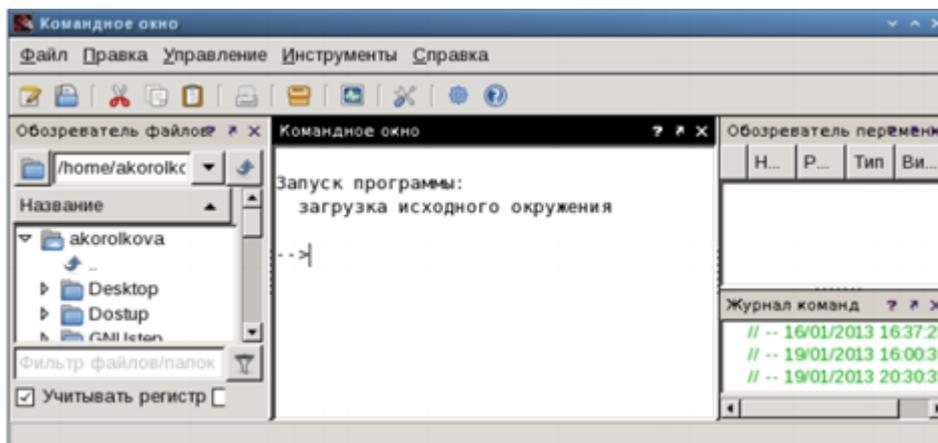


Рисунок 2.3 – Головне вікно Scilab

Для моделювання систем управління з контролером в середовищі Scilab використовують додатки: Xcos та FLT.

Xcos – це додаток, який є складовим у інструментальному засобі Scilab для математичного моделювання систем у області механіки, гідравліки та

електроніки, а також систем масового обслуговування. Xcos є графічна інтерактивна середовище, в основі якої лежить блокове моделювання різних процесів. За допомогою даного додатку можна віршувати задачі динамічного та ситуаційного моделювання систем, процесів, пристроїв, а також їх тестувати та аналізувати. Об'єкт моделювання представляється графічно за допомогою блоків, які є елементами системи та зв'язками між ними.

Основною задачею імітаційного моделювання за допомогою додатку Xcos, полягає у тому, щоб створити таку технологію, яка достатньо точно зможе описати властивості оригінального об'єкту. Моделювання – це є метод дослідження властивостей роботи всіх процесів системи за допомогою віртуальних об'єктів та їх взаємодії у часі.

Всі розрахунки проводяться в часі, який відповідає реальному та враховуючи взаємодію з зовнішнім середовищем, що і полягає імітаційне моделювання. Імітаційне моделювання є універсальним методом дослідження та оцінки стабільності системи управління [65].

Для того щоб запустити вікно Xcos, потрібно в головному вікні Scilab вибрати: «Инструменты – Визуальное моделирование – Xcos» (рисунок 2.4).

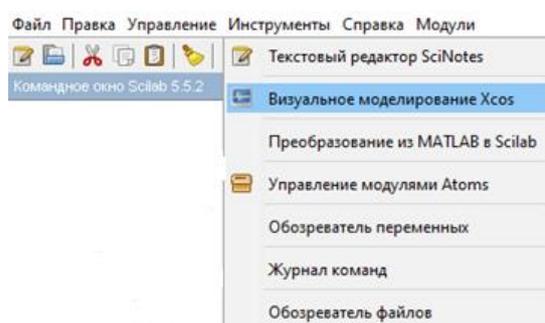


Рисунок 2.4 – Меню «Инструменты»

Після запуску додатку Xcos, відображає два вікна:

- палітра блоків, представлено на рисунку 2.5;

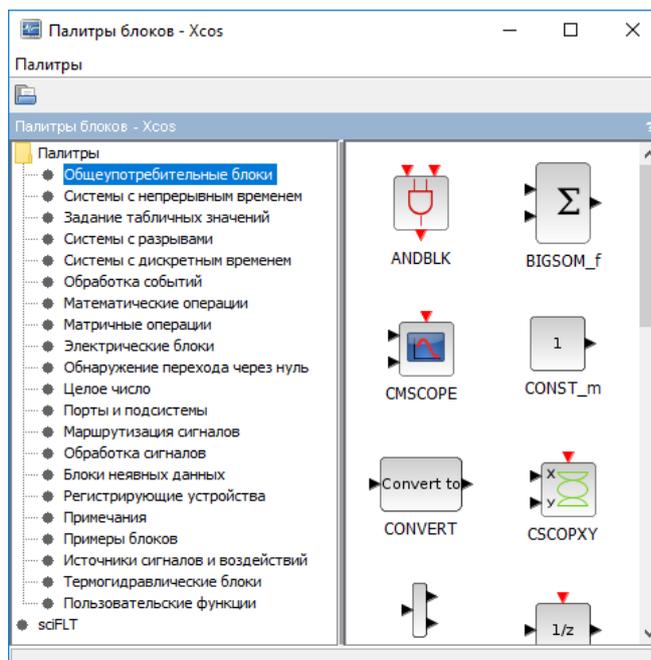


Рисунок 2.5 – Вікно палітри в блоків

- редактор, представлено на рисунку 2.6.

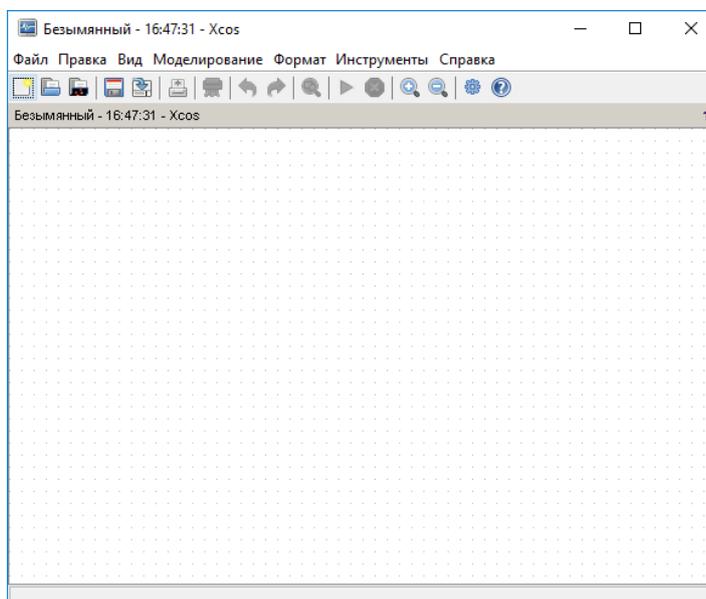


Рисунок 2.6 – Вікно редактора

Вікно палітри блоків, представляє групи блоків за допомогою, яких будуються різні системи. Обравши потрібну групу блоків, натискаючи ліву клавішу миші, відкриється графічне зображення всіх блоків, які відносяться до даної групи. Правою клавішою миші натиснувши на зображення блоку

відкриється меню за допомогою якого, можна додати блок у систему моделювання або відкрити інформацію про даний блок (рисунки 2.7). Додати вибраний блок у систему моделювання, можна перетягнувши мишкою у вікно редактора.

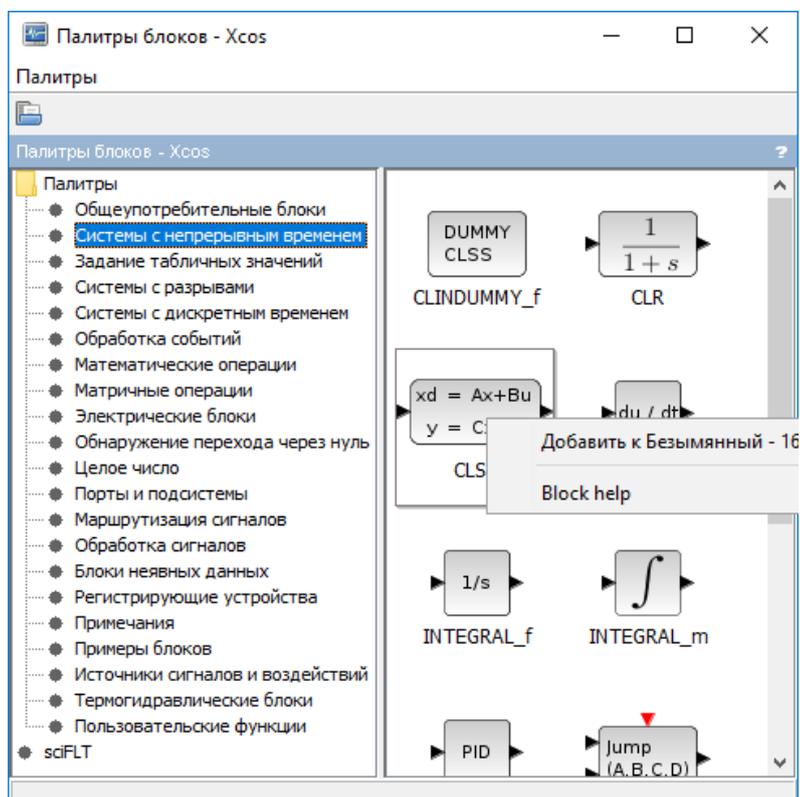


Рисунок 2.7 – Меню блоку

Блоки в системі з'єднуються лініями, які проводяться від входу до виходу обраного блоку, лівою клавішею миші. Для видалення лінії з'єднання потрібно виділити її та натиснути клавішу «Delete» [66].

Для збереження системи моделювання потрібно в головному меню графічного редактора Xcos обрати «Файл – Сохранит». Завантажити збережену систему моделювання можна за допомогою головного меню графічного редактора «Файл – Открыть» або «Файл – Недавние файлы».

FLT (Fuzzy Logic Toolbox) – це модуль до середовища Scilab, який містить набір інструментів для моделювання й аналізу нечітких множин [67].

- Цей Toolbox не входить до базової комплектації Scilab, тому його необхідно завантажити окремо, обравши версію, що відповідає вашій операційній системі та встановленому пакету Scilab.
- Послідовність встановлення Fuzzy Logic Toolbox:
  - Завантажити «sciFLT» із сайту ([atoms.scilab.org](http://atoms.scilab.org)).
  - Перемістити отриману папку до каталогу «scilab\contrib».
  - Відкрити середовище Scilab.
  - У меню вибрати «Інструменти – Керування модулями Atoms» (як показано на рисунку 2.8).

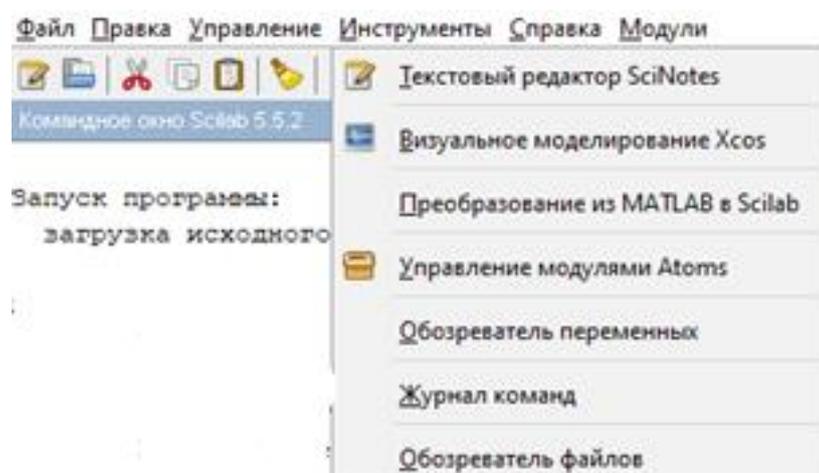


Рисунок 2.8 – Меню «Инструменты»

- у вікні «Основные категории – ATOMS», вибираємо категорію Xcos та завантажуюмо Fuzzy Logic Toolbox, рисунок 2.9.

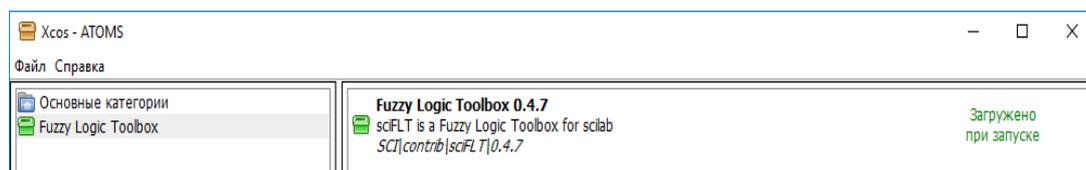
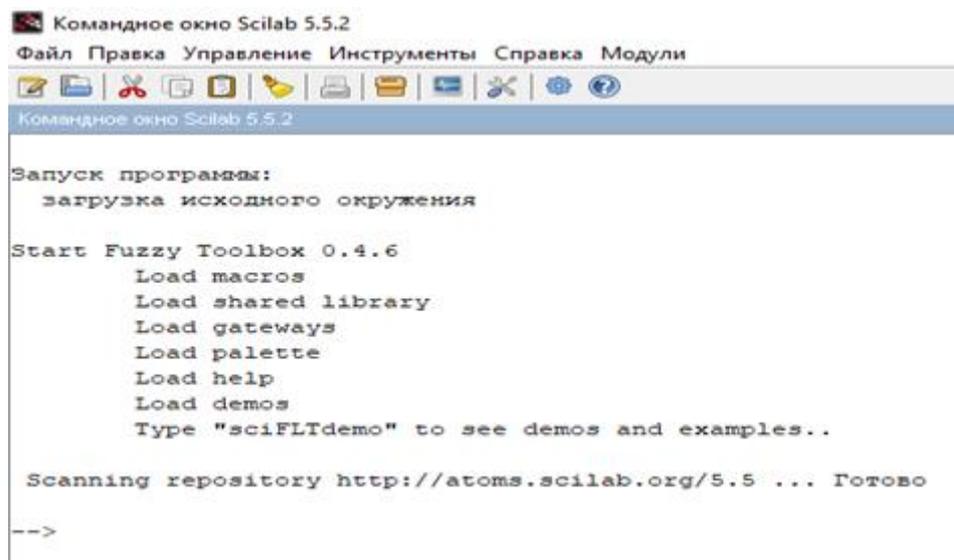


Рисунок 2.9 – Fuzzy Logic Toolbox

– перезавантаження інструментального засобу Scilab та запуск з додатком нечіткої логіки, який запускається автоматично. Запуск Fuzzy Logic Toolbox, інформує повідомлення в командному вікні Scilab, представлено на рисунку 2.10.



```

Командное окно Scilab 5.5.2
Файл Правка Управление Инструменты Справка Модули
Командное окно Scilab 5.5.2

Запуск программы:
  загрузка исходного окружения

Start Fuzzy Toolbox 0.4.6
  Load macros
  Load shared library
  Load gateways
  Load palette
  Load help
  Load demos
  Type "sciFLTdemo" to see demos and examples..

Scanning repository http://atoms.scilab.org/5.5 ... Готово
-->

```

Рисунок 2.10 – Інформація про запуск додатку  
Fuzzy Logic Toolbox

Додаток складається з блоків нечіткої логіки для моделювання систем, для їх використання потрібно у вікні палітри блоків обрати групу блоків «sciFLT» [68]:

– scicos\_tnorm, представлений на рисунку 2.11. Даний нечіткий блок виконує обчислення нечіткого класу T-Norm за алгоритмами: Dubois, Yager, Drastic Product, Einstein Product, Algebraic Product, Minimum. Користувач може обрати для обчислення клас S-Norm для цього встановити параметри в звичайній послідовності;

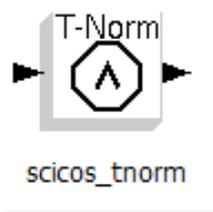


Рисунок 2.11 – Блок Scicos\_tnorm

– `scicos_snorm`, представлений на рисунку 2.12. Нечіткий блок виконує обчислення використовуючи клас S-Norm за алгоритмами: Dubois, Yager, Drastic Sum, Einstein Sum, Algebraic Sum, Minimum. Параметри задаються в звичайній послідовності;



Рисунок 2.12 – Блок `Scicos_snorm`

– `scicos_mf`, представлений на рисунку 2.13. Даний нечіткий блок обчислює функції-члена: Triangular, Trapezoidal, Gaussian, Extended Gaussian, Generalized Bell, Sigmoidal, Product of two Sigmoidal, Absolute difference of the Sigmoidal, S-Shaped, Z-Shaped, Pi-Shaped. Всі інші параметри задаються в звичайній послідовності;



Рисунок 2.13 – Блок `Scicos_mf`

– `scicos_fls`, представлений на рисунку 2.14 та структура даного нечіткого блоку обирається в звичайній послідовності редактора;

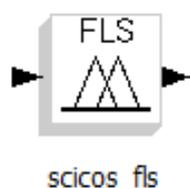


Рисунок 2.14 – Блок `Scicos_fls`

– `scicos_complement`, представлений на рисунку 2.15. Цей блок обчислює нечіткий клас доповнення: One, Yager, Sugeno. Всі інші параметри встановлюються в звичайній послідовності.



Рисунок 2.15 – Блок `Scicos_complement`

## 2.2 Методика імітаційного моделювання систем з нечіткими контролерами в середовищі Scilab/Xcos/Flt

Імітаційне моделювання систем з нечітким контролером в наш час використовується у багатьох сферах діяльності людини для розв’язання та представлення різної складності систем управління.

Нечіткий контролер – це пристрій, в якому кінцевий результат процесу моделювання системи представляється за допомогою нечітких множин.

За допомогою інструментального засобу Scilab, можна здійснити моделювання системи з використанням нечіткого контролера [69].

Для того щоб розпочати моделювання з використанням нечіткого контролера в середовищі Scilab потрібно в командному вікні програми написати команду «`editfls`», яка відкриє графічний редактор системи нечіткого виведення (рисунок 2.16).



Рисунок 2.16 – Графічний редактор системи  
нечіткого виведення

За допомогою редактора можна побудувати нечіткі системи двох типів:

- імітаційне моделювання систем з нечітким контролером за алгоритмом Мамдані;
- імітаційне моделювання систем з нечітким контролером за алгоритмом Сугено.

У меню редактора FLS для вибору методу моделювання потрібно натиснути кнопку «Файл – Новий FLS – обрати метод нечіткого висновку для моделювання (Мамдані чи Сугено)».

Розглянемо метод імітаційного моделювання системи з нечітким висновком Мамдані за допомогою редактору FLS (рисунок 2.17).

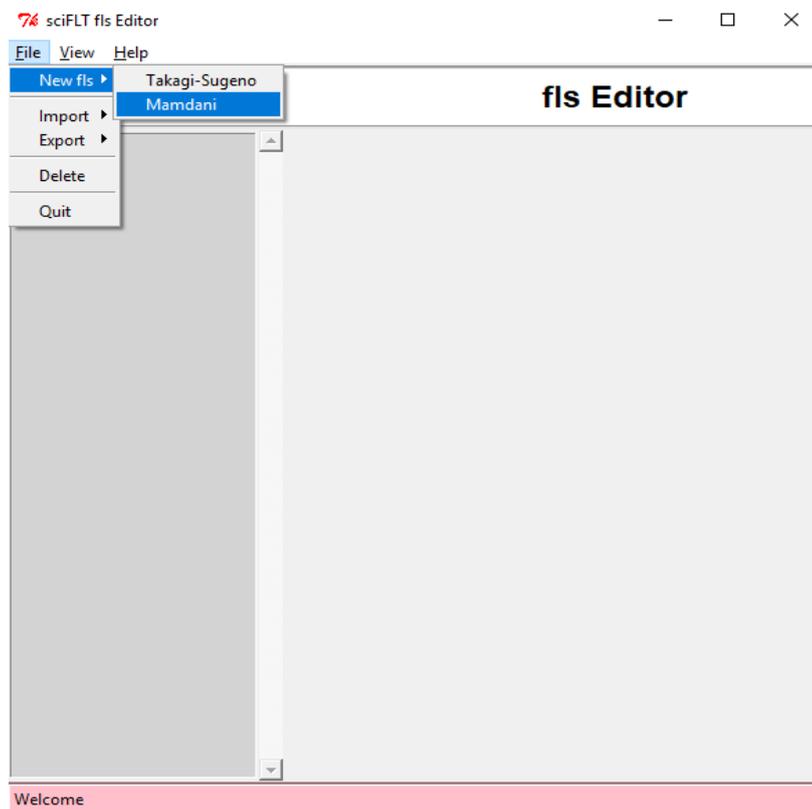


Рисунок 2.17 – Вибір нечіткого моделювання  
за допомогою нечіткого висновку  
Мамдані

Після вибору нечіткого висновку Мамдані в вікні редактора натискаємо «Description» та заповнюємо поля (рисунок 2.18) [70]:

- name, ім'я файлу;
- comment, опис файлу;
- type, тип нечіткого виведення буде автоматично зазначено в даному випадку Мамдані;
- s-norm class: Dubois-Prade, Yager, Drastic sum, Einstein sum, Algebraic sum, Maximum, задають кількість параметрів для певного класу.

Основні вимоги до s-norm class [71]:

- границя:  $S(1, 1) = 1$ ,  $S(a, 0) = S(0, a) = a$ ;
- монотонність:  $S(a, b) < S(c, d)$ , якщо  $a < c$  і  $b < d$ ;
- комутативність:  $S(a, b) = S(b, a)$
- асоціативність:  $S(a, S(b, c)) = S(S(a, b), c)$ .

Dubois-Prade, визначається формулою (2.1).

$$S_a(a, b) = \frac{a+b-ab-\min(a,b,1-a)}{\max(1-a,1-b)}, \quad (2.1)$$

де  $a \in (0,1)$ ;

$b$  – параметр функції.

Yager, визначається формулою 2.2.

$$S_w(a, b) = \min[1, (a^w + b^w)^{\frac{1}{w}}], \quad (2.2)$$

де  $w \in (0, \infty)$ .

Drastic sum, визначається формулою 2.3.

$$S_{ds}(a, b) = \begin{cases} a & \text{if } b = 0 \\ b & \text{if } a = 0 \\ 1 & \text{if otherwise} \end{cases} \quad (2.3)$$

Einstein sum, визначається формулою 2.4.

$$S_{es}(a, b) = \frac{a+b}{1+ab} \quad (2.4)$$

Algebraic sum, визначається формулою 2.5 та є стандартною в редакторі.

$$S_{as}(a, b) = a + b - ab \quad (2.5)$$

Maximum, визначається формулою 2.6.

$$S_{\max}(a, b) = \max(a, b) \quad (2.6)$$

– t-norm class: Dubois-Prade, Yager, Drastic sum, Einstein sum, Algebraic sum, Minimum, задають кількість параметрів в певному класі.

Основні вимоги до t-norm class [72]:

- границя:  $T(0, 0) = 0$ ,  $T(a, 1) = T(1, a) = a$ ;
- монотонність:  $T(a, b) < T(c, d)$ , якщо  $a < c$  та  $b < d$ ;
- комутативність:  $T(a, b) = T(b, a)$ ;
- асоціативність:  $T(a, T(b, c)) = T(T(a, b), c)$ .

Dubois-Prade, визначається формулою 2.7.

$$t_a(a, b) = \frac{ab}{\max(a, b, a)}, \quad (2.7)$$

де  $a \in (0, 1)$ .

$b$  – параметр функції.

Yager, визначається формулою 2.8.

$$t_w(a, b) = 1 - \min[1, ((1 - a)^w + (1 - b)^w)^{\frac{1}{w}}], \quad (2.8)$$

де  $w \in (0, \infty)$ ;

Drastic sum, визначається формулою 2.9.

$$t_{ds}(a, b) = \begin{cases} a & \text{if } b = 1 \\ b & \text{if } a = 1 \\ 0 & \text{if otherwise} \end{cases} \quad (2.9)$$

де  $a \in (0, 1)$ ;

$b$  – параметр функції.

Einstein sum, визначається формулою 2.10.

$$t_{es}(a, b) = \frac{ab}{2 - (a + b - ab)} \quad (2.10)$$

Algebraic sum, визначається формулою 2.11, в редакторі зазначена стандартно.

$$t_{as}(a, b) = ab \quad (2.11)$$

Minimum, визначається формулою 2.12.

$$S_{\min}(a, b) = \min(a, b) \quad (2.12)$$

– Complement One, Yager, Sugeno, додаткові можливості оброблення параметрів. За стандартом обирають One та задають кількість параметрів.

– Implication method: Minimum, Product (стандартно в редакторі обрано), Einstein product.

– Aggregation method: Maximum (стандартно в редакторі обрано), Sum, Prob. OR, Einstein sum.

– Defuzzification method: Centroide (стандартно в редакторі обрано), Bisector.

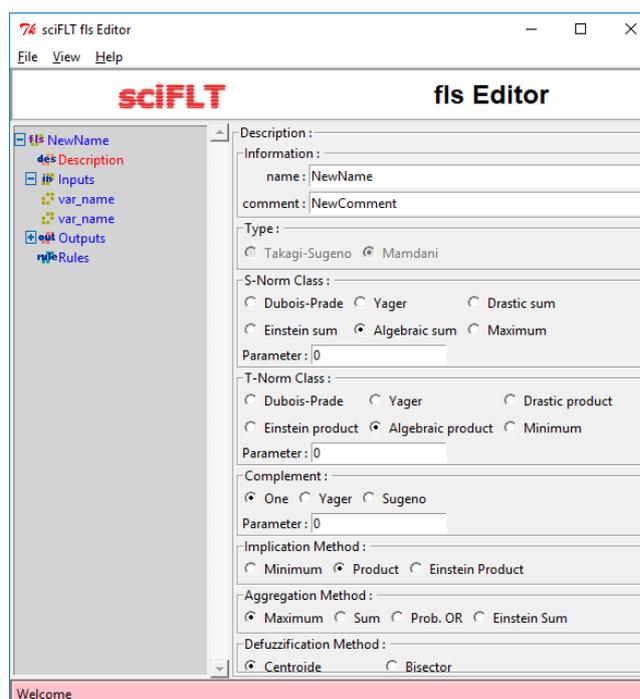


Рисунок 2.18 – Опис вікна «Description»

Визначення вхідних змінних в редакторі за допомогою пункту меню «Inputs» (рисунок 2.19а), вихідні змінні – пункт меню «Outputs» (рисунок 2.19б) та заповнити поля:

- number of input variables – лічильник, що показує кількість доданих вхідних та вихідних змінних через кнопку «Add».
- variables – у цьому полі відображаються всі створені вхідні/вихідні змінні. Їх можна редагувати за допомогою кнопки «Edit» або видаляти через «Delete».

При натисканні «Edit» відкривається редактор вхідних/вихідних змінних (рис. 2.20а–2.20б), який містить такі параметри:

- name – назва змінної;
- range – діапазон значень змінної;
- no. Member function – кількість параметрів, що описують змінну;
- name – назва параметра;
- type – тип функції належності;
- par – значення параметра, які можуть задаватися числовим або лінгвістичним способом.

Щоб додати параметри для змінної, необхідно скористатися кнопкою «Edit» у меню «Member function». Для видалення параметрів використовується кнопка «Delete».

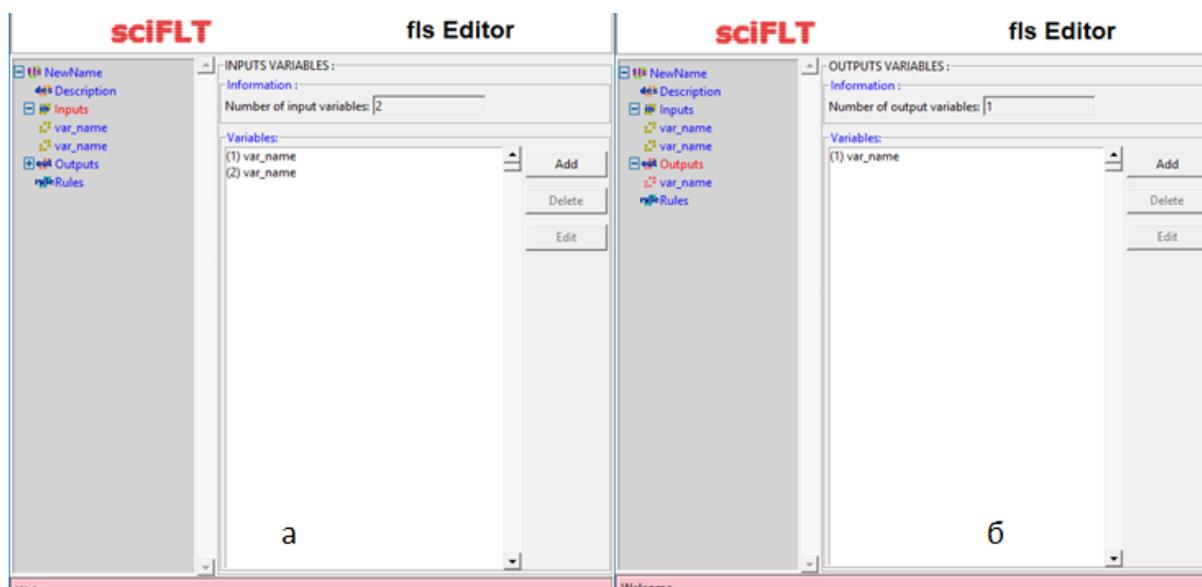


Рисунок 2.19 – а) Вхідні змінні;  
б) Вихідні змінні

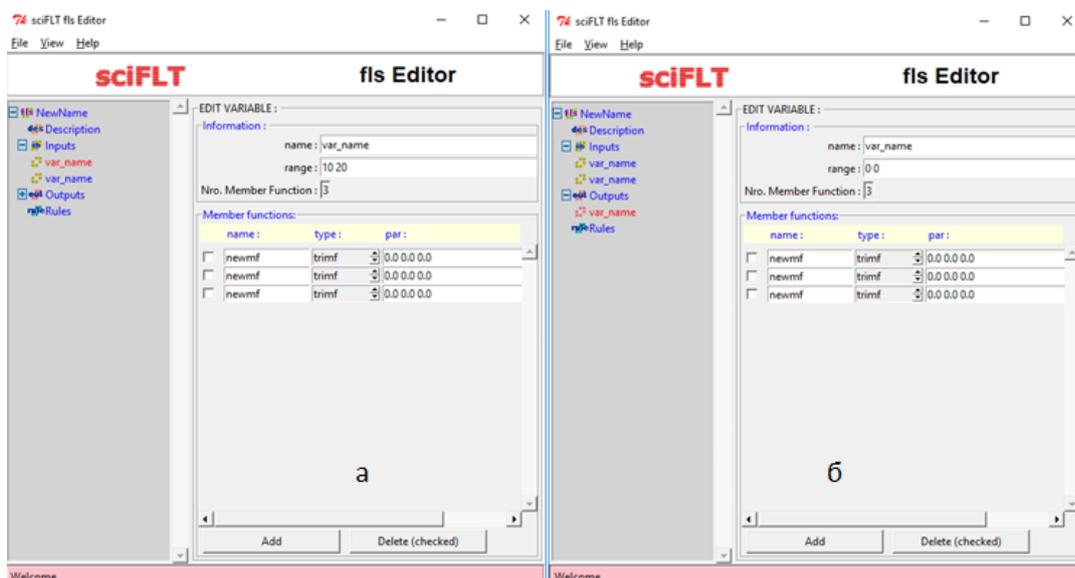


Рисунок 2.20 – а) Редагування вхідних змінних;  
б) Редагування вихідних змінних

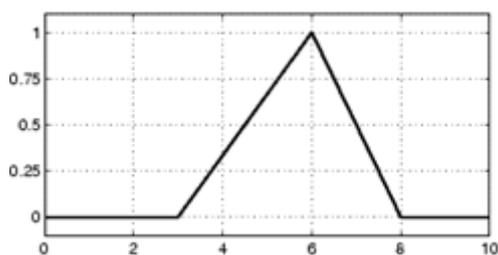
Типи представлення параметрів вхідних/вихідних змінних [73]:

– trimf, трикутна крива, визначається формулою 2.13 (рисунок 2.21);

$$f(x; a, b, c) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x \leq c \\ 0, & c \leq x \end{cases}, \quad (2.13)$$

де  $a, b, c$  – скалярні параметри від яких залежить значення  $x$ ;

$x$  – функція вектора.



## Рисунок 2.21 – Трикутна крива

– `trapezmf`, трапецеподібна крива, визначається формулою 2.14 (рисунок 2.22);

$$f(x; a, b, c, d) = \left\{ \begin{array}{ll} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a \leq x \leq b \\ 1, & b \leq x \leq c \\ \frac{c-x}{c-b}, & c \leq x \leq d \\ 0, & d \leq x \end{array} \right\}, \quad (2.14)$$

де  $a, b, c, d$  – скалярні параметри від яких залежить значення  $x$ ;  
 $x$  – функція вектора.

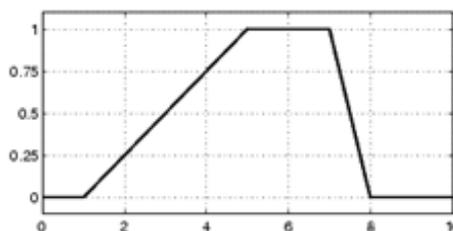


Рисунок 2.22 – Трапецеподібна крива

– `gaussmf`, симетрична гаусова крива, визначається формулою 2.15 (рисунок 2.23);

$$f(x; \sigma, c) = e^{\frac{-(x-c)^2}{2\sigma^2}}, \quad (2.15)$$

де  $\sigma, c$  – параметри гаусової функції;  
 $x$  – функція вектора.

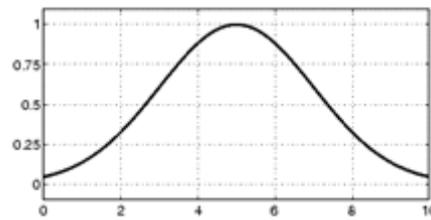


Рисунок 2.23 – Симетрична гаусова крива

– `gauss2mf`, гаусова функція, являє собою комбінацію двох гаусових функцій (рисунок 2.24);

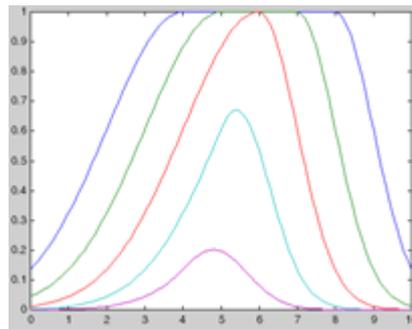


Рисунок 2.24 – Комбінована гаусова крива

– `sigmf`, сигмоїдальна крива, визначається формулою 2.16 та є відображенням на векторі  $x$  і залежить від параметрів  $a, c$  (рисунок 2.25);

$$(x; a, c) = \frac{1}{1 + e^{-a(x-c)}}, \quad (2.16)$$

де  $x$  – вектор;

$a, c$  – скалярні параметри.

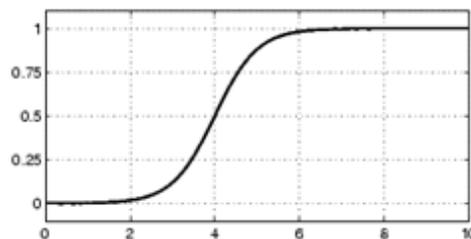


Рисунок 2.25 – Сигмоїдальна крива

–  $\text{psigmf}$ , сигмоїдальна крива (рисунок 2.26);

$\text{Psigmf}$  будується за значенням вектора  $x$  та добутку двох сигмоїдальних кривих.

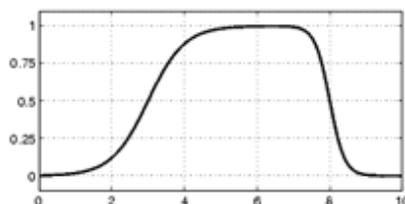


Рисунок 2.26 – Крива добутку двох сигмоїдальних кривих

–  $\text{dsigmf}$ , сигмоїдальна крива, являє собою різницю між двома сигмоїдальними кривими (рисунок 2.27);

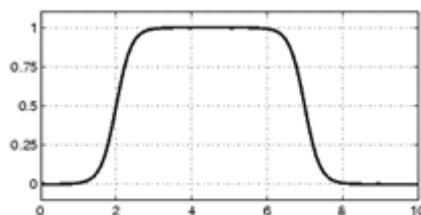


Рисунок 2.27 – Різниця між двома сигмоїдальними кривими

–  $\text{smf}$ , крива сплайна s-форми, представлено на рисунку (рисунок 2.28);

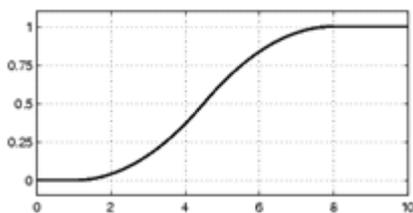


Рисунок 2.28 – Крива сплайна s-форми

–  $\text{zmf}$ , крива сплайна z-форми, представлено на рисунку 2.29;

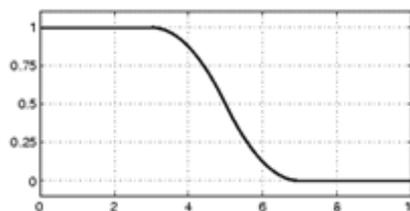


Рисунок 2.29 – Крива сплайна z-форми

–  $\text{rimf}$ , крива сплайна П-форми, оцінюється в точка визначеного вектором, приклад представлено на рисунку 2.30.

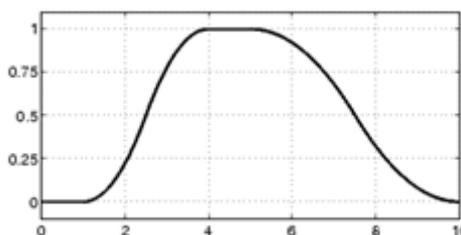


Рисунок 2.30 – Крива сплайна П-форми

Після введення вхідних та вихідних даних здійснюємо перехід до пункту меню «Rules» в якому, створюється нечітка база правил за алгоритмом Мамдані, предствлено на рисунку 2.31. В даному редакторі можна добавляти правила натиснувши клавішу «Add rule», видаляти правила – «Delete rule» та змінювати правила – «Change rule».

Нечіткі правила за алгоритмом Мамдані мають такий вигляд 2.17 [74]:

$$\begin{aligned}
 &\text{ПРАВИЛО}_1: \text{ЯКЩО «умова}_1, \text{ ТО висновок}_1\text{» } (F_i), \\
 &\text{ПРАВИЛО}_2: \text{ЯКЩО «умова}_2, \text{ ТО висновок}_2\text{» } (F_i), \quad (2.17) \\
 &\quad \dots \\
 &\text{ПРАВИЛО}_n: \text{ЯКЩО «умова}_n, \text{ ТО висновок}_n\text{» } (F_i),
 \end{aligned}$$

де  $F_i$  – вагові коефіцієнти відповідних правил. Коефіцієнти приймають значення в інтервалі  $[0, 1]$ . У разі, якщо вагові коефіцієнти відсутні, зручно прийняти, що їх значення рівні 1.

Для створення нових правил за допомогою редактора потрібно вибрати відповідну комбінацію термів і залежностей, вибрати тип зв'язку: or або and, вагу правила Weight, значення вихідної змінної та натиснути кнопку Add rule.

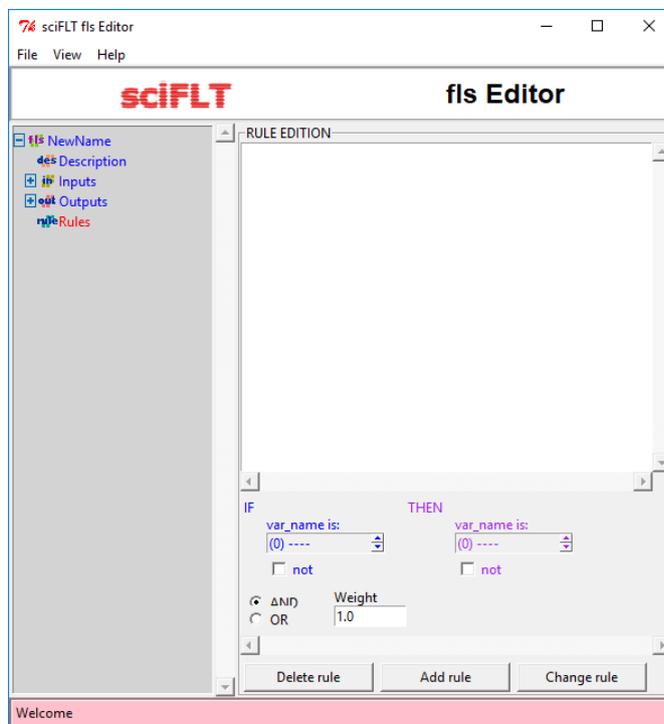


Рисунок 2.31 – Редактор правил

Метод імітаційного моделювання систем із нечітким контролером за алгоритмом Сугено у редакторі FLS виконується подібно до алгоритму Мамдані. Основна різниця полягає в тому, що тут безпосередньо отримується чітке значення змінної. Створені за цим методом нечіткі бази правил можна зберігати у робочій області Scilab (Файл → Експорт → у робочу область) або на жорсткому диску комп'ютера (Файл → Експорт → у файл \*.fls (Scilab)) [75].

Такі бази правил, сформовані за допомогою редактора FLS, застосовуються під час візуального моделювання різних систем у середовищі Xcos. Для цього необхідно виконати послідовність кроків, наведених нижче:

- запустити вікно Xcos: «Инструменты – Визуальное моделирование – Xcos»;
- у вікні «Палитры блоков», обрати палітру блоків «sciFLT»;
- обрати нечіткий блок у палітрі блоків, який потрібно для візуального моделювання певної системи та перетягнути його лівою клавішою миші в редактор Xcos;
- в редакторі Xcos натискаємо два рази лівою клавішою миші по нечіткому блоці. Відкриється вікно «sciFLT Scicos» за допомогою якого ми імпортуємо створений файл з нечіткою базою правил (import from file – відкриваємо файл – ок).
- запускаємо створену імітаційну модель системи з нечітким контролером за допомогою клавіші «Запустить» в редакторі Xcos.

### 2.3 План експерименту моделювання систем з нечіткими контролерами в середовищі Scilab /Xcos/Flt

Експеримент моделювання автоматизованої моделі системи управління опаленням у «розумному» будинку буде здійснюватися за планом:

- встановлення інструментальних засобів для моделювання: Scilab та Fuzzy Logic Toolbox;
- побудова моделі за допомогою вбудованого графічного додатку Xcos;
- навчання нечіткого блоку за допомогою встановленого редактора FLS та задання значень кожному блоку;
- імітаційне моделювання за допомогою інструментального засобу Scilab;
- аналіз стійкості автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером.

### 2.4 Висновки

В даному розділі наведено основні поняття та визначення про моделювання систем з нечітким контролером. Наведено детальний опис процесу встановлення та структуру інструментального засобу Scilab. Детально описано встановлення та структуру додатків Xcos та Flt за допомогою яких здійснюють моделювання різних систем управління. Представлено по-етапний опис методики моделювання систем управління з нечітким контролером в середовищі Scilab/Xcos/Flt та план експерименту моделювання.

### 3 РОЗРОБКА ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МОДЕЛІ АВТОКОЛИВАНЬ В РЕЛЕЙНІЙ СИСТЕМІ УПРАВЛІННЯ ОПАЛЕННЯМ «РОЗУМНОГО» БУДИНКУ

#### 3.1 Розробка моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку

Розробка надійної та точної моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером, який реалізує оптимальну функцію управління є актуальною, але не вирішеною. Дана модель має головну задачу – це зменшити витрати енергії, при цьому не зменшити стійкість та якість. В ній виникає коливальний процес зміни стану об'єкту, що ускладнює визначення характеристик якості та стійкості, а також погіршує надійність та швидкодію. Тому створення такої моделі автоматизованої системи управління та аналіз її стійкості є важливою задачею.

##### 3.1.1 Загальна структура моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку

Розробимо модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з контролером. Для створення даної моделі за основу буде взято розроблену (д.т.н., професором Дубовим В. М. та к.т.н. Юхимчук М. С.) модель системи опалення у «розумному» будинку в якій зроблено опис реалізації моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером, але не реалізовано. Тому є зацікавленість реалізувати таку модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з контролером, який буде працювати за правилами нечіткого, використовуючи в даному дослідженні зроблений раніше опис моделі [76]. За основу візьмемо розроблену структуру системи управління з нечітким контролером, представлена на рисунку 3.1.

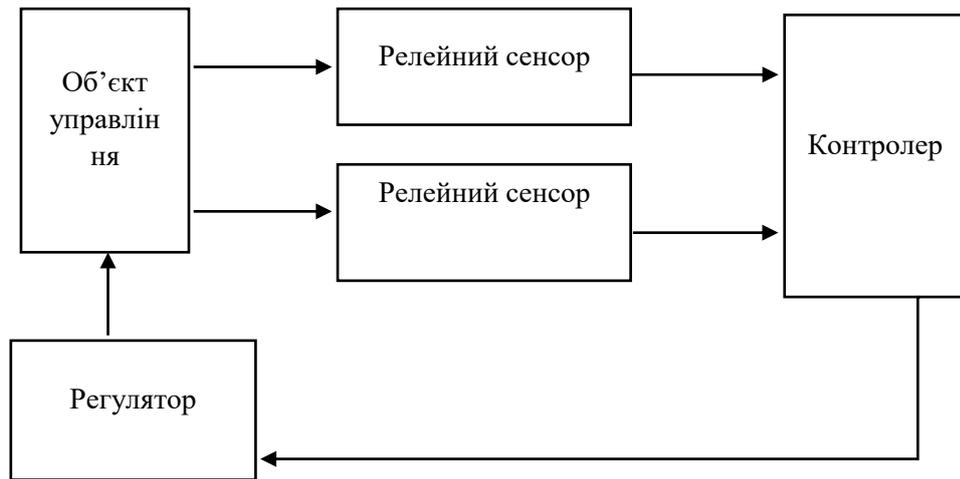


Рисунок 3.1 – Структура автоматизованої системи управління опалення у «розумному» будинку з контролером [76]

Об'єктом дослідження та моделювання візьмемо модель системи управління опалення у «розумному» будинку, яка вже була розроблена раніше, структурна схема, представлена на рисунку 3.2.

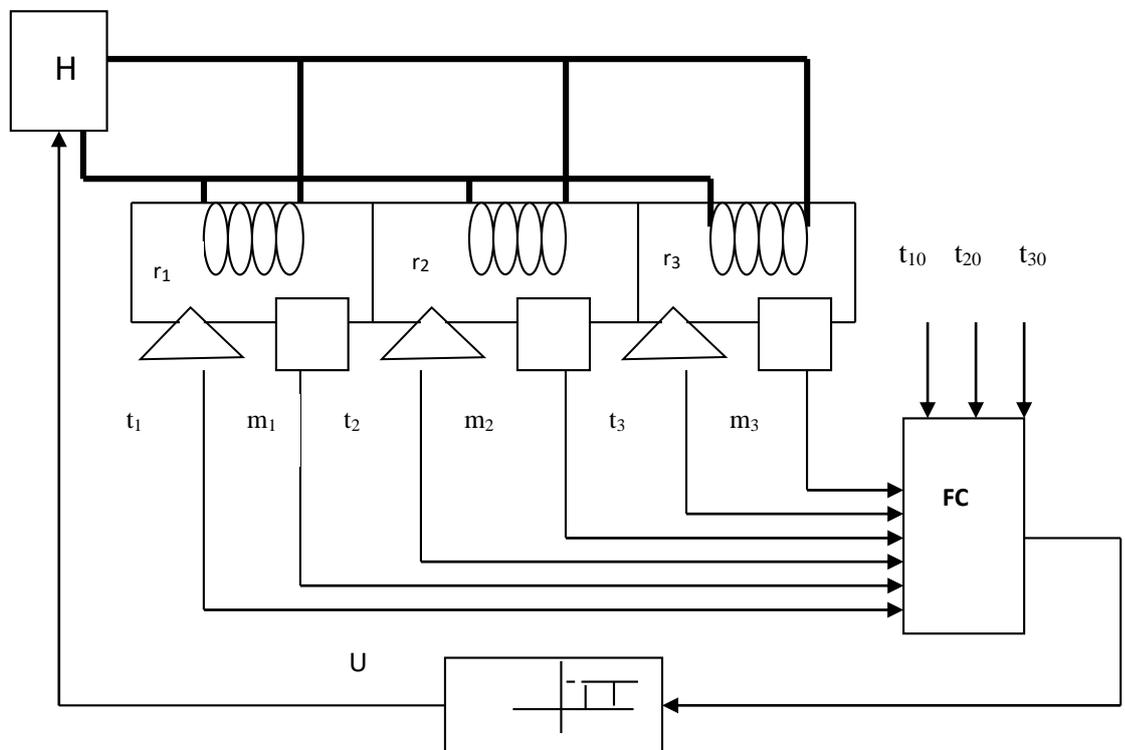


Рисунок 3.2 – Структурна схема системи управління опаленням [76],

де Н – джерело тепла (котел);

$r_1, r_2, r_3$  – приміщення опалювальні;  
 $t_{10}, t_{20}, t_{30}$  – задана температура в приміщенні;  
 $t_1, t_2, t_3$  – температура в приміщеннях;  
 $m_1, m_2, m_3$  – сигнали сенсорів руху;  
 FC – контролер.

В кожному приміщенні ( $r_1, r_2, r_3$ ) встановлено сенсор температури та рух, що фіксує присутність об'єкту, що рухається. Результати контролю та вимірювання обробляються контролером нечітким. Сигнал обробляється, коли відповідає рівень оптимальної температури та наявності об'єктів, що рухаються у відповідний час доби. При низькому рівні температури в приміщеннях включається нагрівач. Температура порівнюється з зазначеною оптимальною температурою, даний процес відбувається в реле з гістерезисом. Гістерезис необхідний для забезпечення стійкості роботи автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку. Наявність гістерезису надає процесу «нагрівання – охолодження» характеру коливального. Перехідний процес зміни температури буде спостерігатися під час рух людей між приміщеннями. Характеристика перехідних процесів залежить від налаштування параметрів контролера нечіткого та реле [76].

Представимо та детально опишемо кожен блок загальної структурної схеми моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку за основу якої взято вже розроблену структурну схему управління опаленням для однієї кімнати [77].

На загальній структурній схемі (рисунок 3.3) представлено: В – джерело вхідних даних, К – контролер, Н – нагрівач, Б – будинок,  $t_{10}, t_{20}, t_{30}$  – задана температура в приміщенні,  $m_1, m_2, m_3$  – сигнали сенсорів руху,  $y$  – бажана середня температура.

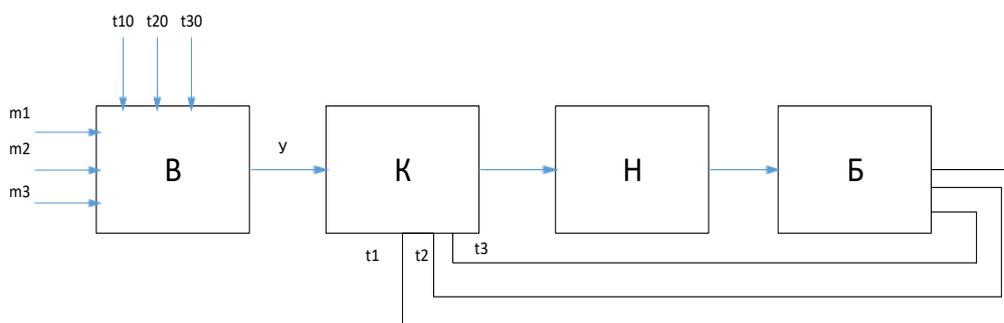


Рисунок 3.3 – Загальна структурна схема автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку

Блок джерела вхідних даних, завдяки якому подаються дані в систему, а саме:  $t_{10}$ ,  $t_{20}$ ,  $t_{30}$  – задані температури в приміщеннях,  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  – сигнали сенсорів руху, які визначають стан системи.

Контролер працює за алгоритмом управління функціями обчислення середньої оптимальної температури, відхилення та визначення моменту включення / виключення нагрівача та є аналогом нечіткого контролера та працює за ідентичним принципом.

### 3.1.2 Модель зміни стану автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку

Стан характеризує систему в будь який час. Система може приймати будь який стан, що можна характеризувати відповідними ймовірностями. За допомогою ймовірності можна здійснити опис моделі в системах наперед.

Найвідомішими та на даний час дуже використовуваними є марківські процеси [78]. Властивість марківських процесів полягає у тому, що ймовірність кожного стану системи в майбутньому залежить від стану системи в даний момент незалежно від того, як система до цього стану дійшла.

За допомогою ймовірнісного графу станів [79], марківського процесу реалізуємо модель зміни станів в автоматизованій системі управління опаленням у «розумному» будинку.

Матриця станів системи представлена в таблиці 3.1, яка представляє всі

можливі ймовірнісні стани зміни системи управління опаленням у «розумному» будинку. Наприклад, для стану 3 ( $S = 3$ ), значення стану сенсору руху  $m_1 = 0$  (людей немає в приміщенні),  $m_2 = 1$  (люди є в приміщенні),  $m_3 = 0$  (людей немає в приміщенні). Для стану 8 ( $S = 8$ ), значення стану сенсору руху  $m_1 = 1$  (люди є в приміщенні),  $m_2 = 1$  (люди є в приміщенні),  $m_3 = 1$  (люди є в приміщенні).

Таблиця 3.1 – Матриця станів системи

| S | $m_1$ | $m_2$ | $m_3$ |
|---|-------|-------|-------|
| 1 | 0     | 0     | 0     |
| 2 | 0     | 0     | 1     |
| 3 | 0     | 1     | 0     |
| 4 | 1     | 0     | 0     |
| 5 | 0     | 1     | 1     |
| 6 | 1     | 1     | 0     |
| 7 | 1     | 0     | 1     |
| 8 | 1     | 1     | 1     |

Для побудови моделі переходу станів системи потрібно взяти до уваги такі критерії, як час доби (Т) та можливі ймовірності переходів стану (S) приміщення, представимо це у вигляді таблиці 3.2. Ймовірність зміни стану (S) представимо за допомогою ймовірнісного графу, на графі найбільш ймовірними будемо вважати стани:

- ніч, жителі знаходяться в спальні (рисуно 3.4);
- ранок – знаходяться в кухні (рисуно 3.5);
- день – знаходиться в кабінеті (рисуно 3.6);
- вечором – в кабінеті (рисуно 3.7).

Таблиця 3.2 – Ймовірність зміни стану

| Час доби | Т | $S_{\text{пот}}$ | Стани |     |     |     |     |     |    |    |
|----------|---|------------------|-------|-----|-----|-----|-----|-----|----|----|
|          |   |                  | 1     | 2   | 3   | 4   | 5   | 6   | 7  | 8  |
| 1        | 2 | 3                | 4     | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10 | 11 |
| ніч      | 1 | 1                | 0.7   | 0   | 0.2 | 0.1 | 0   | 0   | 0  | 0  |
|          | 1 | 2                | 0.8   | 0.1 | 0   | 0   | 0.1 | 0   | 0  | 0  |
|          | 1 | 3                | 0.8   | 0   | 0.1 | 0   | 0   | 0.1 | 0  | 0  |

Продовження таблиці 3.2

| 1     | 2 | 3 | 4   | 5   | 6   | 7   | 8   | 9   | 10  | 11  |
|-------|---|---|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
|       | 1 | 4 | 0.8 | 0   | 0   | 0.1 | 0   | 0   | 0.1 | 0   |
|       | 1 | 5 | 0   | 0.5 | 0   | 0   | 0.1 | 0   | 0   | 0.4 |
|       | 1 | 6 | 0   | 0   | 0.6 | 0   | 0   | 0.1 | 0   | 0.3 |
|       | 1 | 7 | 0   | 0   | 0   | 0.7 | 0   | 0   | 0.1 | 0.2 |
|       | 1 | 8 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.6 | 0.1 | 0.1 | 0.2 |
| ранок | 2 | 1 | 0.6 | 0.2 | 0.1 | 0.1 | 0   | 0   | 0   | 0   |
|       | 2 | 2 | 0.7 | 0.1 | 0   | 0   | 0.2 | 0   | 0   | 0   |
|       | 2 | 3 | 0.1 | 0   | 0.3 | 0   | 0   | 0.6 | 0   | 0   |
|       | 2 | 4 | 0.3 | 0   | 0   | 0.4 | 0   | 0   | 0.3 | 0   |
|       | 2 | 5 | 0   | 0.5 | 0   | 0   | 0.1 | 0   | 0   | 0.4 |
|       | 2 | 6 | 0   | 0   | 0.3 | 0   | 0   | 0.2 | 0   | 0.5 |
|       | 2 | 7 | 0   | 0   | 0   | 0.4 | 0   | 0   | 0.5 | 0.1 |
|       | 2 | 8 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.5 | 0.1 | 0.3 | 0.1 |
| день  | 3 | 1 | 0.2 | 0.5 | 0.2 | 0.1 | 0   | 0   | 0   | 0   |
|       | 3 | 2 | 0.1 | 0.8 | 0   | 0   | 0.1 | 0   | 0   | 0   |
|       | 3 | 3 | 0.1 | 0   | 0.4 | 0   | 0.5 | 0   | 0   | 0   |
|       | 3 | 4 | 0.1 | 0   | 0   | 0.5 | 0   | 0.4 | 0   | 0   |
|       | 3 | 5 | 0   | 0.4 | 0   | 0   | 0.3 | 0   | 0   | 0.3 |
|       | 3 | 6 | 0   | 0   | 0.2 | 0   | 0   | 0.3 | 0   | 0.5 |
|       | 3 | 7 | 0   | 0   | 0   | 0.4 | 0   | 0   | 0.3 | 0.3 |
|       | 3 | 8 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.3 | 0.2 | 0.2 | 0.3 |
| вечір | 4 | 1 | 0.4 | 0.2 | 0.2 | 0.2 | 0   | 0   | 0   | 0   |
|       | 4 | 2 | 0.5 | 0.2 | 0   | 0.3 | 0   | 0   | 0   | 0   |
|       | 4 | 3 | 0.4 | 0   | 0.3 | 0   | 0   | 0.3 | 0   | 0   |
|       | 4 | 4 | 0.4 | 0   | 0   | 0.4 | 0   | 0   | 0.2 | 0   |
|       | 4 | 5 | 0   | 0.4 | 0   | 0   | 0.3 | 0   | 0   | 0.3 |
|       | 4 | 6 | 0   | 0   | 0.4 | 0   | 0.2 | 0   | 0   | 0.4 |
|       | 4 | 7 | 0   | 0   | 0   | 0.5 | 0   | 0   | 0.2 | 0.3 |
|       | 4 | 8 | 0   | 0   | 0   | 0   | 0.1 | 0.2 | 0.1 | 0.5 |

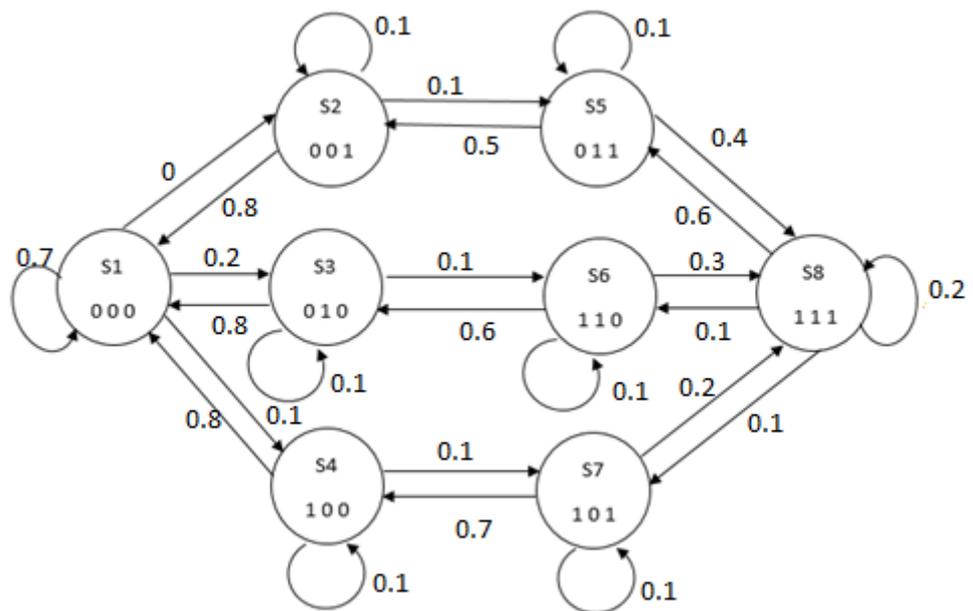


Рисунок 3.4 – Граф стану об'єкта при переходах стану системи вночі

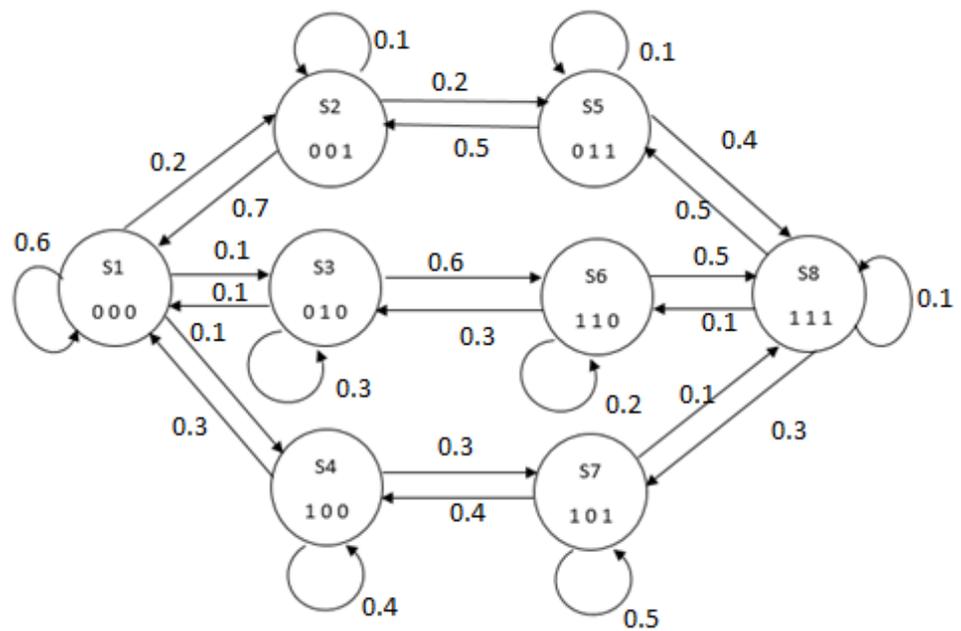


Рисунок 3.5 – Граф стану об'єкта при переходах стану системи вранці

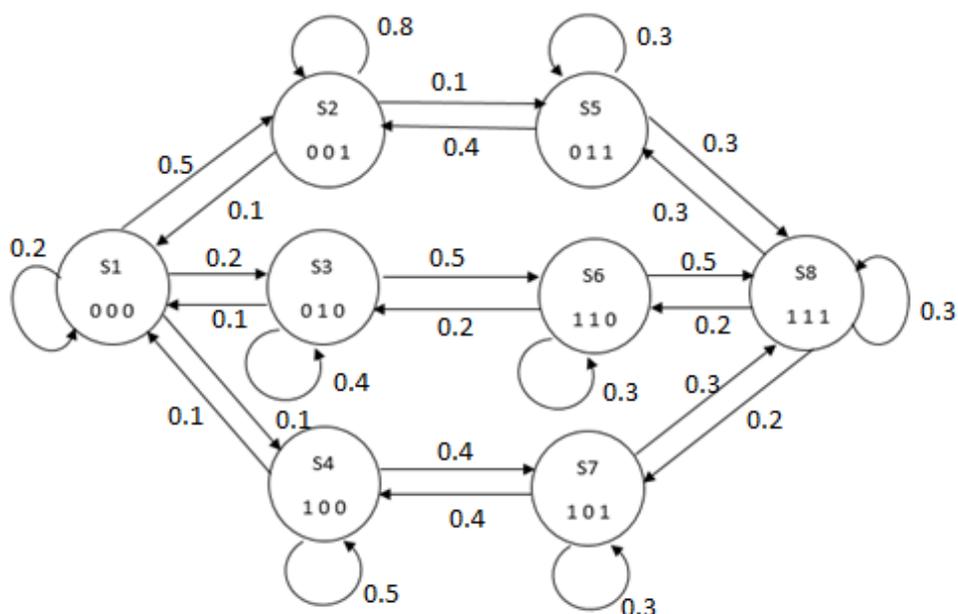


Рисунок 3.6 – Граф стану об'єкта при переходах стану системи вдень

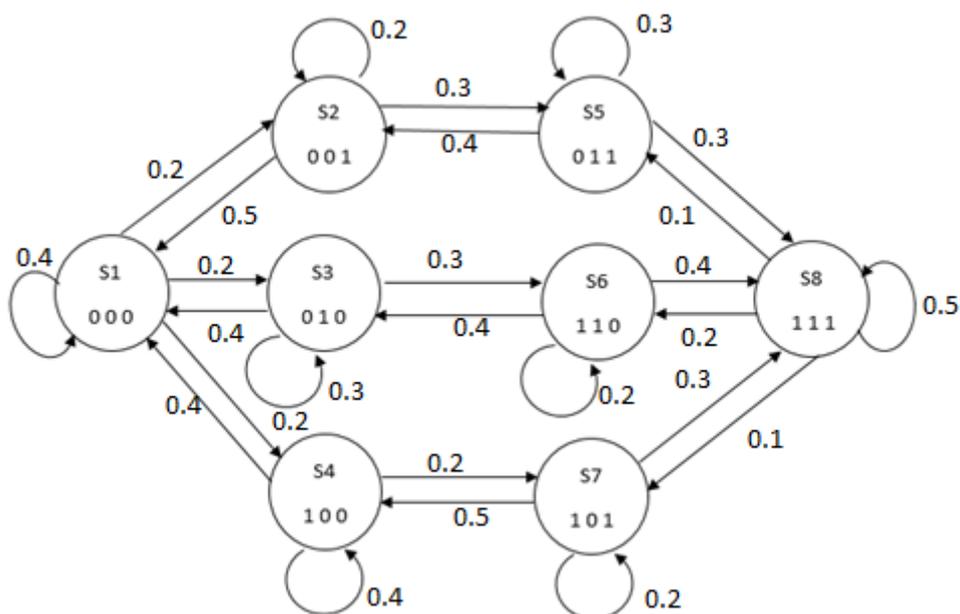


Рисунок 3.7 – Граф стану об'єкта при переходах стану системи ввечері

Отже, процес зміни стану переходу людини по будинку залежить від часу доби та де він знаходився перед тим, за допомогою таких даних можна побудувати ймовірність переходів, що було і реалізовано.

### 3.1.3 Модель нагрівання та охолодження приміщень в будинку

Процес зміни температури приміщення є результатом роботи декількох одночасних процесів, а саме:

- передача тепла від об'єкту нагрівання в повітря приміщення;
- акумулювання енергії тепла та підвищення температури в приміщенні;
- передача теплової енергії через стіни із приміщення, тобто це процес втрати тепла.

Зміна температури, представлена на рисунку 3.8, це є коливальний процес підтримки стану температури в певних границях [76].

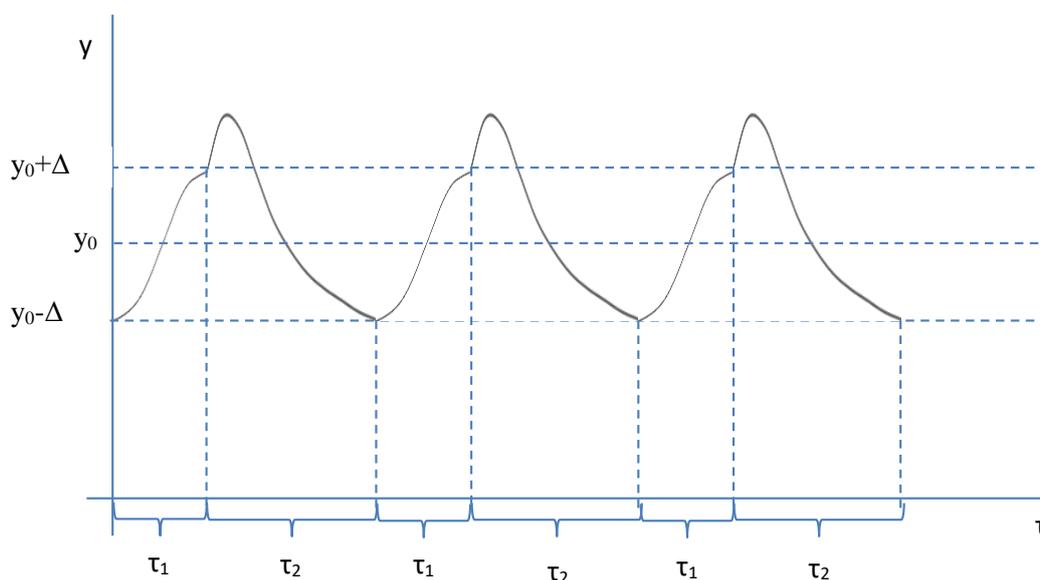


Рисунок 3.8 – Процес зміни температури

Коливання викликає інерційність об'єкту та гістерезисом. Ширина петлі гістерезису  $2\Delta$ , визначає амплітуду коливання, а інерційність – період  $T = \tau_1 + \tau_2$ , де  $\tau_1$  – період нагрівання,  $\tau_2$  – період охолодження.

Передаточна функція в режимі охолодження об'єкта, формула 3.1.

$$W_{t_0} = \frac{W_c}{K_S + W_c} \quad (3.1)$$

Звідки, формула 3.2.

$$L[t] = W_{t_0}(s) \cdot L[t_0], \quad (3.2)$$

де  $t_0$  – температура зовнішнього середовища;

$L$  – перетворення Лапласа.

Система передаточних функцій в режимі нагрівання (формула 3.3).

$$\begin{cases} W_{t_0} = \frac{W_c}{K_S + W_c + W_H} \\ W_{t_H} = \frac{W_H}{K_S + W_c + W_H} \end{cases} \quad (3.3)$$

Звідки, формула 3.4.

$$L[t] = W_{t_H}(s) \cdot L[t_H] - W_{t_0}(s) \cdot L[t_0], \quad (3.4)$$

де  $t_H$  – температура нагрівача.

Знайдемо значення передаточних функцій  $W_c$  та  $W_H$ .

Процес передачі тепла від елемента нагрівання, представлена моделлю 3.5-3.7.

$$\frac{dt_{cl}}{d\tau} = \lambda_H(t_H - t_{cl}) \quad (3.5)$$

або

$$\frac{dt_{cl}}{d\tau} + \lambda_H t_{cl} = \lambda_H t_H \quad (3.6)$$

звідки

$$W_H(s) = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_H} s + 1}, \quad (3.7)$$

де  $t_{ci}$  – температура в приміщенні, що знаходиться близько до нагрівача;

$\lambda_n$  – коефіцієнт передачі тепла елемента нагрівання.

Модель процесу передачі тепла через стіни, представлена формулами 3.8-3.10.

$$\frac{dt_{cl}}{d\tau} = \lambda_1(t_0 - t_{cl}) \quad (3.8)$$

або

$$\frac{dt_{cl}}{d\tau} + \lambda_1 t_{cl} = \lambda_1 t_0 \quad (3.9)$$

звідки

$$W_H(s) = \frac{1}{\frac{1}{\lambda_1}s + 1}, \quad (3.10)$$

де  $t'_{ci}$  – температура в ближніх стінах в зоні приміщенні;

$\lambda_i$  – коефіцієнт втрати тепла за рахунок передачі тепла в зовнішнє середовище.

Підставивши модель 3.5 та 3.10, отримаємо модель 3.11.

$$W_{t_0}(s) = \frac{1}{\frac{K}{\lambda_i}s^2 + Ks + 1} \quad (3.11)$$

Враховуючи передаточну функцію 3.3, отримаємо модель 3.12 в режимі охолодження у формі диференціального рівняння.

$$K \frac{d^2t}{d\tau^2} + K\lambda_1 \frac{dt}{d\tau} + \lambda_1 t = \lambda_1 t_0 \quad (3.12)$$

Аналогічно модель 3.13 для нагрівання.

$$\begin{cases} W_{t_0} = \frac{\lambda_1 s + \lambda_1 \lambda_H}{Ks^3 + K(\lambda_1 + \lambda_H)s^2 + (\lambda_1 + \lambda_H)s + 3\lambda_1 \lambda_H} \\ W_{t_H} = \frac{\lambda_H s + \lambda_1 \lambda_H}{Ks^3 + K(\lambda_1 + \lambda_H)s^2 + (\lambda_1 + \lambda_H)s + 3\lambda_1 \lambda_H} \end{cases} \quad (3.13)$$

Враховуючи передаточну функцію нагрівання 3.3, отримаємо 3.14.

$$K \frac{d^3 t}{d\tau^3} + K(\lambda_1 + \lambda_H) \frac{d^2 t}{d\tau^2} + (\lambda_1 + \lambda_H) \frac{dt}{d\tau} + 3\lambda_1 \lambda_H t = \lambda_H \frac{dt_0}{d\tau} - \lambda_1 \frac{dt_H}{d\tau} \quad (3.14)$$

На початку процесу моделювання з чітким контролером початкові умови нульові, спочатку виконується моделювання відповідно рівнянню 3.14 до того часу поки виконається умова 3.15.

$$t(\tau_1) = y_0 + \Delta \quad (3.15)$$

Дальше виконується моделювання відповідно рівнянню 3.14 до виконання умови 3.16.

$$t(\tau_2) = y_0 + \Delta \quad (3.16)$$

Початкові умови при цьому відповідають кінцевим умовам попереднього інтервалу, після чого моделювання виконується чергою відповідно моделі 3.14 та 3.16.

Початкові умови процесу моделювання моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з контролером задаються вектором, та відбувається процес нагрівання чи охолодження [80].

### 3.1.4 Імітаційна модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку

Імітаційне моделювання моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з контролером який є аналогом нечіткого контролера, який працює реалізується в системі Scilb/Xcos/Flt. Модель реалізована за допомогою інструментального засобу Scilb/Xcos представлена на рисунку 3.9.

Для побудови імітаційної моделі було розроблено бібліотеку блоків для моделювання автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з контролером, а саме: джерело вхідних даних, контролер, нагрівач, будинок та кімнати.

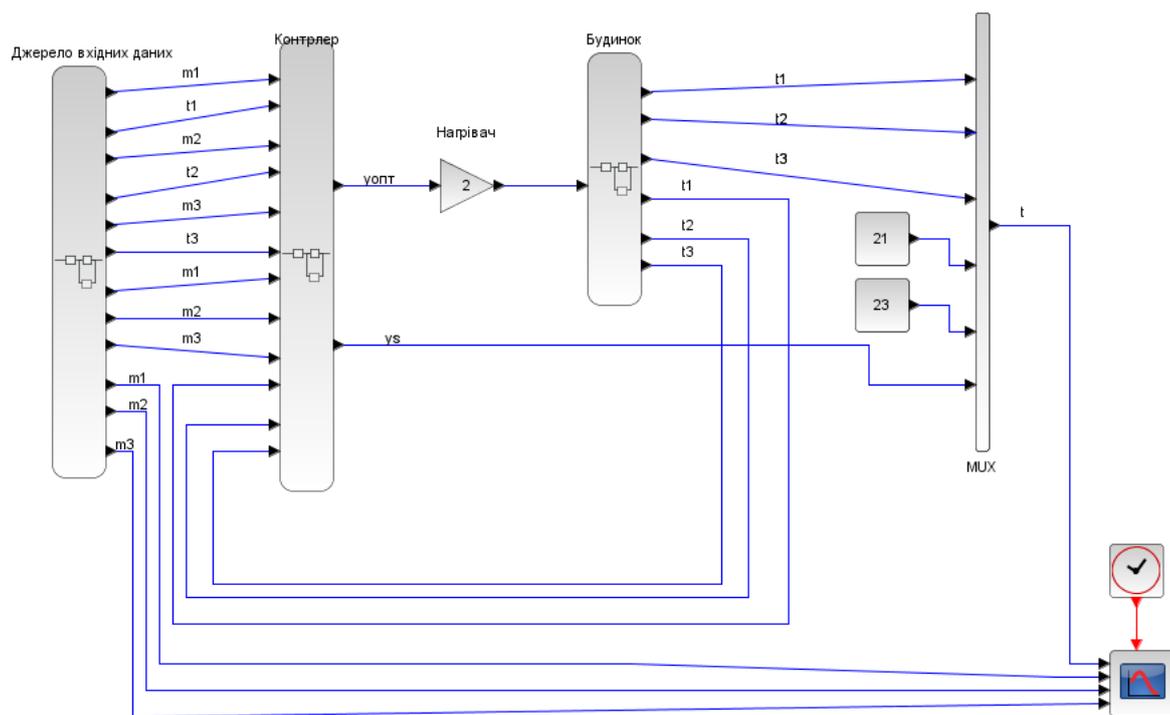


Рисунок 3.9 – Імітаційна модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку в системі Scilb/Xcos,

де  $t_1, t_2, t_3$  – задані температури в приміщеннях;

$m_1, m_2, m_3$  – сигнали сенсорів руху, які визначають стан системи.

$u_{opt}$  – бажана температура;

$y_s$  – середня температура;

$t$  – вихідна температуру.

Джерело вхідних даних, представлений на рисунку 3.10, що складається з елементів: SampleCLK, RAND\_m, Hystheresis та CONST\_m.

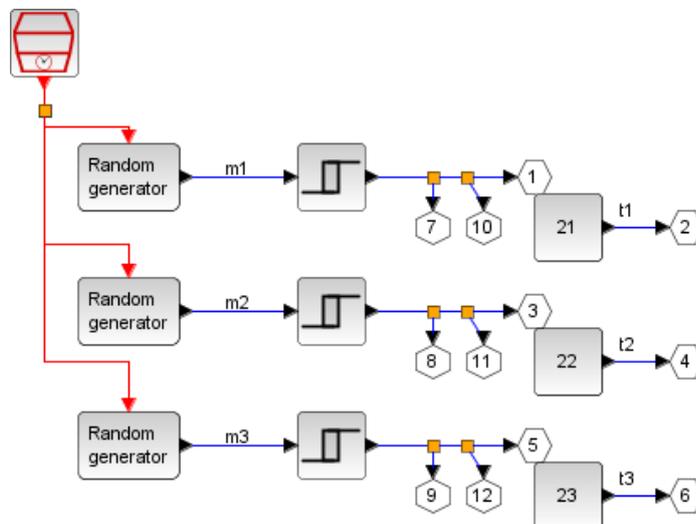


Рисунок 3.10 – Джерело вхідних даних

Блок SampleCLK [81] (рисунок 3.11) в схемі є синхронним. Синхронізм здійснюється за рахунок двох різних методів обчислення на етапі компіляції.

Перший спосіб ґрунтується на застосуванні годин, які безпосередньо пов'язані з лічильником і які активують блок вибору подій. Годинники працюють у відповідності з наступним правилом. Якщо всі блоки мають однаковий зсув часу, тоді частота годин є функція періоду, і зміщення годин одного цього зсуву. Якщо зміщення є різними, то частота ходу годинника це функція періоду і зміщення, і зміщення годин дорівнює нулю. Параметри блоку: Sample time (Час вибірки) = 5, Offset (Зсув) = 2 .



Рисунок 3.11 – Блок SampleCLK

Блок RAND\_m [82] (рисунок 3.12) використовується для отримання випадкових чисел, розподілених за нормальним або рівномірним законом.



Рисунок 3.12 – блок RAND\_m

Блок має один керуючий вхід і один регулярний вихід. В даній моделі автоматизованого управління опаленням у «розумному» будинку три блоки RAND\_m відповідають за  $m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  – сигнали сенсорів руху.

Параметри блоку, представимо у таблиці 3.3:

Datatype (тип вихідних даних):

- 1 — дійсні числа,
- 2 — комплексні числа.
- Flag (прапор):
- визначає тип закону розподілу:
- 0 — рівномірний,
- 1 — нормальний (гаусовий).
- Параметри A і B:
- для рівномірного розподілу:
- A задає мінімальне значення, а  $A + B$  — максимальне;
- для нормального розподілу:
- A відповідає математичному очікуванню, а B — середньоквадратичному відхиленню (СКО).

SEED:це числа, що використовуються для ініціалізації машинного генератора псевдовипадкових чисел. Перше значення застосовується до дійсної частини вихідного сигналу, друге — до уявної. Якщо два генератори мають однаковий параметр SEED, вони генеруватимуть ідентичні псевдовипадкові сигнали.

Таблиця 3.3 – Праметри блоку RAND\_ m

| Параметри | m1                | m2                | m3                |
|-----------|-------------------|-------------------|-------------------|
| Datatype  | 1                 | 1                 | 1                 |
| Flag      | 0                 | 0                 | 0                 |
| A         | 0                 | 0                 | 0                 |
| B         | 1                 | 1                 | 1                 |
| SEED      | [2113248,7560437] | [5119248,7560437] | [2698702,2569874] |

Hysteresis [83] (рисунок 3.13) здійснює перемикання виходу між двома константами. Блок реле дозволяє виводу перемикати між двома вказаними значеннями. Коли реле увімкнене, він залишається ввімкненим, поки вхід не опуститься нижче значення параметру «Точки виключення».

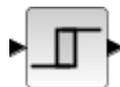


Рисунок 3.13 – Блок Hysteresis

Коли реле вимкнене, він залишається ввімкненим, поки вхід не перевищує значення параметра «Увімкнути точку». Блок приймає один вхід і генерує один вихід.

Параметри блоку представимо у таблиці 3.4:

– Switch on at (увімкнути при).

Параметр «Увімкнути точку» перетворюється на вхідний тип даних в автономному режимі.

Властивості: введіть «ves» розміру 1

– Switch off at (вимкнути на).

Параметр «Вимкнути точку» перетворюється на вхідний тип даних в автономному режимі, використовуючи округлі ближче та насиченість.

Властивості: введіть «ves» розміру 1

– Output when on (вихід при ввімкненні).

Вихід, коли реле включено.

Властивості: введіть «ves» розміру 1

- Output when off (виведення, коли вимкнено).

Вихід, коли реле вимкнено.

Властивості: введіть «вес» розміру 1

- Use zero crossing: yes (використовувати нульовий перехід: так).

Виберіть, щоб увімкнути детектування нульового перетину для виявлення точок включення та вимкнення.

Властивості: введіть «вес» розміру 1

Таблиця 3.4 – Параметри блоку Hysteresis

| Параметри         | Hysteresis1 | Hysteresis2 | Hysteresis3 |
|-------------------|-------------|-------------|-------------|
| switch on at      | 0.5         | 0.5         | 0.5         |
| switch off at     | 0.5         | 0.5         | 0.5         |
| output when on    | 1           | 1           | 1           |
| output when off   | 0           | 0           | 0           |
| use zero crossing | 1           | 1           | 1           |

CONST\_m [84] (рисунок 3.14) є генератором постійних значень. В даній моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку задаються постійні значення температури в кімнатах ( $t_{10} = 21$ ,  $t_{20} = 22$ ,  $t_{30} = 23$ ).



Рисунок 3.14 – Блок CONST\_m

Контролер працює за алгоритмом нечіткого котролера та є його аналогом, представлений на рисунку 3.15. Суть даного блоку полягає у тому, щоб автоматично визначити стан та температуру в будинку. Детальний опис контролера представлений в таблиці 3.3.

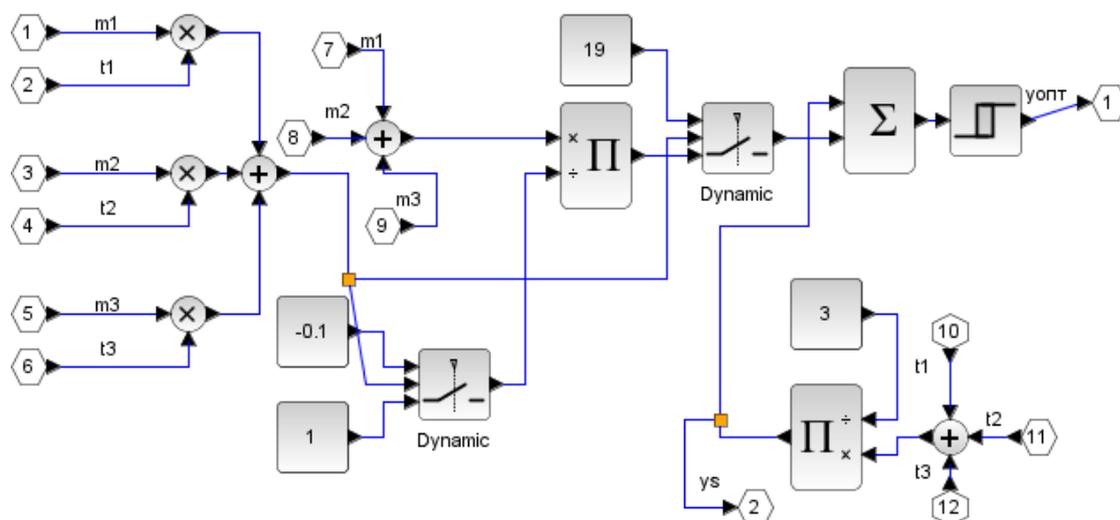


Рисунок 3.15 – Блок контролер

Даний блок складається з 12 входів та 2 виходів.

Входи 1-9 надходять з джерела вхідних даних та обраховується за формулою 3.17.

$$t_H = \frac{m_0 \cdot t_{10} + m_1 \cdot t_{20} + m_2 \cdot t_{30}}{m_0 + m_1 + m_2}, \quad (3.17)$$

де  $t_{10}$ ,  $t_{20}$ ,  $t_{30}$  – задані температури в приміщеннях;

$m_1$ ,  $m_2$ ,  $m_3$  – сигнали сенсорів руху.

Входи 10-12 надходять з будинку, а саме значення температури в кімнатах, а за допомогою контролера встановлюється їх середнє значення.

SWITCH2\_m [85] блок перемикання проходить через перший (верхній) вхід або третій (нижній) вхід на основі значення другого (середнього) входу. Перший і третій входи називаються входами даних. Другий вхід називається контролем. Ви вибираєте умови, за яких проходить перший вхід із критеріями для передачі першого вхідного параметра. Ви можете перевірити, чи контрольний ввід більше або дорівнює пороговій величині, або не нульове. Якщо контрольний ввід відповідає умовам, встановленим у критерії для передачі першого вхідного параметра, то перший вхід буде переданий. В іншому випадку третій вхід буде переданий.

Параметри блоку, представлення в таблиці 3.5:

– Datatype (1= real double 2=Complex) – Тип даних (1 = реальний подвійний 2 = складний).

– Pass first input if:  $u_2 \geq a$  – перенести перший ввід, якщо:  $u_2 \geq a$ .

Виберіть умови, за яких перший вхід буде передано. Ви можете перевірити, чи контрольний вхід більше або дорівнює пороговій величині, ніж порогове значення, або не нульове. Якщо контрольний ввід відповідає умовам, встановленим у цьому параметрі, то перший вхід буде переданий. В іншому випадку третій вхід буде переданий.

Властивості: введіть «вес» розміру 1.

– Threshold a (поріг a).

Призначте поріг перемикача, який визначає, який вхід передано на виході.

Властивості: введіть «вес» розміру 1.

– Use zero crossing: yes (використовувати нульовий перехід: так).

Виберіть, щоб увімкнути визначення перетину нуля.

Властивості: введіть «вес» розміру 1.

Таблиця 3.5 – Параметри блоку SWITCH2\_m

| Параметри                         | SWITCH2_m 1 | SWITCH2_m 2 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|
| Datatype                          | 1           | 1           |
| Pass first input if: $u_2 \geq a$ | 0           | 0           |
| Threshold a                       | 0           | 0           |
| Use zero crossing: ye             | 1           | 1           |

Нагрівач (рисунок 3.16) виконує процес нагрівання та підтримки температури використовуючи енергію теплову. В циклі нагрівання-охолодження під час охолодження тепла енергія втрачається, тобто передається за межі приміщення, але можна вважати, що середнє значення циклу витрачення складає 3.18. В даному блоці регулюється потужність подачі газу.

$$P_{av} = \eta t_H \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} \quad (3.18)$$



Рисунок 3.16 – Блок нагрівач

Даний блок має один вхід на який надходить значення 1 – вмикати або 0 – вимикати нагрівач з контролера.

Будинок, даний блок містить у собі кімнати для охолодження чи нагрівання, представлено на рисунку 3.17.

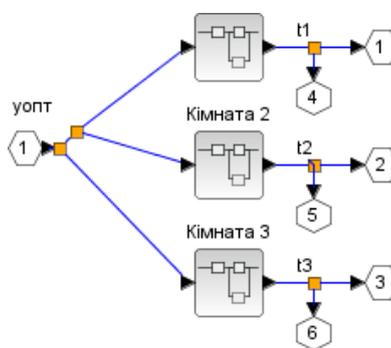


Рисунок 3.17 – Блок будинок

Кожна кімната в будинку представляє собою сукупність блоків (рисунок 3.18) за допомогою яких відбувається процес охолодження або нагрівання, який описано вище в даному розділі.

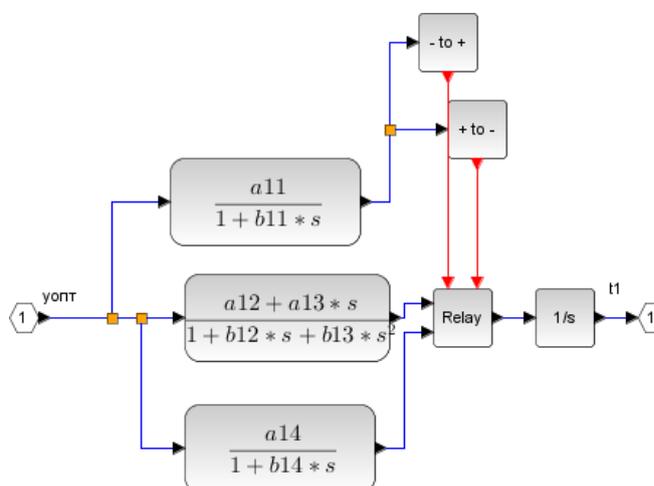


Рисунок 3.18 – Блок кімната

NEGTOPOS\_f генерує вихідну подію, коли унікальний вхід перетинає нуль з позитивним нахилом, представлено на рисунку 3.19.

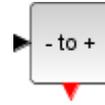


Рисунок 3.19 – Блок NEGTOPOS\_f

RELAY\_f (рисунок 3.20) блок спрямовує один з регулярних входів на унікальний регулярний випуск. Вибір вхідного каналу повинен, спочатку здійснюється за допомогою параметру «початкового під'єднання входів». Потім, кожного разу, коли вхідний потік надходить до і-го порту події вводу, і-й черговий вхідний порт перенаправляється до звичайного виходу.

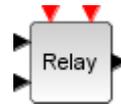


Рисунок 3.20 – Блок RELAY\_f,

Параметри блоку:

- number of inputs (кількість входів) = 2;
- initial connected input (початковий підключений вхід) = 1.

Нагрівання та охолодження описується блоками представленими на рисунку 3.21.

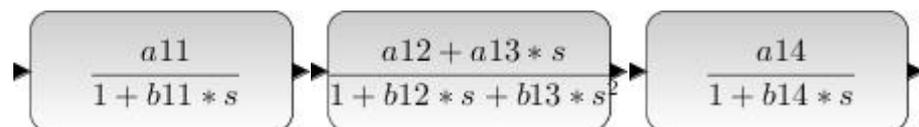


Рисунок 3.21 – Блоки нагрівання та охолодження

Параметр даних блоків встановлюються за допомогою меню «Моделирование-Установить контекст».

Параметри для трьох кімнат представлено у таблиці 3.6.

Таблиця 3.6 – Параметри блоків охолодження та нагрівання

| Кімната | Параметри  |
|---------|--|
| №1      | $a_{11}=1; b_{11}=0.2; a_{12}=3; a_{13}=1; b_{12}=1;$<br>$b_{13}=1; a_{14}=1; b_{14}=12$ |
| №2      | $a_{21}=1; b_{21}=0.2; a_{22}=3; a_{23}=1; b_{22}=1;$<br>$b_{23}=1; a_{24}=1; b_{24}=12$ |
| №3      | $a_{31}=1; b_{31}=0.2; a_{32}=3; a_{33}=1; b_{32}=1;$<br>$b_{33}=1; a_{34}=1; b_{34}=12$ |

Цей блок INTEGRAL\_f [86] є інтегратором (рисунок 3.22). Вихід є інтегралом входу. Параметри блоку: початки стан (initial state) = 21.

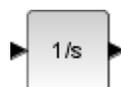


Рисунок 3.22 – Блок INTEGRAL\_f

Розроблена система та виконання моделювання моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером дає можливість сформулювати задачу оптимізації параметрів системи управління з цілю мінімізації витрат енергії:

– критерій оптимізації:  $\min [P_{av}] = \min \left[ \eta t_H \frac{\tau_1}{\tau_1 + \tau_2} \right];$

– обмеження: 
$$\begin{cases} t_{\min} - t_{\min} \leq \Delta_{\max} \\ P_{\min} \leq \eta t_H \leq P_{\max}; \\ t_{\min} \leq y_0 \leq t_{\max} \end{cases}$$

– параметри оптимізації:  $\{\lambda_H, \Delta, t_H\}$ .

Результати моделювання автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з контролером представлено на рисунку 3.23.

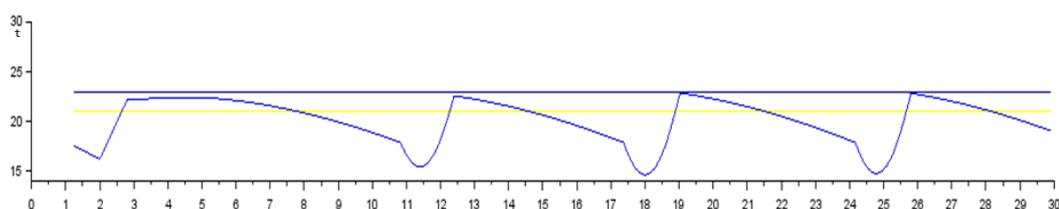


Рисунок 3.23 – Результати моделювання автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з контролером

Моделювання автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з контролером модель має вигляд 3.19.

$$\left\{ \begin{array}{l} K_i \frac{d^2 t}{d\tau^2} + K_i \lambda_{i1} \frac{dt}{d\tau} + \lambda_{i1} t = \lambda_{i1} t_0, \quad i = 1, 2, 3 \\ K \frac{d^3 t}{d\tau^3} + K(\lambda_1 + \lambda_H) \frac{d^2 t}{d\tau^2} + (\lambda_1 + \lambda_H) \frac{dt}{d\tau} + 3\lambda_1 \lambda_H t = \lambda_H \frac{dt_0}{d\tau} - \lambda_1 \frac{dt_H}{d\tau}, \quad i = 1, 2, 3 \\ y_{\text{опт}} = F(m_1, m_2, m_3, t_{10}, t_{20}, t_{30}) \\ y = F_{\text{ав}}(t_{10}, t_{20}, t_{30}) \\ y(\tau_1) = y_{\text{опт}} + \Delta \\ y(\tau_2) = y_{\text{опт}} - \Delta \end{array} \right. \quad (3.19)$$

Модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з контролером розраховує оптимальне середнє значення температури в будинку та порівнює її явною температурою. Результат поступає на реле включення/виключення нагрівача.

Тестування моделі автоматизованої ситеми управління опаленням у «розумному» будинку проведемо з різними параметрами.

Здіснимо моделювання при цьому змінивши значення псевдовипадкових чисел генератора Rand\_m, а саме параметра SEED, результат представимо на рисунку 3.24: [2129208,7661537]; [5119248,7560437]; [2368702,2569874].

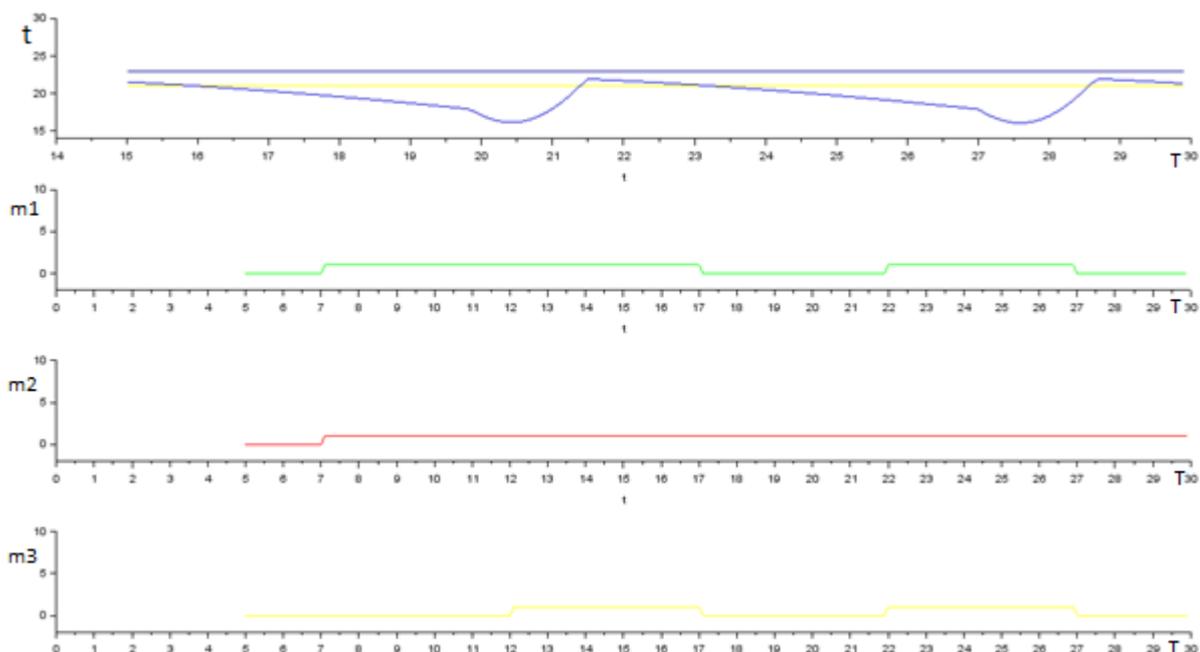


Рисунок 3.24 – Моделювання при зміні значень генератора псевдовипадкових значень

Отже, на даному рисунку 3.25 ми на першому графіку результати моделювання автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку та інші три графіки відображають зміну стану системи моделювання, а саме ці псевдовипадкові значення. Проаналізувавши дані графіки, можна зробити висновок, що система є стійкою та адекватною.

Здійснимо моделювання при цьому змінивши параметри початкових значень температури та при виході змінимо значення обмеження температури (рисунок 3.26). Початкові значення температури: 18, 20, 22; обмеження: 15, 25.

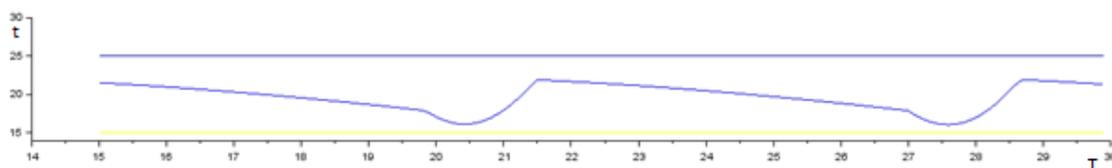


Рисунок 3.25 – Моделювання при зміні параметрів температури та обмежень

Результат моделювання показав адекватні результати, це означає, що наша модель працює адекватно. Адекватність характеризується відображенням графіка, який плавно змінює свою температуру та не виходить за вказані межі.

Змінимо параметри блоків охолодження та нагрівання, зміни представлені в таблиці 3.7 та проведемо моделювання.

Таблиця 3.7 – Параметри блоків охолодження та нагрівання

| Кімната | Параметри  |
|---------|--|
| №1      | $11=1; b11=0.2; a12=3; a13=1; b12=1; b13=1; a14=1; b14=12$ |
| №2      | $21=1; b21=0.4; a22=3; a23=1; b22=1; b23=1; a24=1; b24=12$ |
| №3      | $31=1; b31=0.2; a32=3; a33=1; b32=1; b33=1; a34=1; b34=8$  |

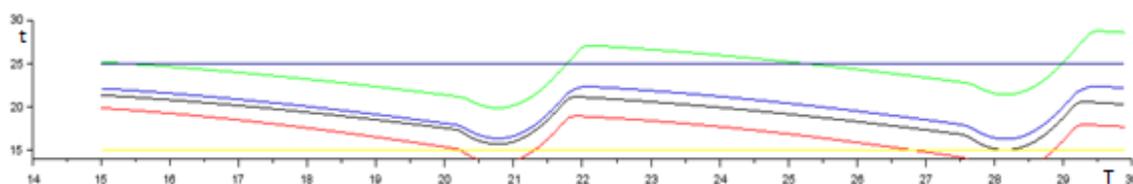


Рисунок 3.26 – Моделювання при зміні значень блоків нагрівання та охолодження

Отже, на даному рисунку 3.26 представлено стійку модель системи управління опаленням у «розумному» будинку на якій представлено зміну температури в кожній кімнаті (червона, синя, зелена лінія) та загальну температуру (голуба лінія).

### 3.2 Дослідження стійкості релейної системи управління опаленням у «розумному» будинку

Стійкість релейних систем [87] автоматизованого управління, полягає у тому, щоб не допустити для регульованої величини відхилення від заданого значення на яке впливає зовнішні відхилення. Для дослідження стійкості існує

дуже багато різних методів, але в даному випадку здійснимо порівняння стійкості моделей автоматизованої систем управління опаленням у «розумному» будинку за аналітичним методом, що взято за основу та імітаційним моделюванням з нечітким контролером.

Аналітичне моделювання [82] полягає у тому, щоб за допомогою різних математичних формул та правил, отримати залежність функціональну. Даний метод моделювання застосовується у тому випадку, коли математична модель представлена за допомогою рівнянь. Використовуючи даний підхід моделювання виникають складності у тому, що результати отримати інколи неможливо, що в майбутньому обмежує їх сферу використання. Але крім цього даний метод має переваги, а саме: результати мають велику цінність, тому що їх можна використовувати в наступних дослідженнях, та вони є універсальними, їх точність можна перевірити іншими методами.

Імітаційне моделювання [89] представляє алгоритм роботи системи в часі, тобто представляє функціонування системи. Даний метод використовується у тому випадку, коли потрібно детально описати реальну систему при цьому, щоб це було не дорого та можна було провести багато експериментів для порівняння, потрібно змінювати поведінку системи в часі. Даний метод застосовується в різних сферах, за допомогою різних систем імітації. Переваги даного методу те, що це є дешево та можна в реальному часі дослідити на перевірити різної складності системи при цьому навіть задавати значення, які потрібно.

Використовуючи тільки аналітичний метод моделювання для реальних систем, як у нашому випадку, хоча це можливо є не достатньо точним. Тому, імітаційне моделювання маючи велику кількість переваг буде далі розвиватися у напрямку створення змін технологій інформаційних та використовуватися для експериментів.

В результаті дослідження стійкості моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку використовуючи методи аналітичного та імітаційного моделювання було отримано графічні зображення зміни температури, що представлені на рисунку 3.27 та 3.28.

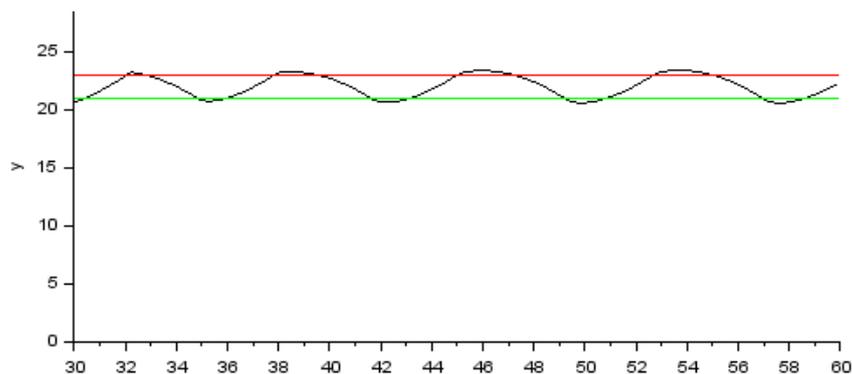


Рисунок 3.27 – Результати аналітичного моделювання автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з чітким контролером

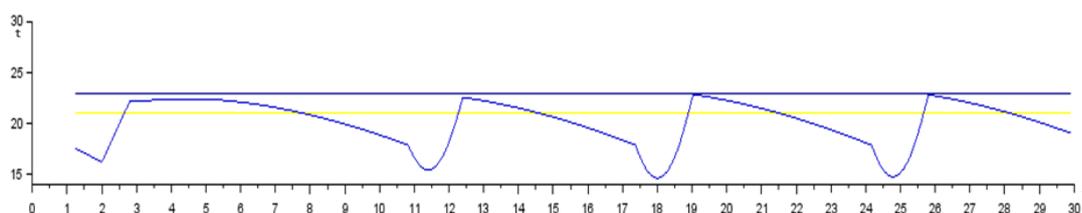


Рисунок 3.28 – Результати імітаційного моделювання автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером

Отже, за допомогою імітаційного моделювання моделі автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером, яке дає можливість змінювати та навчати систему для роботи в реальному часі при цьому характеризуючи її процес, показало, що система є стійка, тобто під час роботи використовує мінімальну кількість енергії та мінімальні відхилення та забезпечує збільшення ефективності енергетичної системи. Аналізуючи графічні результату, що представлені, можна зробити висновок, що система імітаційного моделювання є стійкою тому, що вона є в стані рівноваги та повертається до цього стану після припинення дії впливів зовнішніх.

### 3.3 Оцінка ефективності імітаційного моделювання

Ефективність моделювання полягає у тому, щоб досягти високих результатів з мінімальними витратами. Для цього проведемо реальний експеримент, а саме виміряємо температуру повітря в приміщенні в момент нагрівання нагрівачом (котел) приміщення (включення котла) та в момент виключення. Комфортний мікроклімат в приміщенні залежить від температури повітря. Відповідно науковим розрахункам температура повітря в приміщеннях повинна бути в межах від +21 до +25 градусів по Цельсію [90].

Проведемо даний експеримент та заміряємо температуру повітря в декількох кімнатах в момент включення та виключення нагрівача, а саме: кухня, кімната, спальня та результати запишемо в таблицю 3.8. Температура нагрівання води у системі зазначена 40°C. Отримані результати експерименту, представимо їх у вигляді графіка (рисунок 3.29) за допомогою якого проаналізуємо зміну температури повітря та стійкість системи управління опаленням у будинку.

Таблиця 3.8 – Результати експерименту

| Реальний час включення нагрівача | Реальний час виключення нагрівача | Температура повітря °C |       |              |       |              |       |
|----------------------------------|-----------------------------------|------------------------|-------|--------------|-------|--------------|-------|
|                                  |                                   | Кухня (t1)             |       | Кімната (t2) |       | Спальня (t3) |       |
|                                  |                                   | Вкл.                   | Викл. | Вкл.         | Викл. | Вкл.         | Викл. |
| 10.05                            | 10.06                             | 21                     | 22    | 22.4         | 22.5  | 20           | 20    |
| 10.11                            | 10.12                             | 21                     | 22    | 22.4         | 22.6  | 20           | 20.2  |
| 10.17                            | 10.18                             | 21.5                   | 22    | 22.5         | 22.8  | 20.4         | 20.5  |
| 10.23                            | 10.24                             | 21.7                   | 22.1  | 22.7         | 22.8  | 20.5         | 20.6  |
| 10.29                            | 10.30                             | 22.5                   | 22.6  | 22.8         | 22.9  | 20.9         | 20.9  |
| 10.35                            | 10.36                             | 22.5                   | 22.7  | 22.9         | 23.2  | 20.9         | 21    |
| 10.41                            | 10.42                             | 22.7                   | 22.8  | 23           | 23.3  | 21.4         | 21.5  |
| 10.47                            | 10.48                             | 22.8                   | 23    | 23.2         | 23.3  | 22           | 22.1  |
| 10.53                            | 10.54                             | 22.9                   | 23    | 23.3         | 23.5  | 22.3         | 22.3  |
| 10.59                            | 11.00                             | 22.8                   | 23    | 23.5         | 23.8  | 22.5         | 22.6  |
| 11.05                            | 11.06                             | 22.9                   | 23    | 23.8         | 24    | 23.7         | 23.8  |
| 11.11                            | 11.12                             | 22.9                   | 23    | 23.9         | 24    | 24           | 24    |
| 11.17                            | 11.18                             | 22.9                   | 23    | 23.9         | 24.3  | 24.3         | 24.3  |
| 11.23                            | 11.24                             | 23                     | 23    | 24           | 24.3  | 24.5         | 24.5  |

|       |       |    |      |    |      |      |      |
|-------|-------|----|------|----|------|------|------|
| 11.29 | 11.30 | 23 | 23.1 | 24 | 24.3 | 24.7 | 24.8 |
|-------|-------|----|------|----|------|------|------|

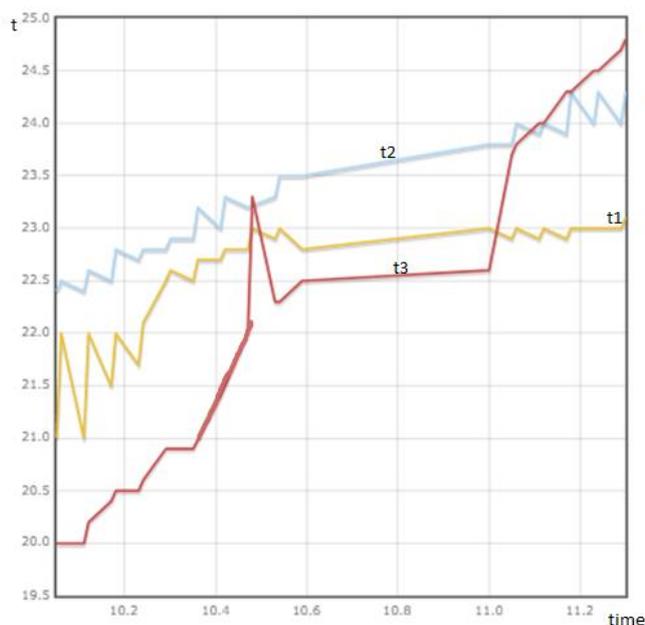


Рисунок 3.29 – Результати експерименту

Отже, проаналізувавши результати імітаційного моделювання та реального експерименту, можна зробити висновок, що створена імітаційна модель системи управління опаленням є більш ефективною та стійкою. Система є стійкою тому, що зміна температури відбувається плавно, бо швидкі перепади температури негативно впливають на комфортність життя людям.

Перевагою імітаційного моделювання є візуалізація результатів моделювання, взаємодія моделювання з часом, який можна контролювати, зміна вхідних параметрів та представлення результатів у різному вигляді.

Проведене тестування показало, що імітаційне моделювання автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з контролером, який працює за принципом нечіткого відповідає вимогам індивідуального та технічного завдань та є ефективним у використанні.

### 3.4 Висновки

Розроблена автоматизована система управління опаленням у «розумному» будинку з контролером та досліджено її стійкість. Дана модель системи управління повинна бути стійкою та зменшити витрати енергії.

Система управління розроблена за допомогою інструментального засобу Scilab/Xcos/Flt, що є безкоштовною у використанні та з зрозумілим інтерфейсом.

Розроблена автоматизована система управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером працює ефективно, тому що використовує блок нечіткого управління, що дозволяє здійснити навчання системи при різних стандартних та не стандартних умовах.

Проведено реальний експеримент зміни температури в приміщенні та представлено результати, які нам допомогли оцінити ефективність імітаційного моделювання. В результаті, дана автоматизована система управління опаленням у «розумному» будинку з контролером, який є аналогом нечіткого котролера та є ефективним варіантом розробки поставленої задачі.

## 4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

### 4.1 Комерційний та технологічний аудит науково-технічної розробки

Метою цього розділу є проведення комплексного технологічного та комерційного аудиту розробки мобільного додатку для автоматизації логістичних процесів. Такий аудит дозволяє всебічно оцінити інноваційність запропонованого рішення, його технічну життєздатність, потенціал масштабування та економічну доцільність впровадження у реальних умовах експлуатації. Особливістю представленого програмного комплексу є здатність істотно підвищувати ефективність і швидкість обробки даних щодо маршрутів, доставок та транспортних ресурсів, забезпечуючи оперативне планування рейсів, оптимізацію витрат і підвищення продуктивності транспортних компаній. При цьому зберігається висока точність розрахунків і природність взаємодії користувача з додатком, що робить його інтуїтивно зрозумілим, функціональним і зручним у повсякденному використанні. Такий підхід є новаторським у сфері цифрових рішень для автоматизованого управління логістикою та може стати конкурентною перевагою для підприємств, які впроваджують сучасні ІТ-технології у свою діяльність.

В якості аналогів на ринку можна розглядати програмні рішення для управління транспортними та логістичними процесами, наприклад Soft4Trans, орієнтовна вартість якого складає 350 доларів США на користувача на рік або приблизно 14 800 гривень на рік.

Для проведення комерційного та технологічного аудиту до оцінювання залучають не менше трьох незалежних експертів. Рекомендується оцінювати науково-технічний рівень розробки та її комерційний потенціал за п'ятибальною системою, застосовуючи 12 критерій у відповідності із табл. 5.1.

Таблиця 4.1 – Рекомендовані критерії оцінювання комерційного потенціалу розробки та їх можлива бальна оцінка

| Бали (за 5-ти бальною шкалою)    |  |   |   |   |  |
|----------------------------------|--|---|---|---|--|
| Критерій                         | 0  | 1   | 2   | 3   | 4  |
| Технічна здійсненність концепції |  |   |   |   |  |
| 1                                | Достовірність концепції не підтверджена                                | Концепція підтверджена експертними висновками                         | Концепція підтверджена розрахунками                             | Концепція перевірена на практиці                                      | Перевірено роботоздатність продукту в реальних умовах                  |
| 2                                | Багато аналогів на малому ринку  | Мало аналогів на малому ринку   | Кілька аналогів на великому ринку                               | Один аналог на великому ринку   | Продукт не має аналогів на великому ринку                              |
| Ринкові переваги                 |  |   |   |   |  |
| 3                                | Ціна продукту значно вища за ціни аналогів                             | Ціна продукту дещо вища за ціни аналогів                              | Ціна продукту приблизно дорівнює цінам аналогів                 | Ціна продукту дещо нижче за ціни аналогів                             | Ціна продукту значно нижче за ціни аналогів                            |
| 4                                | Технічні та споживчі властивості продукту значно гірші, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту трохи гірші, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту на рівні аналогів     | Технічні та споживчі властивості продукту трохи кращі, ніж в аналогів | Технічні та споживчі властивості продукту значно кращі, ніж в аналогів |
| 5                                | Експлуатаційні витрати значно вищі, ніж в аналогів                     | Експлуатаційні витрати дещо вищі, ніж в аналогів                      | Експлуатаційні витрати на рівні експлуатаційних витрат аналогів | Експлуатаційні витрати трохи нижчі, ніж в аналогів                    | Експлуатаційні витрати значно нижчі, ніж в аналогів                    |
| Ринкові перспективи              |  |   |   |   |  |
| 6                                | Ринок малий і не має позитивної динаміки                               | Ринок малий, але має позитивну динаміку                               | Середній ринок з позитивною динамікою                           | Великий стабільний ринок  | Великий ринок з позитивною динамікою                                   |

|                           |   |  |   |   |   |
|---------------------------|---|--|---|---|---|
| 7                         | Активна конкуренція великих компаній  | Активна конкуренція  | Помірна конкуренція   | Незначна конкуренція  | Конкурентів немає   |
| Практика на здійсненність |   |  |   |   |   |
| 8                         | Відсутні фахівці як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї  | Необхідно наймати фахівців або витратити значні кошти та час на навчання наявних фахівців  | Необхідне незначне навчання фахівців та збільшення їх штату   | Необхідне незначне навчання фахівців  | Є фахівці з питань як з технічної, так і з комерційної реалізації ідеї              |
| 9                         | Потрібні значні фінансові ресурси, які відсутні. Джерела фінансування ідеї відсутні   | Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування відсутні   | Потрібні значні фінансові ресурси. Джерела фінансування є   | Потрібні незначні фінансові ресурси. Джерела фінансування є                               | Не потребує додаткового фінансування  |
| 10                        | Необхідна розробка нових матеріалів   | Потрібні матеріали, що використовуються у військово-промисловому комплексі   | Потрібні дорогі матеріали   | Потрібні досяжні та дешеві матеріали  | Всі матеріали для реалізації ідеї відомі та давно використовуються у виробництві    |
| 11                        | Термін реалізації ідеї більший за 10 років  | Термін реалізації ідеї більший за 5 років. Термін окупності інвестицій більше 10-ти років  | Термін реалізації ідеї від 3-х до 5-ти років. Термін окупності інвестицій більше 5-ти років                       | Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій від 3-х до 5-ти років | Термін реалізації ідеї менше 3-х років. Термін окупності інвестицій менше 3-х років |
| 12                        | Необхідна розробка регламентних документів та отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту | Необхідно отримання великої кількості дозвільних документів на виробництво та реалізацію продукту, що вимагає значних коштів та часу | Процедура отримання дозвільних документів для виробництва та реалізації продукту вимагає незначних коштів та часу | Необхідно тільки повідомлення відповідним органам про виробництво та реалізацію продукту  | Відсутні будь-які регламентні обмеження на виробництво та реалізацію продукту       |

|  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|
|  |  |  |  |  |  |
|--|--|--|--|--|--|

Усі дані по кожному параметру занесено в таблиці 4.2

Експертами було обрано Дубового В. М., Ковалюка О.О. та Ковтуна В.В., оскільки вони є висококваліфікованими викладачами ВНТУ та водночас керівниками магістерських кваліфікаційних робіт. Їхній фаховий досвід, наукові здобутки та практична компетентність у відповідних галузях забезпечують об'єктивну, професійну й обґрунтовану експертизу результатів дослідження.

Таблиця 4.2 – Результати оцінювання комерційного потенціалу розробки

| Критерії оцінювання                          | ПІБ експертів            |               |              |
|--|--------------------------|---------------|--------------|
|  | Дубовой В.М.             | Ковалюка О.О. | Ковтуна В.В. |
|  | Бали                     |               |              |
| Технічна здійсненність концепції             | 4                        | 4             | 4            |
| Наявність аналогів на ринку                  | 3                        | 3             | 4            |
| Цінова політика                              | 4                        | 4             | 4            |
| Технічні та споживчі властивості виробу      | 4                        | 3             | 4            |
| Експлуатаційні витрати                       | 4                        | 4             | 3            |
| Ринок збуту                                  | 4                        | 3             | 4            |
| Конкурентоспроможність                       | 3                        | 4             | 3            |
| Фахівці з технічної і комерційної реалізації | 4                        | 3             | 3            |
| Фінансування                                 | 4                        | 4             | 3            |
| Матеріально-технічна база                    | 3                        | 3             | 3            |
| Термін реалізації ідеї                       | 4                        | 4             | 3            |
| Супровідна документація                      | 4                        | 3             | 3            |
| Сума   | 45                       | 42            | 41           |
| Середньоарифметична сума балів               | $(45+42+41) / 3 = 42,67$ |               |              |

За даними таблиці 4.2 можна зробити висновок щодо рівня комерційного потенціалу даної розробки. Для цього доцільно скористатись рекомендаціями, наведеними в таблиці 4.3.

| Середньоарифметична сума балів, розрахована на основі висновків експертів | Рівень комерційного потенціалу розробки |
|---|---|
| 0-10  | Низький                                 |
| 11-20   | Нижче середнього                        |
| 21-30   | Середній                                |
| 31-40   | Вище середнього                         |
| 41-48   | Високий                                 |

Як свідчать результати оцінювання, комерційний потенціал нового програмного продукту є високим. Це зумовлено підвищенням рівня безпеки ІКС завдяки інтеграції адаптованих методів управління ризиками інформаційної безпеки. Такий підхід дозволяє визначати оптимальні стратегії оцінки ризиків для підприємств у межах функціонування розробленої комп'ютеризованої системи моніторингу безпеки об'єктів.

## 4.2 Прогнозування витрат на виконання науково-дослідної (дослідно-конструкторської) роботи

4.2.1 Основна заробітна плата розробників, яка розраховується за формулою:

$$Z_o = \frac{M}{T_p} \cdot t \quad (4.1)$$

де  $M$  – місячний посадовий оклад конкретного розробника (дослідника), грн.;

$T_p$  – число робочих днів за місяць, 23 днів;

$t$  – число днів роботи розробника (дослідника).

Результати розрахунків зведемо до таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 — Основна заробітна плата розробників

| Найменування посади     | Місячний посадовий оклад, грн. | Оплата за робочий день, грн. | Число днів роботи | Витрати на заробітну плату, грн. |
|-------------------------|--------------------------------|------------------------------|-------------------|----------------------------------|
| Керівник проекту        | 25000,00                       | 1 000,00                     | 5                 | 6 000,00                         |
| Програміст              | 40000,00                       | 2150,00                      | 25                | 53 750,00                        |
| UX / UI дизайнер        | 20000,00                       | 1 000,00                     | 25                | 25000,00                         |
| Системний адміністратор | 20000,00                       | 1 000,00                     | 25                | 25000,00                         |
| Всього                  |                                |                              |                   | 109750,00                        |

Так як в даному випадку розробляється програмний продукт, то розробник виступає одночасно і основним розробником, і тестувальником розроблюваного програмного продукту.

4.2.2 Додаткова заробітна плата розробників, які брати участь в розробці обладнання/програмного продукту.

Додаткову заробітну плату прийнято розраховувати як 12 % від основної заробітної плати розробників та робітників:

$$Z_d = Z_o \cdot 12 \% / 100 \% \quad (4.2)$$

$$Z_d = (109750,00 \cdot 12 \% / 100 \%) = 13170,00 \text{ (грн.)}$$

4.2.3 Нарахування на заробітну плату розробників.

Згідно діючого законодавства нарахування на заробітну плату складають 22 % від суми основної та додаткової заробітної плати.

$$H_3 = (Z_0 + Z_d) \cdot 22 \% / 100\% \quad (4.3)$$

$$H_3 = (109750,00 + 13170,00) \cdot 22 \% / 100 \% = 27042,40 \text{ (грн.)}$$

4.2.4 Оскільки для розроблювального пристрою не потрібно витратити матеріали та комплектуючі, то витрати на матеріали і комплектуючі дорівнюють нулю.

4.2.5 Амортизація обладнання, яке використовувалось для проведення розробки.

Амортизація обладнання, що використовувалось для розробки в спрощеному вигляді розраховується за формулою:

$$A = \frac{Ц}{Tв} \cdot \frac{t_{вик}}{12} \text{ [грн.]} \quad (4.4)$$

де Ц – балансова вартість обладнання, грн.;

T – термін корисного використання обладнання згідно податкового законодавства, років;

$t_{вик}$  – термін використання під час розробки, місяців.

Розрахуємо, для прикладу, амортизаційні витрати на ноутбук балансова вартість якого становить 44000 грн., термін його корисного використання згідно податкового законодавства – 2 роки, а термін його фактичного використання – 2 міс.

$$A_{обл} = \frac{44000}{2} \times \frac{2}{12} = 3666,66 \text{ грн.}$$

Аналогічно визначаємо амортизаційні витрати на інше обладнання та приміщення. Розрахунки заносимо до таблиці 4.5. Так як вартість ліцензійної операційної системи та спеціалізованих ліцензійних нематеріальних ресурсів є

меншою за 20 000 грн, такий нематеріальний актив не підлягає амортизації,  
 $V_{нем.ак.} = 6100$  грн.

Таблиця 4.5 – Амортизаційні відрахування на матеріальні та нематеріальні ресурси ДЛЯ розробників

| Найменування обладнання            | Балансова вартість, грн. | Строк корисного використання, років | Термін використання обладнання, місяців | Амортизаційні відрахування, грн. |
|------------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|---|----------------------------------|
| Комп'ютер та комп'ютерна периферія | 44 000                   | 2                                   | 2                                       | 3666,66                          |
| Офісне обладнання (меблі)          | 50 000                   | 4                                   | 2                                       | 2083,33                          |
| Приміщення                         | 1 600 000                | 20                                  | 2                                       | 13 333,33                        |
| Всього                             |                          |                                     |   | 19083,82                         |

4.2.6 Тарифи на електроенергію для побутових споживачів (промислових підприємств) відрізняються від тарифів на електроенергію для населення. При цьому тарифи на розподіл електроенергії у різних постачальників (енергорозподільних компаній), будуть різними. Крім того, розмір тарифу залежить від класу напруги (1-й або 2-й клас). Тарифи на розподіл електроенергії для всіх енергорозподільних компаній встановлює Національна комісія з регулювання енергетики і комунальних послуг (НКРЕКП). Витрати на силову електроенергію розраховуються за формулою:

$$V_e = V \cdot P \cdot \Phi \cdot K_{\Pi}, \quad (4.5)$$

де  $V$  – вартість 1 кВт-години електроенергії для 1 класу підприємства з ПДВ в 2025 році для Вінницької області за даними Енера-Вінниця,  $V = 12,69$  грн./кВт;

$P$  – встановлена потужність обладнання, кВт.  $P = 0,3$  кВт;

$\Phi$  – фактична кількість годин роботи обладнання, годин;

$K_{\Pi}$  – коефіцієнт використання потужності,  $K_{\Pi} = 0,9$ ;

$$V_e = 0,9 \cdot 0,3 \cdot 8 \cdot 50 \cdot 14 = 1512 \text{ (грн.)}$$

#### 4.2.7 Інші витрати та загальновиробничі витрати.

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками. Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуються як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$I_e = (3_o + 3_p) \cdot \frac{H_{ib}}{100\%}, \quad (4.6)$$

де  $H_{ib}$  – норма нарахування за статтею «Інші витрати».

$$I_e = 109750,00 * 78\% / 100\% = 85605,00 \text{ (грн.)}$$

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін. Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуються як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників:

$$H_{нзв} = (3_o + 3_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.7)$$

де  $H_{нзв}$  – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати».

$$H_{нзв} = 109750,00 * 135 \% / 100 \% = 148162,50 \text{ (грн.)}$$

#### 4.2.9 Витрати на проведення науково-дослідної роботи.

Сума всіх попередніх статей витрат дає загальні витрати на проведення науково-дослідної роботи:

$$B_{заг} = 109750,00 + 13170,00 + 27042,40 + 19083,82 + 6100,00 + 1512,00 + 85605,00 + 148162,50 = 410425,32 \text{ грн.}$$

4.2.11 Розрахунок загальних витрат на науково-дослідну (науково-технічну) роботу та оформлення її результатів.

Загальні витрати на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховуються за формулою:

$$ЗВ = \frac{B_{заг}}{\eta} \text{ (грн)}, \quad (4.8)$$

де  $\eta$  – коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи.

Так, якщо науково-технічна розробка знаходиться на стадії: науково-дослідних робіт, то  $\eta=0,1$ ; технічного проектування, то  $\eta=0,2$ ; розробки конструкторської документації, то  $\eta=0,3$ ; розробки технологій, то  $\eta=0,4$ ; розробки дослідного зразка, то  $\eta=0,5$ ; розробки промислового зразка, то  $\eta=0,7$ ; впровадження, то  $\eta=0,9$ . Оберемо  $\eta = 0,5$ , так як розробка, на даний момент, знаходиться на стадії дослідного зразка:

$$ЗВ = 410425,32 / 0,5 = 205212,66 \text{ грн.}$$

#### 4.3 Розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором

В ринкових умовах узагальнювальним позитивним результатом, що його може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження результатів цієї чи іншої науково-технічної розробки, є збільшення у потенційного інвестора величини чистого прибутку. Саме зростання чистого прибутку забезпечить потенційному інвестору надходження додаткових коштів, дозволить покращити фінансові результати його діяльності, підвищить конкурентоспроможність та може позитивно вплинути на ухвалення рішення щодо комерціалізації цієї розробки.

Для того, щоб розрахувати можливе зростання чистого прибутку у потенційного інвестора від можливого впровадження науково-технічної розробки необхідно:

а) вказати, з якого часу можуть бути впроваджені результати науково-технічної розробки;

б) зазначити, протягом скількох років після впровадження цієї науково-технічної розробки очікуються основні позитивні результати для потенційного інвестора (наприклад, протягом 3-х років після її впровадження);

в) кількісно оцінити величину існуючого та майбутнього попиту на цю або аналогічні чи подібні науково-технічні розробки та назвати основних суб'єктів (зацікавлених осіб) цього попиту;

г) визначити ціну реалізації на ринку науково-технічних розробок з аналогічними чи подібними функціями.

При розрахунку економічної ефективності потрібно обов'язково враховувати зміну вартості грошей у часі, оскільки від вкладення інвестицій до отримання прибутку минає чимало часу. При оцінюванні ефективності інноваційних проектів передбачається розрахунок таких важливих показників:

— абсолютного економічного ефекту (чистого дисконтованого доходу);

- внутрішньої економічної дохідності (внутрішньої норми дохідності);
- терміну окупності (дисконтованого терміну окупності).

Аналізуючи напрямки проведення науково-технічних розробок, розрахунок економічної ефективності науково-технічної розробки за її можливої комерціалізації потенційним інвестором можна об'єднати, враховуючи визначені ситуації з відповідними умовами.

4.3.1 Розробка чи суттєве вдосконалення програмного засобу (програмного забезпечення, програмного продукту) для використання масовим споживачем.

В цьому випадку майбутній економічний ефект буде формуватися на основі таких даних:

$$\Delta\Pi_i = (\pm\Delta\Pi_0 \cdot N + \Pi_0 \cdot \Delta N)_i \cdot \lambda \cdot \rho \cdot \left(1 - \frac{\vartheta}{100}\right), \quad (4.9)$$

де  $\pm\Delta\Pi_0$  – зміна вартості програмного продукту (зростання чи зниження) від впровадження результатів науково-технічної розробки в аналізовані періоди часу;

$N$  – кількість споживачів які використовували аналогічний продукт у році до впровадження результатів нової науково-технічної розробки;

$\Pi_0$  – основний оціночний показник, який визначає діяльність підприємства у даному році після впровадження результатів наукової розробки,  $\Pi_0 = \Pi_0 \pm \Delta\Pi_0$ ;

$\Pi_0$  – вартість програмного продукту у році до впровадження результатів розробки;

$\Delta N$  – збільшення кількості споживачів продукту, в аналізовані періоди часу, від покращення його певних характеристик;

$\lambda$  – коефіцієнт, який враховує сплату податку на додану вартість. Ставка податку на додану вартість дорівнює 20%, а коефіцієнт  $\lambda = 0,8333$ .

$\rho$  – коефіцієнт, який враховує рентабельність продукту;

$\vartheta$  – ставка податку на прибуток, у 2025 році  $\vartheta = 18\%$ .

Припустимо, що при прогнозованій ціні 5600 грн. за одиницю виробу, термін збільшення прибутку складе 3 роки. Після завершення розробки і її вдосконалення, можна буде підняти її ціну на 400 грн. Кількість одиниць реалізованої продукції також збільшиться: протягом першого року – на 13000 шт., протягом другого року – на 12000 шт., протягом третього року на 11000 шт. До моменту впровадження результатів наукової розробки реалізації продукту не було:

$$\Delta\Pi_1 = (0 \cdot 5500 + (5500 + 500) \cdot 13000) \cdot 0,8333 \cdot 0,26 \cdot (1 - 0,18) = 1385400 \text{ грн.}$$

$$\Delta\Pi_2 = (0 \cdot 5500 + (5500 + 500) \cdot (13000 + 12000)) \cdot 0,8333 \cdot 0,26 \cdot (1 - 0,18) = 26601000 \text{ грн}$$

$$\Delta\Pi_3 = (0 \cdot 5500 + (5500 + 500) \cdot (13000 + 12000 + 11000)) \cdot 0,8333 \cdot 0,26 \cdot (1 - 0,18) = 38257000 \text{ грн.}$$

Отже, комерційний ефект від реалізації результатів розробки за три роки складе 78712000, 00 грн.

4.3.2 Розрахунок ефективності вкладених інвестицій та періоду їх окупності.

Розраховуємо приведену вартість збільшення всіх чистих прибутків  $ПП$ , що їх може отримати потенційний інвестор від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки:

$$ПП = \sum_{t=1}^T \frac{\Delta\Pi_t}{(1 + \tau)^t}, \quad (4.10)$$

де  $\Delta\Pi_t$  – збільшення чистого прибутку у кожному із років, протягом яких виявляються результати виконаної та впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, грн;

$T$  – період часу, протягом якою виявляються результати впровадженої науково-дослідної (науково-технічної) роботи, роки;

$\tau$  – ставка дисконтування, за яку можна взяти щорічний прогнозований рівень інфляції в країні,  $\tau = 0,05 \dots 0,15$ ;

$t$  – період часу (в роках).

Збільшення прибутку ми отримаємо, починаючи з першого року:

$$\text{ПП} = (1385400,00/(1+0,1)^1) + (26601000,00/(1+0,1)^2) + (38257000,00/(1+0,1)^3) = 1259454,55 + 21983471,07 + 28744850,49 = 51\,987\,776,11 \text{ грн.}$$

Далі розраховують величину початкових інвестицій  $PV$ , які потенційний інвестор має вкласти для впровадження і комерціалізації науково-технічної розробки. Для цього можна використати формулу:

$$PV = k_{инв} * ЗВ, \quad (4.11)$$

де  $k_{инв}$  – коефіцієнт, що враховує витрати інвестора на впровадження науково-технічної розробки та її комерціалізацію, це можуть бути витрати на підготовку приміщень, розробку технологій, навчання персоналу, маркетингові заходи тощо; зазвичай  $k_{инв} = 2 \dots 5$ , але може бути і більшим;

$ЗВ$  – загальні витрати на проведення науково-технічної розробки та оформлення її результатів, грн.

$$PV = 3 \cdot 205212,66 = 615637,98 \text{ грн.}$$

Тоді абсолютний економічний ефект  $E_{абс}$  або чистий приведений дохід ( $NPV$ , *Net Present Value*) для потенційного інвестора від можливого впровадження та комерціалізації науково-технічної розробки становитиме:

$$E_{абс} = \text{ПП} - PV, \quad (4.12)$$

$$E_{абс} = 51\,987\,776,11 - 615637,98 = 51\,372\,138,13 \text{ грн}$$

Оскільки  $E_{abc} > 0$  то вкладання коштів на виконання та впровадження результатів даної науково-дослідної (науково-технічної) роботи може бути доцільним.

Для остаточного прийняття рішення з цього питання необхідно розрахувати внутрішню економічну дохідність або показник внутрішньої норми дохідності (*IRR, Internal Rate of Return*) вкладених інвестицій та порівняти її з так званою бар'єрною ставкою дисконтування, яка визначає ту мінімальну внутрішню економічну дохідність, нижче якої інвестиції в будь-яку науково-технічну розробку вкладати буде економічно недоцільно.

Розрахуємо відносну (щорічну) ефективність вкладених в наукову розробку інвестицій  $E_{\epsilon}$ . Для цього використаємо формулу:

$$E_{\epsilon} = T_{жс} \sqrt[3]{1 + \frac{E_{abc}}{PV}} - 1, \quad (4.13)$$

$T_{жс}$  – життєвий цикл наукової розробки, роки.

$$E_{\epsilon} = \sqrt[3]{(1 + 51372138,13 / 615637,98) - 1} = 3,002$$

Визначимо мінімальну ставку дисконтування, яка у загальному вигляді визначається за формулою:

$$\tau = d + f, \quad (4.14)$$

де  $d$  – середньозважена ставка за депозитними операціями в комерційних банках; в 2025 році в Україні  $d = (0,09 \dots 0,15)$ ;

$f$  – показник, що характеризує ризикованість вкладень; зазвичай, величина  $f = (0,05...0,5)$ .

$$\tau_{\min} = 0,14 + 0,05 = 0,19$$

Так як  $E_b > \tau_{\min}$ , то інвестор може бути зацікавлений у фінансуванні даної наукової розробки.

Розрахуємо термін окупності вкладених у реалізацію наукового проекту інвестицій за формулою:

$$T_{ок} = \frac{1}{E_g}, \quad (4.15)$$

$$T_{ок} = 1 / 3,002 = 0,33 \text{ р.}$$

Оскільки  $T_{ок} < 3$ -х років, а саме термін окупності рівний 0,36 роки, то фінансування даної наукової розробки є доцільним.

Висновки до розділу: економічна частина даної роботи містить розрахунок витрат на розробку нового програмного продукту, сума яких складає 790 342,70 гривень. Було спрогнозовано орієнтовану величину витрат по кожній з статей витрат. Також розраховано чистий прибуток, який може отримати виробник від реалізації нового технічного рішення, розраховано період окупності витрат для інвестора та економічний ефект при використанні даної розробки. В результаті аналізу розрахунків можна зробити висновок, що розроблений програмний продукт за ціною дешевший за аналог і є висококонкурентоспроможним. Період окупності складе близько 0,56 роки.

## ВИСНОВКИ

В роботі проведений аналіз проблеми дослідження системи управління з елементами штучного інтелекту. Була розглянута суть технічної проблеми автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з контролером, який працює за принципом нечіткого.

Проведено аналіз та порівняння існуючих методів та інструментальних засобів для проведення аналізу стійкості систем управління, який показав, що такого типу задача ще не була досліджена та вирішена, а тому і потрібно розробити ефективну імітаційну модель при цьому використовуючи нечіткий контролер для системи управління опаленням.

Виконано постановку задачі дослідження, виділено основні вимоги та фактори, які впливають на аналіз стійкості системи управління, проведено імітаційне моделювання системи управління з нечітким контролером, що порівнюється з аналітичним моделюванням системи управління з чітким контролером. Розроблено та досліджено стійкість автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером за допомогою інструментального засобу Scilab.

Розроблена імітаційна модель для дослідження стійкості автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким контролером. Тестування показало стійкість роботи моделі та ефективність, при цьому зменшилися витрати енергії.

## ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

1. Штучний інтелект: історія виникнення та перспективи розвитку, 2017. Режим доступу до ресурсу: , вільний. – Загол. З екрану. – Мова укр.
2. Nils J. Nilsson *The Quest for Artificial Intelligence* / Nils J. Nilsson. – Cambridge University Press, 2009. – 578 с.
3. Міщенко Н. Штучний інтелект – виклик часу / Н. Міщенко. – Науковий світ, 2006. – 12-13 с.
4. Зайченко Ю. П. Нечеткие модели и методы в интеллектуальных системах / Ю. П. Зайченко. – К. : Слово, 2008. – 344 с.
5. Інформаційний сайт нечіткої логіки [Електронний ресурс], 2011. – Режим доступу до ресурса: , вільний. – Загол. з екрана. – Мова укр.
6. Тимощук П. В. Штучні нейронні мережі / П. В. Тимощук. – Львів : Видавництво Львівської Політехніки, 2011. – 444 с.
7. Кононюк А. Ю. Нейронні мережі і генетичні алгоритми / А. Ю. Кононюк. – К. : «Корнійчук», 2008. – 446 с.
8. Yoshua Bengio *Deep learning* / Yoshua Bengio. – Hardcover, 2016. – 716p.
9. Ciresan D. Multi-column deep neural networks for image classification / D. Ciresan, U. Meier, J. Schmidhuber // *Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*. – 2012. – 3642-3649 p.
10. Калініна І. О. Дослідження алгоритмів навчання нейронних мереж у задачах прогнозування / І. О. Калініна // *Наукові праці / Комп'ютерні мережі*, Випуск 104. Том 117, 2009 – 12 с.
11. *Software engineering – Product quality – Part 1: Quality mode: ISO/IEC 9126–1:2001*. – Geneva: International Organization for Standardization, 2012. – 34 p.
12. Kecman V. *Learning and Soft Computing: Support Vector Machines, Neural Networks, and Fuzzy Logic Models*. – MIT Press, 2005. – 617 p.
13. Pedrycz W., Gomide F. *Fuzzy Systems Engineering: Toward Human-Centric Computing*. – Wiley-IEEE Press, 2007. – 460 p.
14. van der Aalst W. *Process Mining: Data Science in Action*. – Springer, 2016. – 467 p.

15. Mann William C. The state of the science / Mann William C. – Freemont Boulevard, Mississauga. : Smart technology for aging, disability and independence, 2005. – 379 p.
16. Nacer, B. Marhic, L. Delahoche, «Smart Home Smart HEMS Smart heating: An overview of the latest products and trends», Systems and Control (ICSC) 2017 6th International Conference on, pp. 90-95, 2017, ISSN 2379-0067
17. Смирнов І. Г. Транспортна логістика / І. Г. Смирнов, Т. В. Косарева. – К. : Центр учбової літ., 2008. – 224 с.
18. Сорока К. О. Теорія автоматичного керування. Навчальний посібник / К. О. Сорока – Харків : ХНАМГ, 2006 – 187 с.
19. Папушин Ю. Л. Основи автоматизації гірничого виробництва / Ю. Л. Папушин, В. С. Білецький. – Донецьк : Східний видавничий дім, 2007. – 168 с.
20. Ghahramani Z. Probabilistic machine learning and artificial intelligence. – Nature, 2015. – Vol. 521. – P. 452–459.
21. Жерневий Ю. В. Імітаційне моделювання систем масового обслуговування: Практикум / Ю. В. Жерневий, Б. І. Копитко, Р. О. Гринів. – Львів : Видавничий центр ЛНУ імені Івана Франка, 2007. – 307 с.
22. Scilab [Електронний ресурс], 2017. – Режим доступу до ресурсу: , вільний. – Загол. з екрану. – Мова англ.
23. Стрембіцький П., Юхимчук М., Лесько В., Перепелиця С. (2025). Централізований моніторинг інфраструктури з використанням системи THANOS: перспективи та виклики. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 347(1),417-422. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2025-347-57>.
24. Перепелиця С., Юхимчук М., Лесько В. Моделювання кіберфізичних систем управління в умовах негативних зовнішніх факторів / С. Перепелиця, М. Юхимчук, В. Лесько // Measuring and Computing Devices in Technological Processes. — 2025. — № 1. — С. 7–12. — Режим доступу: <https://doi.org/10.31891/2219-9365-2025-81-125>.

25. Юхимчук М., С., Стрембіцький П.П., Перепелиця С.С. Використання віддаленого моніторингу для підвищення якості та ефективності у виробничому середовищі. Herald of Khmelnytskyi National University. Technical Sciences, 335(3(1), 330-334. <https://doi.org/10.31891/2307-5732-2024-335-3-44>
26. Gladkikh V. Fuzzy logic in Scilab. Part 1 – Mamdani [Електронний ресурс], 2010. – Режим доступу до ресурсу: <https://burubaxair.wordpress.com>, вільний. – Загол. з екрану. – Мова англ.
27. Khasteh S. New S-norm Operators for Active Learning Method / S. Khasteh, M. Khademi. – I. : Tehran, 2015. – 11 p.
28. T-norm and S-norm [Електронний ресурс], 2007. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.nicodubois.com/bois5.2.htm>, вільний. – Загол. з екрану. – Мова англ.
29. Fuzzy Logic Toolbox [Електронний ресурс], 2017. – Режим доступу до ресурсу: <https://edoras.sdsu.edu>, вільний. – Загол. з екрану. – Мова англ.
30. Ястребова Г. С. Імітаційне моделювання: посібник / Г. С. Ястребова. – Харків: ХНЕУ, 2014. – 105 с.
31. Dubovoi V. M., Nikitenko O. D., Yukhymchuk M. S. Modeling of the automated control system of heating in the «smart house» / V. M Dubovoi, O. D Nikitenko, M. S Yukhymchuk. – Automatics–2017: xxiv international conference on automated control, Kiev – 84 p.
32. Поняття про ймовірність стану системи з випадковим процесом [Електронний ресурс], 2017. – Режим доступу до ресурсу: , вільний. – Загол. з екрану. – Мова укр.
33. Fady Nassi Inria Sample Time Clock [Електронний ресурс], 2017. – Режим доступу до ресурсу: , вільний. – Загол. з екрану. – Мова англ.
34. Rand\_m [Електронний ресурс], 2017. – Режим доступу до ресурсу: [https://help.scilab.org/docs/5.4.0/ru\\_RU/RAND\\_m.html](https://help.scilab.org/docs/5.4.0/ru_RU/RAND_m.html), вільний. – Загол. з екрану. – Мова англ.
35. Hysteresis [Електронний ресурс], 2017. – Режим доступу до ресурсу: [https://help.scilab.org/docs/5.5.1/fr\\_FR/HYSTHERESIS.html](https://help.scilab.org/docs/5.5.1/fr_FR/HYSTHERESIS.html), вільний. – Загол. з екрану. – Мова англ.

36. Const\_m [Електронний ресурс], 2017. – Режим доступу до ресурсу: [https://help.scilab.org/docs/5.5.1/fr\\_FR/CONST\\_m.html](https://help.scilab.org/docs/5.5.1/fr_FR/CONST_m.html), вільний. – Загол. з екрану. – Мова англ.
37. Switch2\_m [Електронний ресурс], 2017. – Режим доступу до ресурсу: [https://help.scilab.org/docs/5.5.1/fr\\_FR/SWITCH2\\_m.html](https://help.scilab.org/docs/5.5.1/fr_FR/SWITCH2_m.html), вільний. – Загол. з екрану. – Мова англ.
38. Integral\_f [Електронний ресурс], 2017. – Режим доступу до ресурсу: [https://help.scilab.org/docs/5.5.1/fr\\_FR/INTEGRAL\\_f.html](https://help.scilab.org/docs/5.5.1/fr_FR/INTEGRAL_f.html), вільний. – Загол. з екрану. – Мова англ.
39. Стеценко І.В. Моделювання систем / І.В. Стеценко. – Черкаси : ЧДТУ, 2010. – 399 с.
40. Jordan M., Mitchell T. Machine learning: Trends, perspectives, and prospects. – Science, 2015. – Vol. 349(6245). – P. 255–260.
41. Методичні рекомендації з комерціалізації розробок, створених в результаті науково-технічної діяльності – К. : Наказ Державного комітету України з питань науки, інновацій та інформатики (Лист № 1/06-4-97 від 13.09.2010 р.).
42. Козловський В. О. Методичні вказівки до виконання студентами-магістрантами економічної частини магістерських кваліфікаційних робіт. – Вінниця: ВНТУ, 2012.
43. Dorf R. C., Bishop R. H. Modern Control Systems. – Boston: Pearson, 2010. – 912 p.
44. Ogata K. Modern Control Engineering. – 5th ed. – Prentice Hall, 2010. – 894 p.
45. Franklin G. F., Powell J. D., Emami-Naeini A. Feedback Control of Dynamic Systems. – Pearson, 2015. – 912 p.
46. Åström K. J., Murray R. M. Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. – Princeton University Press, 2010. – 408 p.
47. Ross T. J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. – Wiley, 2010. – 585 p.
48. Kuo B. C. Automatic Control Systems. – 9th ed. – Wiley, 2014. – 928 p.
49. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016. – 775 p.

50. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006. – 738 p.
51. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – 3rd ed. – Prentice Hall, 2010. – 1152 p.
52. Dorf R. C., Bishop R. H. Modern Control Systems. – Boston: Pearson, 2010. – 912 p.
53. Ogata K. Modern Control Engineering. – 5th ed. – Prentice Hall, 2010. – 894 p.
54. Franklin G. F., Powell J. D., Emami-Naeini A. Feedback Control of Dynamic Systems. – Pearson, 2015. – 912 p.
55. Åström K. J., Murray R. M. Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. – Princeton University Press, 2010. – 408 p.
56. Ross T. J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. – Wiley, 2010. – 585 p.
57. Kuo B. C. Automatic Control Systems. – 9th ed. – Wiley, 2014. – 928 p.
58. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016. – 775 p.
59. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006. – 738 p.
60. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – 3rd ed. – Prentice Hall, 2010. – 1152 p.
61. Dorf R. C., Bishop R. H. Modern Control Systems. – Boston: Pearson, 2010. – 912 p.
62. Ogata K. Modern Control Engineering. – 5th ed. – Prentice Hall, 2010. – 894 p.
63. Franklin G. F., Powell J. D., Emami-Naeini A. Feedback Control of Dynamic Systems. – Pearson, 2015. – 912 p.
64. Åström K. J., Murray R. M. Feedback Systems: An Introduction for Scientists and Engineers. – Princeton University Press, 2010. – 408 p.
65. Ross T. J. Fuzzy Logic with Engineering Applications. – Wiley, 2010. – 585 p.
66. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016. – 775 p.
67. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006. – 738 p.
68. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. – 2nd ed. – Springer, 2009. – 745 p.

69. Abraham A. Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing. – Springer, 2006. – 450 p.
70. Mitchell T. Machine Learning. – McGraw-Hill, 2006 (reprint). – 432 p.
71. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – 3rd ed. – Prentice Hall, 2010. – 1152 p.
72. Sutton R. S., Barto A. G. Reinforcement Learning: An Introduction. – 2nd ed. – MIT Press, 2018. – 552 p.
73. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016. – 775 p.
74. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006. – 738 p.
75. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. – 2nd ed. – Springer, 2009. – 745 p.
76. Abraham A. Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing. – Springer, 2006. – 450 p.
77. Mitchell T. Machine Learning. – McGraw-Hill, 2006 (reprint). – 432 p.
78. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – 3rd ed. – Prentice Hall, 2010. – 1152 p.
79. Sutton R. S., Barto A. G. Reinforcement Learning: An Introduction. – 2nd ed. – MIT Press, 2018. – 552 p.
80. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016. – 775 p.
81. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006. – 738 p.
82. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. – 2nd ed. – Springer, 2009. – 745 p.
83. Abraham A. Foundations of Fuzzy Logic and Soft Computing. – Springer, 2006. – 450 p.
84. Mitchell T. Machine Learning. – McGraw-Hill, 2006 (reprint). – 432 p.
85. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – 3rd ed. – Prentice Hall, 2010. – 1152 p.

86. Sutton R. S., Barto A. G. Reinforcement Learning: An Introduction. – 2nd ed. – MIT Press, 2018. – 552 p.
87. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016. – 775 p.
88. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006. – 738 p.
89. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep Learning. – MIT Press, 2016. – 775 p.
90. Bishop C. Pattern Recognition and Machine Learning. – Springer, 2006. – 738 p.
91. Hastie T., Tibshirani R., Friedman J. The Elements of Statistical Learning. – 2nd ed. – Springer, 2009. – 745 p.
92. Russell S., Norvig P. Artificial Intelligence: A Modern Approach. – 3rd ed. – Prentice Hall, 2010. – 1152 p.

ДОДАТКИ

## Додаток А (обов'язковий)

## ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: Дослідження надійності та стабільності системи автоматизованого керування опаленням у "розумному" будинку.

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота  
(бакалаврська кваліфікаційна робота / магістерська кваліфікаційна робота)

Підрозділ кафедра КСУ  
(кафедра, факультет, навчальна група)

Коефіцієнт подібності текстових запозичень, виявлених у роботі системою StrikePlagiarism (КПІ) 11.54 %

Висновок щодо перевірки кваліфікаційної роботи (відмітити потрібне)

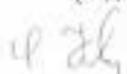
- Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак академічного плагіату, фабрикації, фальсифікації. Роботу прийняти до захисту.
- У роботі не виявлено ознак плагіату, фабрикації, фальсифікації, але надмірна кількість текстових запозичень та/або наявність типових розрахунків не дозволяють прийняти рішення про оригінальність та самостійність її виконання. Роботу направити на доопрацювання.
- У роботі виявлено ознаки академічного плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень. Робота до захисту не приймається.

Експертна комісія:

Ковтун В.В., завідувач кафедри КСУ  
(прізвище, ініціали, посада)

  
(підпис)

Ковалюк О.О., доцент кафедри КСУ  
(прізвище, ініціали, посада)

  
(підпис)

Особа, відповідальна за перевірку   
(підпис)

Дубовой В.М.  
(прізвище, ініціали)

З висновком експертної комісії ознайомлений(-на)

Керівник   
(підпис)

Юхимчук М.С., професор кафедри КСУ  
(прізвище, ініціали, посада)

Здобувач   
(підпис)

Коваленко В.В.  
(прізвище, ініціали)

Додаток Б (обов'язковий)

**ЗАТВЕРДЖЕНО**

Зав. кафедри КСУ ВНТУ,

д.т.н., професор

 В'ячеслав КОВТУН

« 17 » жовтня 2025 р.

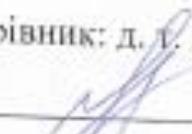
**ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ**

на магістерську кваліфікаційну роботу

**ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА СТАБІЛЬНОСТІ СИСТЕМИ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ОПАЛЕННЯМ У "РОЗУМНОМУ"  
БУДИНКУ**

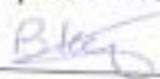
08-33.МКР.006.02.000 ТЗ

Керівник: д. т. н., професор каф. КСУ

 Марія ІОХИМЧУК

« 16 » 10 2025 р.

Розробив: студент гр. ІАКІТР-24м

 Віталій КОВАЛЕНКО

« 16 » 10 2025 р.

### 1. Назва та галузь застосування

1.1. Назва – Аналіз стійкості автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку.

1.2. Галузь застосування – Комп'ютеризовані системи управління технологічними процесами.

### 2. Підстава для проведення розробки.

Тема магістерської кваліфікаційної роботи затверджена наказом по ВНТУ

№ 313 від «24» вересня 2025р.

### 3. Мета та призначення розробки.

Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розробка бібліотек блоків для моделювання автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку та дослідження аналізу стійкості.

### 4. Вихідні дані для проведення розробки.

Магістерська кваліфікаційна робота виконується вперше. В ході проведення розробки повинні використовуватись такі документи:

1. Maria S. Yukhymchuk Evaluation of uncertainty of control by measurement with logical conditions / Vladimir M. Dubovoi, Maria S. Yukhymchuk // SPIE Digital Library as part of the proceedings of the Photonics Applications in Astronomy, Communications, Industry, and High-Energy Physics Experiments 2016 conference. DOI <http://dx.doi.org/10.1117/12.2248871>.

2. Юхимчук М. С. Метод аналізу стійкості автоматичних систем з логічними управляючими пристроями при впливі параметричних збурень / М. С. Юхимчук, С. М. Москвіна // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2012. – № 4. – С. 155-162. – ISSN 1997-9266.

3. Юхимчук М. С. Аналіз процесів в релейних системах управління з елементами штучного інтелекту / М. С. Юхимчук, В. М. Дубовой // Контроль і управління в складних системах XIII Міжнародна конференція. м. Вінниця. – 2014.

### 5. Вимоги до розробки.

#### 5.1. Перелік головних функцій:

- розробити модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з контролером;
- дослідити залежність витрат енергії;
- провести аналіз та порівняння з існуючими моделями;
- зберегти результати.

#### 5.2. Основні технічні вимоги до розробки.

##### 5.2.1. Вимоги до програмної платформи:

- WINDOWS XP/7/8/10;
- Scilab 5.5.2.

##### 5.2.2. Умови експлуатації системи:

- робота на стандартних ПЕОМ в приміщеннях зі стандартними умовами;
- можливість цілодобового функціонування системи;
- текст програмного забезпечення системи є цілком закритим.

## 6. Економічні показники

До економічних показників входять:

- витрати на розробку та її впровадження не більше 100 тис. грн.;
- абсолютний ефект розробки не менше 200 тис. грн.;
- внутрішня норма дохідності інвестицій не менше 60 %;
- термін окупності до 3 років;
- інші економічні переваги у порівнянні з аналогами.

## 7. Стадії та етапи розробки.

### 7.1 Пояснювальна записка:

– Аналіз проблеми аналізу стійкості нелінійних автоматичних систем опалення в «розумному» будинку. Постановка задач дослідження «20» жовтня 2025 р.

– Удосконалення алгоритму статистичного дослідження параметрів моделі «17» жовтня 2025р.

– Практична реалізація та аналіз отриманих результатів «23» жовтня 2025 р.

– Підготовка економічної частини «10» листопада 2025р.

– Апробація результатів дослідження «22» листопада 2025 р.

– Оформлення пояснювальної записки, графічного матеріалу і презентації «27» листопада 2025 р.

– Захист МКР «18» грудня 2025 р.

### 7.2 Графічні матеріали:

– структурна схема системи управління опаленням;

– загальна структурна схема автоматизованої системи управління опаленням «розумному» будинку з контролером;

– імітаційна модель автоматизованої системи управління опаленням у «розумному» будинку з нечітким регулятором в системі Scilab/Xcos

– плакати демонстраційні.

## 8. Порядок контролю і приймання.

8.1 Хід виконання магістерської кваліфікаційної роботи контролюється керівником роботи, консультантами з економічної частини. Рубіжний контроль провести до «14» листопада 2025р.

8.2. Атестація проекту здійснюється на попередньому захисті. Попередній захист магістерської кваліфікаційної роботи провести до «01» грудня 2025р.

8.3. Підсумкове рішення щодо оцінки якості виконання магістерської кваліфікаційної роботи приймається на засіданні ДЕК. Захист магістерської кваліфікаційної роботи провести «18» грудня 2025 р.

Додаток В (обов'язковий)

ІЛЮСТРАТИВНА ЧАСТИНА

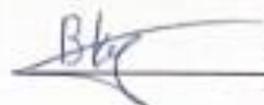
ДОСЛІДЖЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА СТАБІЛЬНОСТІ СИСТЕМИ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО КЕРУВАННЯ ОПАЛЕННЯМ У "РОЗУМНОМУ"  
БУДИНКУ



Керівник роботи  
д. т. н., проф. каф. КСУ

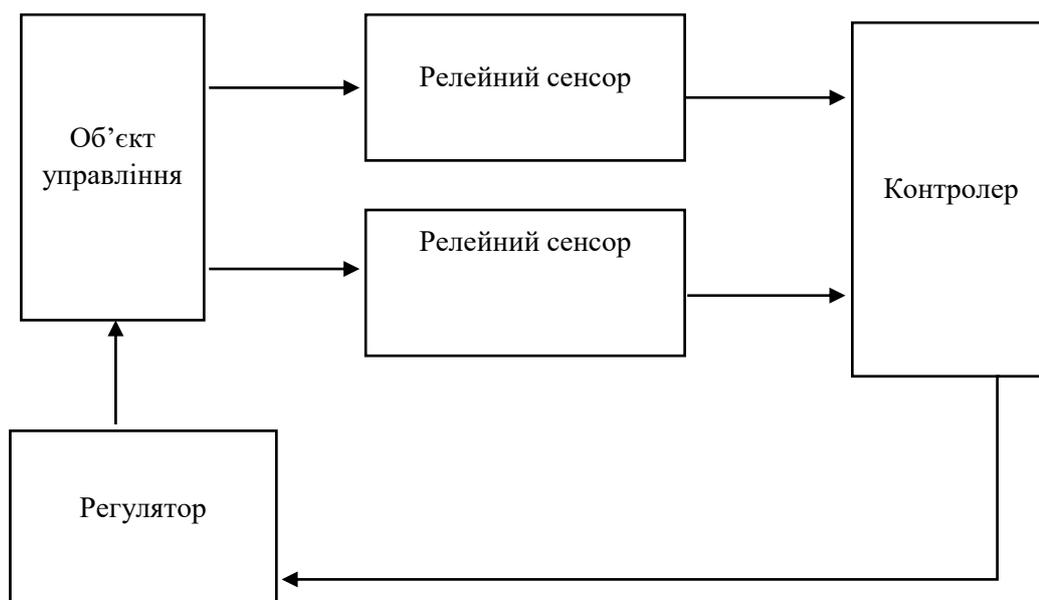
Марія ЮХИМЧУК

Виконавець:  
ст. гр. 1АКІТР-24м



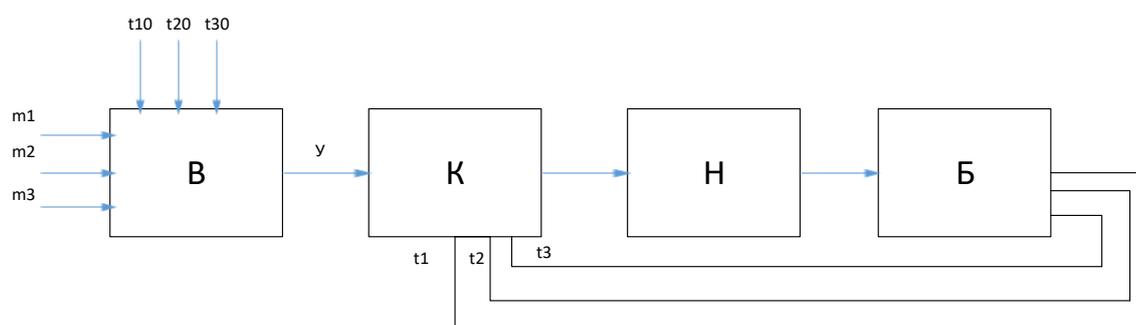
Віталій КОВАЛЕНКО

Структура автоматизованої системи управління опаленням у «розумному»  
будинку

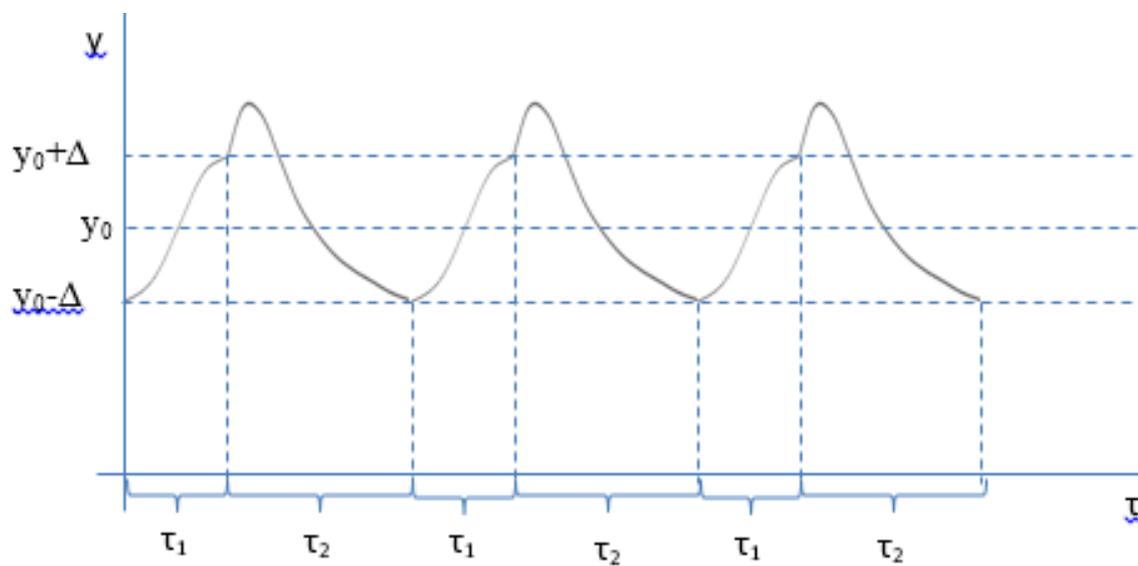




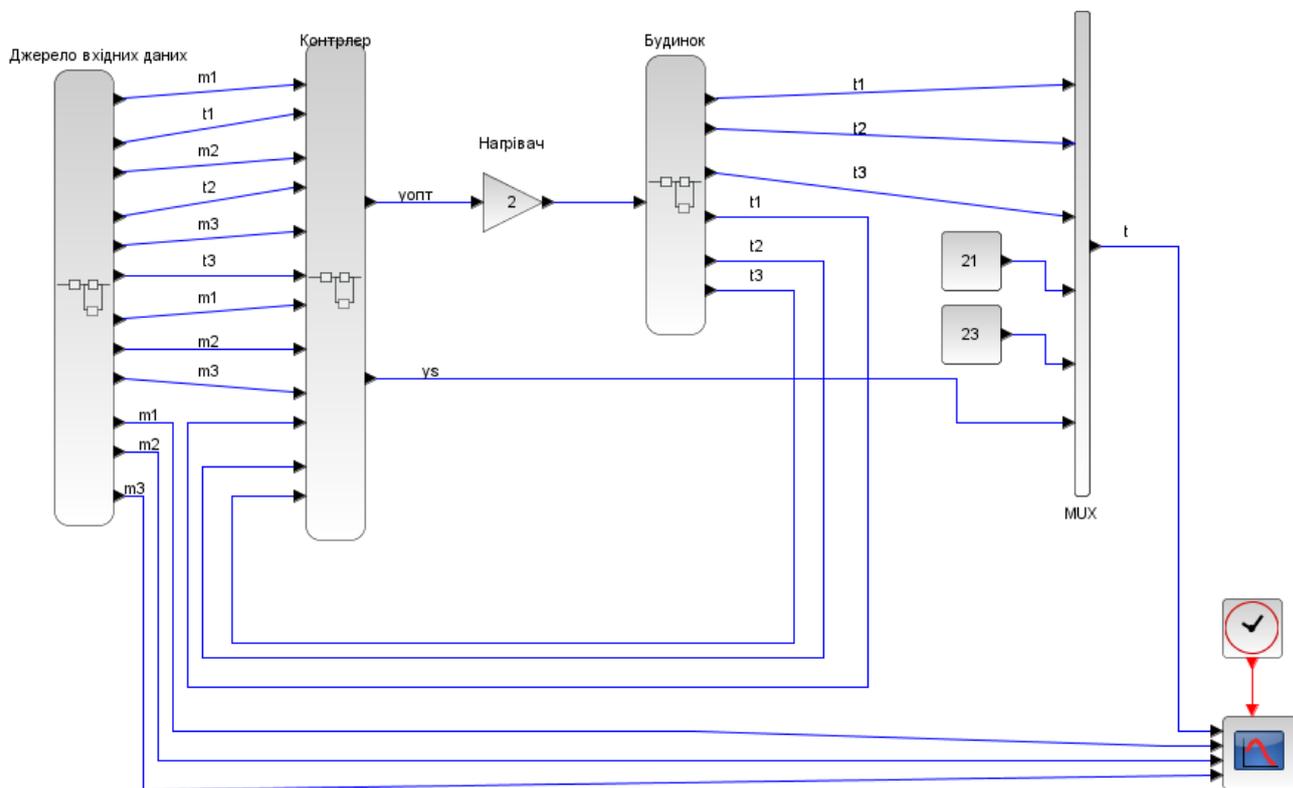
Загальна структурна схема автоматизованої системи управління  
опаленням «розумному» будинку



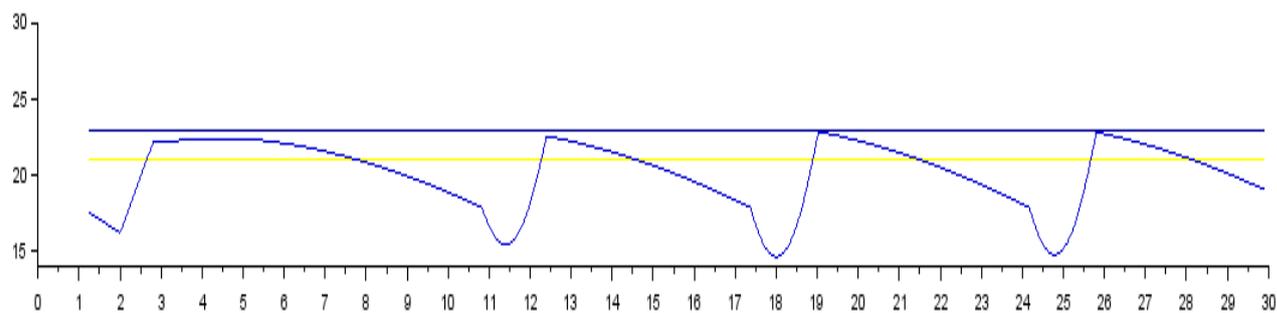
## Процес зміни температури



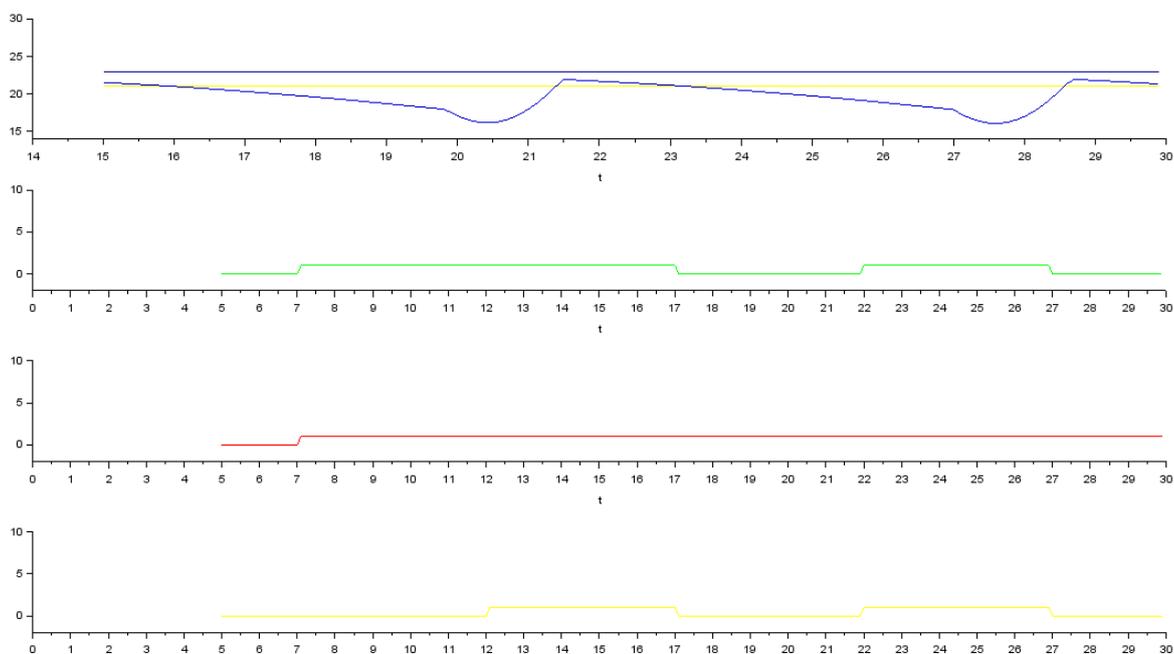
Імітаційна модель автоматизованої системи управління опаленням у  
«розумному» будинку в системі Scilab/Xcos



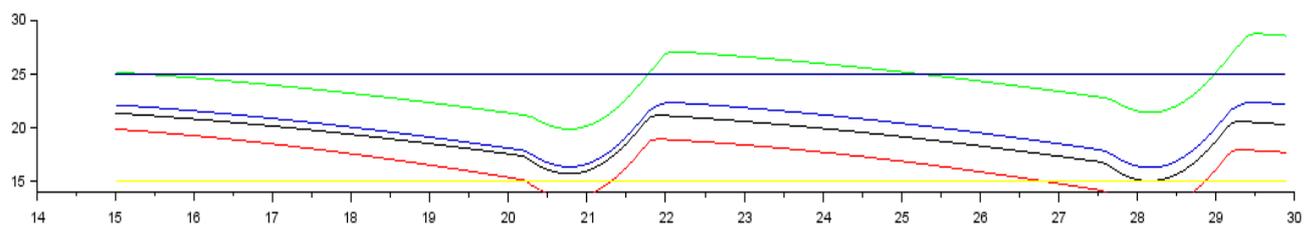
Результати моделювання автоматизованої системи управління опаленням  
у «розумному» будинку



## Моделювання при зміні значень генератора псевдовипадкових значень



## Модельовання при зміні значень блоків нагрівання та охолодження



## Результати експерименту

