

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

**КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

другого (магістерського) рівня освіти

на тему:

**«ОПТИМІЗАЦІЯ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ  
ЖИТЛОВОГО БУДИНКУ ШЛЯХОМ СТВОРЕННЯ  
АВТОМАТИЗОВАНОЇ СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ»**

Виконав: студент 6 курсу

групи Ен-61 спеціальності

141 „Електроенергетика, електротехніка та  
електромеханіка”

(шифр і назва спеціальності)

Мельник І. Я.

Керівник: \_\_\_\_\_ Коробка С. В.

Рецензент: \_\_\_\_\_

**ДУБЛЯНИ 2024**

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ЛЬВІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ  
ПРИРОДОКОРИСТУВАННЯ  
ФАКУЛЬТЕТ МЕХАНІКИ, ЕНЕРГЕТИКИ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ  
ТЕХНОЛОГІЙ  
КАФЕДРА ЕНЕРГЕТИКИ

ЗАТВЕРДЖУЮ  
Завідувач кафедри

(підпис)

к.т.н., доцент Сиротюк С. В.  
(вч. звання, прізвище, ініціали)

" \_\_\_\_ " \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ  
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

Мельнику Ігорю Ярославовичу  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема роботи: "Оптимізація споживання електричної енергії житлового будинку шляхом створення автоматизованої системи управління"

керівник роботи: к.т.н., доцент Коробка С. В.  
(наук. ступінь, вч. звання, прізвище, ініціали)

затверджені наказом Львівського НУП 616/к-с 12.09.2024

2. Строк здачі студентом закінченої роботи 27.12.2024 р.

3. Вихідні дані

технічна документація, науково-технічна і довідкова література

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

Вступ

4.1. Огляд актуального стану питання оптимізації споживання електричної енергії в житлових будинках.

4.2. Розробка оптимального методу та системи управління для автоматизованої системи контролю споживання електричної енергії в житловому будинку.

4.3. Експериментальне дослідження роботи автоматизованої системи контролю споживання електричної енергії в житловому будинку.

4.4. Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях.

4.5. Техніко-економічне обґрунтування доцільності оптимізації споживання електричної енергії в житлових будинках.

Висновки і пропозиції

Перелік джерел посилання

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових кресл.  
Графічний матеріал подається у вигляді презентації

6. Консультанти розділів:

| Розділ | Прізвище, ініціали та посада консультанта | Підпис, дата   |                  | Відмітка про виконання |
|--------|---|----------------|------------------|------------------------|
|        |   | завдання видав | завдання прийняв |                        |
| 4      | <i>Городецький І. М. к.т.н., доцент</i>   |                |                  |                        |

7. Дата видачі завдання: 04.06.2024 р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

| Пор. № | Назва етапів кваліфікаційної роботи   | Строк виконання етапів роботи | Примітка |
|--------|---|-------------------------------|----------|
| 1      | <i>Огляд актуального стану питання оптимізації споживання електричної енергії в житлових будинках</i>   | 04.06.2024 – 02.09.2024       |          |
| 2      | <i>Розробка оптимального методу та системи управління для автоматизованої системи контролю споживання електричної енергії в житловому будинку</i> | 03.09.2024 – 27.09.2024       |          |
| 3      | <i>Експериментальне дослідження роботи автоматизованої системи контролю споживання електричної енергії в житловому будинку</i>                    | 30.09.2024 – 23.10.2024       |          |
| 4      | <i>Охорона праці та безпека у надзвичайних ситуаціях</i>  | 24.10.2024 – 31.10.2024       |          |
| 5      | <i>Техніко-економічне обґрунтування доцільності оптимізації споживання електричної енергії в житлових будинках</i>                                | 01.11.2024 – 11.11.2024       |          |
| 6      | <i>Завершення оформлення ілюстративної частини роботи</i>   | 12.11.24 – 22.11.24           |          |
| 7      | <i>Завершення роботи в цілому</i>   | 02.12.24 – 30.12.24           |          |

Студент \_\_\_\_\_ Мельник І. Я.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

Керівник роботи \_\_\_\_\_ Коробка С. В.  
( підпис ) (прізвище та ініціали)

## УДК 631.3.45.9

Мельник І. Я. «Оптимізація споживання електричної енергії житлового будинку шляхом створення автоматизованої системи управління». Кваліфікаційна робота. Дубляни: Львівський національний університет природокористування, 2024 р. 50 с. текстової частини, 9 таблиць, 27 рисунків, 19 джерел посилання.

*Метою* кваліфікаційної роботи є підвищення рівня комфорту користувачів та розробка методів оптимізації, спрямованих на зниження енергоспоживання в житлових будинках.

Для досягнення поставленої мети, необхідно виконати наступні **завдання**: здійснити огляд сучасного стану проблеми оптимізації споживання електричної енергії в житлових будинках; розробити оптимальну методику та системи управління для автоматизованого контролю споживання електричної енергії в житловому будинку; проаналізувати техніко-економічне обґрунтування доцільності оптимізації споживання електричної енергії в житлових будинках.

Розглянуто оптимізацію споживання електроенергії в житловому будинку через впровадження автоматизованої системи керування. Запропоновано архітектуру цієї системи, яка складається з кількох компонентів, таких як параметри навколишнього середовища (температура, освітленість, якість повітря), оптимізатор ВА, нечіткий контролер, індекс комфорту та різні типи приводів. Вхідними даними для оптимізатора ВА є параметри середовища (температура, освітленість, якість повітря) і налаштування, встановлені користувачем. Для нечітких контролерів вхідними є параметри середовища та результати роботи оптимізатора ВА, а вихідними — необхідна потужність для керування приводами. Загальну необхідну потужність розраховує агент-координатор, який також перевіряє, чи відповідає вона потужності, наданій нечіткими контролерами.

*Ключові слова*: алгоритм ВА; індекс комфортності; енергооптимізація; нечітка логіка; функції членства (MFs); житловий будинок

## ЗМІСТ

|  |    |
|--|----|
| ВСТУП.....   | 7  |
| РОЗДІЛ 1. ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ ТА КОМФОРТУ<br>КОРИСТУВАЧІВ У ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ<br>АЛГОРИТМІВ І НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ.....   | 8  |
| 1.1 Обґрунтування оптимізації енергетичних витрат і комфортних умов<br>для мешканців житлових будинків.....  | 8  |
| 1.2 Обґрунтування споживання електричної енергії в житловому будинку<br>через впровадження автоматизованої системи управління.....   | 9  |
| 1.3 Обґрунтування актуальності теми роботи.....  | 12 |
| РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОБґРУНТУВАННЯ<br>ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ<br>КОМФОРТУ КОРИСТУВАЧІВ У ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ ЗА<br>ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ І НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ..... | 12 |
| 2.1 Аналіз методів оптимізації енергоспоживання та забезпечення<br>комфарту користувачів у житлових будинках за допомогою<br>алгоритмів і нечіткої логіки.....                           | 13 |
| 2.2 Розробка методу оптимізації енергоспоживання та забезпечення<br>комфарту користувачів у житлових будинках за допомогою<br>алгоритмів і нечіткої логіки.....                          | 16 |
| 2.3 Оптимізація за допомогою алгоритму Vat (VA) енергоспоживання та<br>забезпечення комфорту користувачів у житлових будинках за<br>допомогою алгоритмів і нечіткої логіки.....          | 18 |
| 2.4 Індекс комфорту для оптимізації енергоспоживання у житлових<br>будинках .....  | 21 |
| 2.5 Нечіткі контрольні функції індексу комфорту для оптимізації<br>енергоспоживання у житлових будинках .....  | 24 |
| 2.6 Агент-координатор функції індексу комфорту для оптимізації<br>енергоспоживання у житлових будинках.....  | 25 |
| 2.7 Будівельні приводи енергоспоживання у житлових будинках.....   | 26 |

|  |    |
|--|----|
| РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМФОРТУ КОРИСТУВАЧІВ У ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ І НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ..... | 27 |
| 3.1 Обґрунтування оптимізації енергоспоживання та забезпечення комфорту користувачів у житлових будинках за допомогою алгоритмів і нечіткої логіки.....                | 27 |
| 3.2 Процес контролю температури для оптимізації енергоспоживання та забезпечення комфорту користувачів у житлових будинках.....  | 28 |
| 3.3 Процес контролю якості повітря для оптимізації енергоспоживання та забезпечення комфорту користувачів у житлових будинках.....                                     | 36 |
| 3.4 Порівняльний аналіз результатів оптимізації алгоритму ВА з генетичним алгоритмом та оптимізацією.....  | 41 |
| РОЗДІЛ 4 РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ.....   | 43 |
| 4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля.....   | 43 |
| 4.2 Протипожежна безпека і грозозахист.....  | 44 |
| РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБґРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ.....   | 45 |
| 5.1 Оцінка економічної ефективності оптимізації споживання електричної енергії в житлових будинках.....  | 46 |
| ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ.....  | 47 |
| ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ.....   | 48 |

## ВСТУП

Одна з головних сил для цифрових технологій трансформація полягає в тому, як швидко змінюється світ. Крім того, запаморочливими темпами розвивається світова економіка трансформований цифровими технологіями. Мільярди щодня онлайн зв'язків між особами, організаціями, пристроями, даними і процеси, які породжують економічну діяльність, відомі як «цифрова економіка».

Інтернет, мобільні технології тощо. Інтернет речей (IoT) сприяє гіпер взаємозв'язку або зростаючий зв'язок між людьми, організаціями та машин, що є основою цифрової економіки. Одночасно з цими подіями зростає попит на енергію більше, ніж пропозиція, що призводить до дефіциту енергії. По порядку, щоб не відставати від попиту на енергію, розробляються нові стратегії. В результаті появи і поширення будинків зростає потреба в оцифровці програм, як енергоефективна автоматизація та безпека. Зі збільшенням в кількості спожитої електроенергії та введення нових джерел енергії, зниження витрат електроенергії на домогосподарства стають все більш важливими. В основному робота використовує технологію машинного зору на основі метод YOLO, , що використовується для розпізнавання обличчя і в порівнянні з усіма видами YOLO

Метод YOLOv5n був найшвидшим і найефективнішим методом. Отже, використовуючи метод YOLOv5s на Jetson Nano платформі дає змогу створювати можливість автентифікації мешканців будинків, щоб ідентифікувати їх, щоб увімкнути або вимкнути джерела споживання енергії в будинках. Тому представлені системи розроблені з метою оптимізації енергії споживання в будинках і забезпечення безпеки мешканців будинків.

# РОЗДІЛ 1. ОПТИМІЗАЦІЯ ВИТРАТ ЕНЕРГІЇ ТА КОМФОРТУ КОРИСТУВАЧІВ У ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ І НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

## 1.1 Обґрунтування оптимізації енергетичних витрат і комфортних умов для мешканців житлових будинків

Енергетичний менеджмент у житлових будинках привернув увагу багатьох науковців за останні кілька років через те, що житловий сектор споживає найбільшу кількість сумарної енергії, вироблена різними енергоресурсами. Для управління енергією в житлових будинках ефективна система керування енергією, здатна зменшити загальну енергію споживання без шкоди для зручного користування середовища всередині будівлі.

Під час аналізу літературних джерел було запропоновано багато підходів для досягнення цілей мінімізації енергії споживання та максимізації бажаного користувачем комфорту шляхом збереження різних параметрів розгляду, але всі ці методи стикаються з певними проблемами у правильному вирішенні проблеми. Алгоритм є одним із нещодавно представлених підходів до оптимізації, який привернув увагу дослідників застосовувати його для вирішення різних типів задач оптимізації. Тому в роботі алгоритм застосований для оптимізації енергоспоживання в житлових будинках, який є одним із найбільш цілеспрямованих проблем оптимізації в останні роки.

Три параметри середовища, а саме температура, освітленість і якість повітря є вхідними даними алгоритму і оптимізованими значеннями цих параметрів є виходи. Різниця похибок між параметрами середовища та оптимізованими параметрами є входами нечітких контролерів, які видають енергію, як вихід, що, у свою чергу, змінює статус відповідних приводів. Експериментальні результати підтверджують, що запропонований підхід спрацював ефективно успішно керувати всією системою управління споживанням енергії.



## **1.2 Обґрунтування споживання електричної енергії в житловому будинку через впровадження автоматизованої системи управління.**

Енергія є найціннішим ресурсом серед усіх ресурсів, і попит на енергію стрімко зростає з плином часу. Існують два можливих шляхи вирішення проблеми зростаючий попит на енергію: (1) виробництво додаткової енергії та пошук альтернативних ресурсів виробництво енергії та (2) більш ефективно використання існуючих ресурсів. Перший підхід є високим і дорогим, трудомісткий і дорогий, а другий підхід недорогий і більш ефективний постійно рекомендується, оскільки ефективно використання енергії дозволяє уникнути необхідності виробляти нову енергію. Було вдосконалено технології та запропоновано кілька методів споживання енергії оптимізація.

Енергоефективність сьогодні стала однією з головних проблем, яка торкається майже всіх діяльність людини, від промислової та комерційної до дозвілля та відпустки [1, 2]. У житлових будинках споживання енергії швидко зростає, отже, її ефективно використання енергетики в житловому секторі викликає велике занепокоєння. Багато дослідників намагаються вирішити ці проблеми і в останнє десятиліття з цією метою було зроблено багато спроб.

Три основні слід враховувати параметри, а саме тепловий комфорт, комфорт якості повітря та візуальний комфорт рахунок при визначенні комфорту користувача [3].

Термічний комфорт являє собою температуру всередині будівлі для контролю температури в комфортній зоні будівлі передбачено охолодження та/або опалення потрібна система. Для зорового комфорту враховується освітленість користувача [4]. Для наочності вимірювання комфорту, електричне освітлення використовується та для вимірювання якості повітря в комфортній зоні, вимірюється концентрація CO<sub>2</sub>. Система вентиляції зберігає концентрацію CO<sub>2</sub>, якомога нижче [5]. Для підтримки комфорту користувача три параметри вище є нормальними розглядається. Ці три фактори також були враховані в запропонованій роботі. Для збільшення користувачів рівень задоволеності та економія енергії є важкою проблемою, оскільки обробка обох

одночасно дуже важко. У попередніх дослідженнях для вирішення застосовувалися різні тактики, засновані на звичайних системах управління проблема енергетичного менеджменту [6, 7]. Деякі системи управління засновані на звичайних методах адаптивних регуляторів, оптимальних регуляторів і пропорційно-інтегральної похідної (PID) контролери. Розробники використовують системи ПД-регулювання, щоб контролювати різке підвищення температури.

Методи, що використовують звичайні підходи, можуть певною мірою вирішити проблему; однак вони мають деякі властиві недоліки, пов'язані з цим, наприклад параметри керування, що використовуються в цих моделях недостатньо дружній, щоб легко контролювати. Деякі із запропонованих методів потребують будувати моделі для ефективної роботи. Труднощі, спричинені нелінійними особливостями моніторингу контролю параметри також є одним із слабких місць звичайних систем керування.

У роботі [8] автори використали оптимізовані нечіткі контролери, які контролюють параметри середовища. За допомогою датчиків і програмовані логічні контролери (PLC), улюблені налаштування користувачів спостерігаються за допомогою смарт-карти. Оптимізація генетичного алгоритму використовується для забезпечення енергії, необхідної для задоволення вподобань користувача мінімізація споживання енергії. Прогнозні системи управління використовують прогноз погоди для контролю опалення, вентиляції та кондиціонування [9,10]. Автори в [11] використовували багато агентну систему керування в якому інформаційне злиття використовувалося для внутрішнього керування енергією та керуванням. На додаток до факторів, обговорені вище, які впливають на комфорт користувача, є деякі інші фактори, як соціальні, особисті і параметри будівлі, які сильно впливають на комфорт користувача.

Автори [12] запропонували модель, яка описує складний зв'язок між цими факторами. Включення зовнішнього параметри, які можуть вплинути на індекс

комфорту користувача разом із уже обговореними параметрами в приміщенні включено до роботи, виконаної авторами в [13].

Алгоритм bat – це мета евристичний алгоритм оптимізації, який широко використовувався для вирішення проблеми оптимізації завдяки своїй простоті та ефективності. Для досягнення можна використовувати алгоритм Фур'є швидкі оптимальні рішення в різних областях, таких як планування, енергетичні системи, математичні проблеми тощо. Енергетична оптимізація, яка зазвичай є нелінійною задачею оптимізації, може бути вирішена дослідниками шляхом застосування алгоритму bat для досягнення оптимізації [14].

У цьому дослідженні ми запропонували методології оптимізації, яка використовує алгоритм bat (BA) на основі біотехнологій для максимального використання комфорт і мінімізація споживання енергії. При такому підході користувачеві комфорт і енергія управління розглядаються одночасно, з метою поєднати обидва з функцією BA для досягнення підвищення комфорту користувача при зниженні споживання енергії, температура, освітлення та якість повітря використовуються, як основні вхідні параметри навколишнього середовища та користувача параметри набору оптимізовані за допомогою алгоритму відповідно до налаштувань користувача.

Після оптимізації значень, різниця помилок між оптимізованими та фактичними (екологічні) значення розраховуються. Розраховані різниці похибок потім стають вхідними для нечіткості контролери, які виробляють мінімальну кількість необхідної енергії. Агент-координатор отримує вихід нечітких контролерів і активує виконавчі механізми, регулюючи потужність відповідно до доступної потужності.

Бажана потужність – це мінімальна потужність, необхідна для зміни стану приводів, тоді як оптимізовані значення основних параметрів комфорту вже розраховані відповідно до налаштувань користувача.

### **1.3 Обґрунтування актуальності теми роботи**

Метою цього дослідження є підвищення рівня комфорту користувачів та розробка методів оптимізації, спрямованих на зниження енергоспоживання в житлових будинках.

*Відповідно до цієї мети було визначено наступні завдання:*

- Здійснити огляд сучасного стану проблеми оптимізації споживання електричної енергії в житлових будинках.
- Розробити оптимальну методику та системи управління для автоматизованого контролю споживання електричної енергії в житловому будинку.
- Здійснити експериментальне дослідження ефективності роботи автоматизованої системи контролю споживання електричної енергії в житловому будинку.
- Проаналізувати техніко-економічне обґрунтування доцільності оптимізації споживання електричної енергії в житлових будинках.

## **РОЗДІЛ 2. ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОБҐРУНТУВАННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМФОРТУ КОРИСТУВАЧІВ У ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ І НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ**

### **2.1 Аналіз методів оптимізації енергоспоживання та забезпечення комфОРТУ користувачів у житлових будинках за допомогою алгоритмів і нечіткої логіки**

Сьогодні енергетичний менеджмент у секторі житлових будинків привернув увагу дослідників і багато хто намагається вирішити це в ефективний спосіб. Житлові будинки повинні працюють день у день, а його об'єкти пов'язані з енергією. Іншими словами, як засоби зі збільшенням будівлі споживання енергії також зростає. Розроблено численні методи ефективної роботи системи енергозбереження житлових будинків. В [15] економічної точки детально розглянуто системи управління для музеїв, художніх галерей та інших спеціальних будівель. Управління енергією в будівлі є проблемою оптимізації та має багато вимірів. За останнє десятиліття повідомлялося про прогрес у методах оптимізації розв'язання задачі нелінійної оптимізації [3]. Було прийнято прямий пошук, який може привести до точного результату [16]. В останніх дослідженнях дослідники намагаються покращити будівельне середовище.

*Центральний.* Основна мета цього вдосконалення полягає в тому, щоб мінімізувати споживання енергії користувачем і збільшити кількість користувачів комфорт, тому що люди здебільшого проводять час у будівлях, отже, задоволеність користувачів визначає умови навколишнього середовища в будівлі. Для того, щоб досягти задоволення користувачів була запропонована техніка оптимізації розумних будинків для оптимального управління енергією [4]. В [17] покращена функція оптимізації була використана для максимального комфорту користувача та мінімізації енергії споживання в будівельному

середовищі. Щоб прибрати шуми від показань датчика, Калмана використано алгоритм фільтрації. Фільтр Калмана передбачає фактичні значення параметрів.

Генетичний алгоритм і оптимізація частинок (PSO) також використовувалися для оптимізації. Результати вказують на те, що запропонована ними функція оптимізації працює краще, ніж лише PSO та GA.

Генетичний алгоритм (GA) також був розгорнутий для управління енергією в будівлях проблеми з опаленням, кондиціонуванням повітря та контролем вентиляції [18]. Такий підхід також був застосований для керування паливними елементами, термоакумуляторами та тепловими насосами [19].

У [7] генетичний алгоритм було розгорнуто для вирішення багатоцільових задач для оптимальної оптимізації характеристик виплати. Генетичний алгоритм використовувався для задач змішаного ціло чисельного та нелінійного програмування в енергетиці завод у Пекіні [20]. Метод обстеження та прогнозування для ефективного використання енергетичного обстеження та прогнозування в розумних будівлях було детально розглянуто в [1]. У цій роботі метод заснований на основі нейронної мережі, навчена за допомогою GA. Продуктивність цього методу була хорошою, в той час як середній час обчислення для однієї поведінки прогнозування становив 9,0572 с, середній час обчислення для однакової прогнозовної поведінки мережі зворотного поширення (BP) і мережі RDF були 0,0961 і 0,0494 відповідно.

У [2] була запропонована методика програмування, заснована на генетичному і точність прогнозу цього запропонованого методу становила 80 – 83% на основі даних тестування в п'яти різних офісів. Розгортання цього методу може бути здійснено для оцінки потреби в енергії в житлові будинки.

У [3] запропоновано оптимізований метод багатошарового перцептрона (MLP) для короткострокового споживання енергії в корейських житлових будинках. При такому підході автор розробив 20 різних моделей MLP з різною архітектурою для прогнозування використання енергії.

В [4] запропоновано інший метод прогнозування енергоспоживання в житлових будинках. Пропонована методологія складається з трьох етапів, а саме: пошук даних, виділення ознак і прогнозування. Під час пошуку даних

щоденні дані про споживання енергії отримуються з бази даних. У функції фази вилучення, перші три статистичні моменти, а саме середнє, дисперсія та асиметрія були розраховано на основі отриманих даних. На останньому етапі методи прогнозування, а саме MLP і випадкових чисел були використані для прогнозування попиту на енергію в житловому будинку. Результати показують що продуктивність багатосарового перцептрона краща порівняно з алгоритмом випадкових чисел.

У [2, 5] був запропонований метод оптимізації моделювання для ефективного управління енергією системи опалення, вентиляції та кондиціонування повітря (HVAC). Складний взаємозв'язок цілої системи опалення, вентиляції, та кондиціонування зазвичай включає системи повітряної та водної зони, запропоноване оптимальне налаштування для різноманітних процесів у відповідь на динамічні охолоджувальні навантаження та різні кліматичні ситуації протягом року.

У [2, 6] GA, який контролює оптимізацію параметрів у паралельних гібридних електричних автомобілях (HEV) було використано. Постановка оптимізаційної задачі виконана для електропомічника стратегія контролю (EACS) для зменшення споживання палива та викидів при максимальному використанні енергетичних установок продуктивність. Оптимізація різних цільових функцій була виконана в [2, 7] тощо, а також запропоновано алгоритми прогнозування споживання електроенергії на основі генетичного алгоритму, генетичний алгоритм на основі моделювання, часові ряди та дизайн експерименту (DOE), дисперсійний аналіз (ANOVA) і багато діапазонний тест Дункана (DMRT). Експериментальні дані, використані в цьому методі, мають 131 місяць реальних даних про споживання енергії, зібраних з 1994 по 2005 рр.

У [8] на еволюційній основі алгоритм під назвою надійний еволюційний алгоритм (REA) для вирішення питань опалення, вентиляції та повітря була запропонована імітаційна модель кондиціонування (HVAC). У цьому документі розроблено стратегію оптимального контролю непостійних об'ємів повітря та систем кондиціонування. Спосіб контролю містить первинну схему керування

статичною температурною точкою та два розширені методи для забезпечення комфорту та якості повітря в приміщенні (IAQ). Метод побудови середовища на основі сітки безпека пропонується в [9], де розглядається комфорт користувача з сприятливим енергоспоживанням, як ключовий фактор.

У цьому дослідженні методологія використовує алгоритм bat і нечітку логіку для оптимізації комфорту користувача індекс економії енергії для середовища будівлі. Як енергоефективність, так і рівні комфорту користувача були розглянуті в цій роботі і ця робота зосереджена на тому, щоб одночасно підвищити рівень житлового комфорту та зменшити споживання енергії за рахунок забезпечення оптимального користувача індекс комфорту та мінімізація споживання енергії в середовищі будівлі.

## **2.2 Розробка методу оптимізації енергоспоживання та забезпечення комфорту користувачів у житлових будинках за допомогою алгоритмів і нечіткої логіки**

У запропонованій архітектурі параметри, а саме температура, освітлення та якість повітря з середовища, а також від користувача вводяться в оптимізатор ВА. Головна мета оптимізатор ВА призначений для зменшення розриву між встановленими користувачем параметрами та фактичним середовищем параметри. Ця прогалина представлена відмінностями помилок між набором користувача та середовищем параметрів і різниця помилок безпосередньо впливає на споживання електроенергії, тобто як помилка різниця зменшується, очікується, що споживання електроенергії зменшиться, і навпаки. Після обчислення різниці помилок, наступним етапом є розрахунок індексу комфорту. Загальний комфорт користувача всередині будівлі є поєднання трьох комфортів, а саме теплового комфорту, візуального комфорту та повітряний комфорт. Ці три зручності розраховуються з урахуванням різниці похибок обчислюється оптимізатором ВА.



Індекс комфорту має зворотну залежність від різниці помилок, як зазначалося раніше, різниця похибок корелює зі споживанням електроенергії.

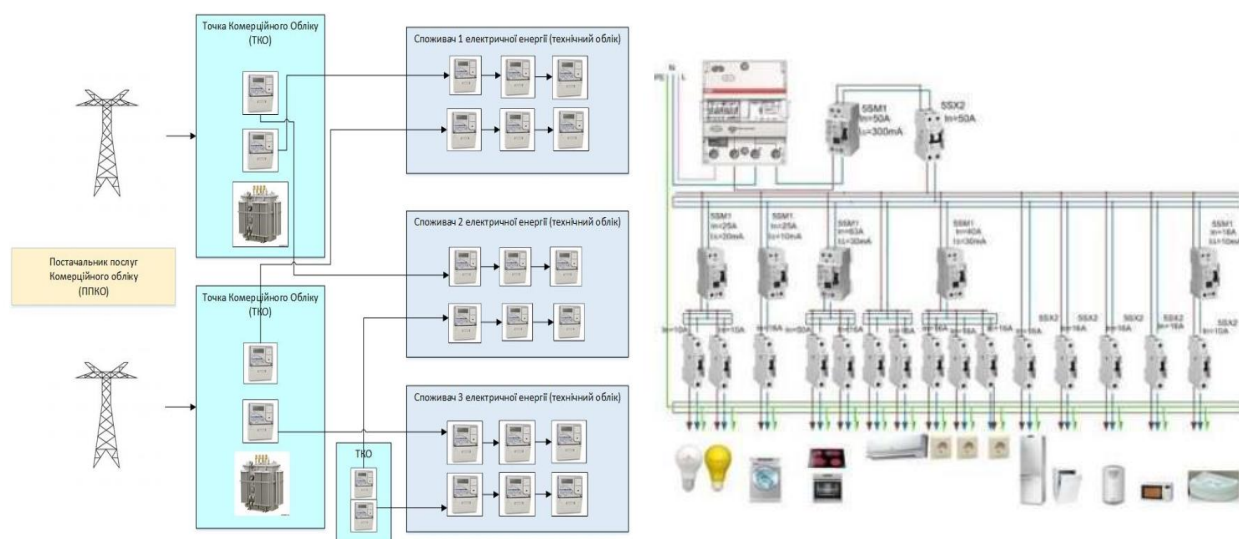


Рисунок 2.1 – Запропонована модель енергетичного менеджменту будівлі.

При зниженні різниці помилок, індекс комфортності зростає, що в результаті робить цю задачу багатоцільовою задачею оптимізації, в якій енергоспоживання мінімізоване, а індекс комфорту максимізований. Після розрахунку індексу комфорту наступним етапом є контроль стану різних виконавчих механізмів. Нечіткі контролери (нечіткий контролер температури, нечіткий контролер освітлення та якості повітря, нечіткий контролер) отримати різницю помилок між периметрами середовища та параметрами, які були оптимізовані. Вихід нечіткого контролера є бажаною потужністю для керування приводом стан, наприклад охолодження/опалення, освітлення та вентиляція. Необхідна потужність вводиться до координатор, як вхід, потім; координатор перевіряє наявність живлення від джерел живлення та забезпечує живлення всіх приводів відповідно до стану нечіткого контролера. Нечіткі контролери приймають обидва ВА оптимізував значення та периметри середовища (температуру, освітлення та якість повітря).

Вихідні значення нечітких контролерів залежать від різниці помилок між периметрами середовища (температура, освітлення та якість повітря) та оптимізоване ВА (температура, освітлення та повітря якість) значення.

Основною метою оптимізації ВА є мінімізація різниці помилок між значення параметрів середовища та фактичні параметри. Без застосування оптимізації ВА різниці помилок є великими, що зрештою генерує вищі вихідні значення, спричиняючи більше енергоспоживання. Процес оптимізації зменшує різницю помилок, що в кінцевому підсумку зменшує енергоспоживання. Схема запропонованої системи енергетичного менеджменту будівлі показано на рис. 2.1.

### **2.3 Оптимізація за допомогою алгоритму Bat (ВА) енергоспоживання та забезпечення комфорту користувачів у житлових будинках за допомогою алгоритмів і нечіткої логіки**

Алгоритм кажана (ВА), запропонований Янгом у 2010 році, є метаевристичним алгоритмом. Наступні три узагальнені правила були використані Янгом [3] при реалізації алгоритму bat:

(1) Для визначення відстані всі контролер використовують ехолокацію, і вони також мають потенціал розрізняти різниця між фоновими бар'єрами та їжею/здобиччю в якийсь мрійливий спосіб.

(2) Контролер у випадковому порядку зі швидкістю  $v_i$  в позиції  $x_i$  з фіксованою частотою  $f$ , що змінюється довжина хвилі  $L$  і гучність  $A_0$  для пошуку здобичі. Вони мають здатність регулювати довжину хвилі їх випромінюваних імпульсів автоматично та регулюють швидкість випромінювання імпульсів  $r$  в діапазоні  $[0, 1]$ , в залежності від близькості їх цілі.

(3) Незважаючи на те, що гучність може змінюватися багатьма способами, ми погоджуємося, що вона коливається від величезного  $A_0$  до найменшого постійного значення  $A_{\min}$ . Псевдокод алгоритму ВА наведено на рис. 2.2.

---

**Bat Algorithm Pseudo Code**

---

Step 1: Initialization of BA parameters and the parameters that are problem specific  
Step 2: Defining of objective function  $f(x)$ ,  $x = (x_1, x_2, x_3, \dots, x_d)^T$   
Step 3: Initialization of Bat population  $x_i$  and  $v_i$   
Step 4: Defining of pulse frequency  $Q_i \in [Q_{min}, Q_{max}]$   
Step 5: Initialization of pulse rates  $r_i$  and the loudness  $A_i$   
Step 6: while ( $t < T_{max}$ )/number of repetitions  
Step 7: Produce new results by altering frequency and  
Step 8: updating location and velocities  
Step 9: Adjusting of frequency to generate new solutions  
Step 10: if rand (0, 1) is greater than  $r_i$   
Step 11: A solution is nominated among the finest results  
Step 12: A local solution is generated nearby the best solution  
Step 13: end of if  
Step 14: if rand (0, 1)  $< A_i$  and  $f(x) < f(x)$   
Step 15: The new solution is accepted  
Step 16:  $r_i$  and decrease  $A_i$   
Step 17: end if  
Step 18: The bats is ranked and the present best is find  
Step 19: end  
Step 20: Display

---

Рисунок 2.2 – Псевдокод алгоритму bat (ВА).

Алгоритм ВА має перевагу над іншими алгоритмами оптимізації з певних причин наведено нижче:

1. Реалізація ВА проста і вимагає менше зусиль програмування.
2. ВА є гнучким і може надати рішення майже для будь-якої оптимізації проблеми [3].
3. Розгортання алгоритму ВА було зроблено в багатьох областях оптимізації, таких як класифікація, вибір ознак, планування, аналіз даних тощо [3].

Основні кроки алгоритму bat для задачі оптимізації енергоспоживання в smart будинку описано в наступному розділі: крок 1:

1) Кількість параметрів (D): Це вказує на розмір параметрів, які необхідно оптимізувати.

У цьому дослідженні ми маємо три параметри, які потрібно оптимізувати, а саме температуру (T), освітлення (L) і якість повітря (A).

2) Верхня межа ( $UB_i$ ):  $UB_i$  вказує на верхню межу параметрів  $i$ , де  $i = 1, 2, D$  і  $D$  вказує загальний розмір параметрів бажаної оптимізації. Верхня межа температури ( $T_{max}$ ), освітлення ( $L_{max}$ ) і якість повітря ( $A_{max}$ ) становлять 78, 880 і 880 відповідно.

3) Нижня межа ( $LB_i$ ):  $LB_i$  вказує на нижню межу параметрів  $i$ , де  $i = 1, 2, \dots, D$  і  $D$  вказує загальний розмір параметрів, які необхідно оптимізувати. Тут нижня межа для температура ( $T_{\min}$ ), освітленість ( $L_{\min}$ ) і якість повітря ( $A_{\min}$ ) становлять 68, 720 і 700 відповідно.

4) Розмір сукупності: це загальна кількість рішень у просторі пошуку. Чисельність популяції лежить від 10 до 40.

5) Кількість поколінь: це кількість циклів ітерації в алгоритмі ВА. Алгоритм був випробуваний для різних поколінь, щоб знайти ідеал розмір покоління, щоб отримати видатний результат продуктивності.

6) Ініціалізація гучності ( $A_0$ ) і частоти пульсу ( $r_0$ ): І гучність, і частота пульсу спочатку встановлені на 0,5 де імпульсне випромінювання представлено, гучність  $A_0$  використовується для пошуку здобичі.

Крок 2: нові рішення:

(1) Регулювання частоти: частота регулюється за допомогою рівняння:

$$f_t = f_{\min} + (f_{\max} - f_{\min}) \cdot \beta \quad (2.1)$$

де  $\beta \in (0, 1)$  представляє рівномірний розподіл. У реалізації  $f_{\min}$  встановлено 0 і  $f_{\max}$  до 1, тому спочатку частота призначається випадковим чином кожною кажаном з рівномірним розподілом в  $[f_{\min}, f_{\max}]$ .

Оновлення швидкості: швидкість оновлюється за допомогою рівняння:

$$v_i^t = v_i^{t-1} + (v_i^{t-1} \cdot x) f_i \quad (2.2)$$

де  $v_i^t$  представляє нову швидкість ВА і на кроці часу  $t$ , а  $x_*$  означає існуючу глобальну топове рішення. Частота  $f_i$  використовується для регулювання швидкості  $v_i^t$  для пересування кажанів до  $x_i^t$  положення.

Оновлення розташувань/рішень: Оновлення розташувань здійснюється за допомогою рівняння:

$$x_i^t = x_i^{t-1} + v_i^t \quad (2.3)$$

де  $x_i^t$  – нове положення бити,  $x_i^{t-1}$  – поточне положення бити. Нове рішення генерується шляхом оновлення швидкості та налаштування частоти.

Крок 3: (Рішення для локального пошуку):

- 1) Вибір найкращого рішення: найкраще рішення вибирається серед усіх поточних найкращих рішень.
- 2) Створення локального рішення навколо найкращого рішення: вибір найкращого рішення є виконується навколо найкращого рішення за допомогою рівняння:

$$x_{new} = x_{old} + \varepsilon A^t \quad (2.4)$$

де  $\varepsilon$  – довільне значення між  $[1, -1]$  і  $A^t$  представляє середню гучність цілих кажанів у ітерація  $t$ .

Крок 4. Гучність і частота випромінювання пульсу: у міру наближення кажана до цілі/жертви випромінювання гучності та частоти пульсу  $r$  відповідно оновлюється. Під час випромінювання імпульсу гучність  $A$  зменшується швидкість  $r$  збільшується за допомогою рівнянь:

$$x_i^{t+1} = \alpha A^t \quad (2.5)$$

$$r_i^{t+1} = r_i^0 (1 - e^{-\gamma t}) \quad (2.5)$$

Крок 5. Оптимальне рішення. У запропонованому підході ми повинні максимізувати цінність комфорту індекс, сформульований у рівнянні (2.7). Значення найкращої фізичної форми оновлюється, як найкраще у світі.

## 2.4 Індекс комфорту для оптимізації енергоспоживання у житлових будинках

Математична формула для індексу комфорту наведена у рівнянні [4, 11]:

$$CT = \alpha_1 \left[ 1 - \left( \frac{eT}{T_s} \right)^2 \right] + \alpha_2 \left[ 1 - \left( \frac{eL}{L_s} \right)^2 \right] + \alpha_3 \left[ 1 - \left( \frac{eA}{A_s} \right)^2 \right] \quad (2.7)$$

де загальний комфорт користувача, який лежить між  $[0, 1]$ . Факторами, визначеними користувачем є  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  і  $\alpha_3$ , які використовуються для вирішення будь-якого можливого конфлікту між трьома характеристиками комфорту, а саме температурою, освітлення та якість повітря. Значення цих факторів знаходиться в діапазоні між  $[0, 1]$  і сума цих значень завжди повинна

дорівнювати 1 ( $\alpha_1 + \alpha_2 + \alpha_3 = 1$ ). У рівнянні (2.7)  $eT$ ,  $eL$  і  $eA$  представляють різницю помилок між оптимізованою температурою та температурою навколишнього середовища, різниця похибок між оптимізованим освітленням і освітленням навколишнього середовища та різниця помилок між оптимізованою якістю повітря та якістю навколишнього повітря відповідно. В запропонована робота, комфорт користувача базується на трьох параметрах, а саме тепловому комфорту, якості повітря і освітлення.  $T_s$ ,  $L_s$  і  $A_s$  представляють встановлену користувачем температуру, освітлення та налаштування користувача якість повітря, відповідно. Ми обчислюємо комфорт користувача шляхом об'єднання цих трьох параметрів комфорту за допомогою рівняння (2.7).

Наведена вище формула для комфорту користувача базується на нашій попередній роботі [1,2,17]. Подальший користувач формула комфорту може бути узагальнена для будь-якої кількості параметрів, як зазначено у рівнянні (2.8) нижче:

$$CT = \alpha_1 \left[ 1 - \left( \frac{eP}{P_s} \right)^2 \right] + \alpha_2 \left[ 1 - \left( \frac{eP}{P_s} \right)^2 \right] + \alpha_3 \left[ 1 - \left( \frac{eP}{P_s} \right)^2 \right] + \dots + \alpha_n \left[ 1 - \left( \frac{eP}{P_s} \right)^2 \right] \quad (2.8)$$

де  $\alpha_i$  представляє налаштування користувача для параметрів  $P_i$ . Користувач повинен вказати свій рівень уподобань для кожного параметра в термінах мінімального та максимального прийняттого діапазону. Наша формула оптимізації намагається досягнення оптимальних значень для кожного параметра в межах бажаного користувачем діапазону при мінімізації загального споживання енергії. У роботі експерименти виконуються шляхом встановлення альфа-значень як:  $\alpha_1 = 0,3$ ,  $\alpha_2 = 0,3$  і  $\alpha_3 = 0,4$ . Співвідношення  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$  і  $\alpha_3$  вказують на відносну важливість кожного з них параметр температури, якості повітря та освітленості. Наприклад, присвоєння  $\alpha_1 = \alpha_2 = \alpha_3 = 0,333$ , що означає для користувачів усі параметри в приміщенні однакові. Однак, якщо користувач вказує деякі різні комбінації, наприклад,  $\alpha_1 = 0,6$ ,  $\alpha_2 = 0,2$ ,  $\alpha_3 = 0,2$ , то це означає, що налаштування температури в приміщенні втричі важливіші для користувача порівняно з якістю повітря та освітленням. Ми віримо в це такий

підхід робить модель гнучкою та дає користувачеві свободу вказувати будь-яку бажану комбінацію. Структурна схема запропонованої моделі енергетичного менеджменту будівлі показана на рис. 2.3.

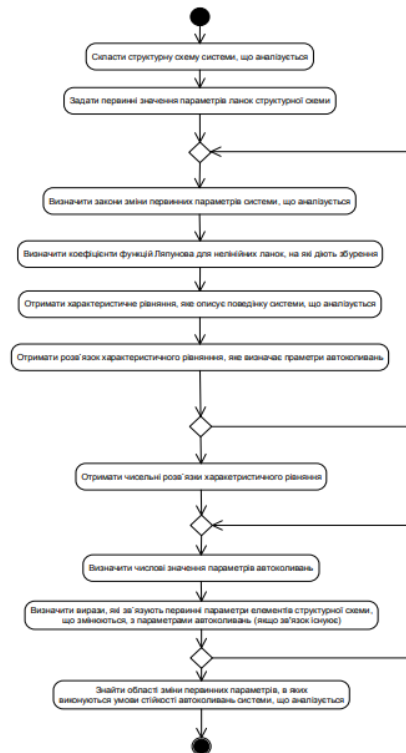


Рисунок 2.3 – Оптимізація енергоспоживання та управління комфортом користувачів у житловому будинку використання алгоритму ВА і нечіткої логіки.

Ця формула (2.8) має можливість приймати нові параметри, якщо її збільшити. Рішення розгляду параметрів є важливим, зважаючи на гнучкість системи, яку ми залишили у виборі параметри на вибір користувача. Оскільки ця робота базується на нашій попередній роботі, тож ще раз були враховані такі параметри, як температура, освітлення та якість повітря.

У майбутньому досліджень, ми збільшимо кількість параметрів, щоб перевірити варіації та успіх ВА алгоритму. Наступним кроком є вибір верхньої та нижньої меж для вибору бажаного комфорту користувача діапазон. Вибір меж можна налаштувати вручну; у цьому дослідженні ми вибрали верхню межу для температури ( $T_{max}$ ), як 78, для освітлення ( $L_{max}$ ) 880 і для якості повітря ( $A_{max}$ ) 880. Вибір нижня межа також важлива, ніж вибір верхньої межі, оскільки

певний діапазон може полегшити алгоритм ВА для точної оптимізації параметрів. Нижня межа температури ( $T_{\min}$ ) має бути обрано, як 68, для освітлення ( $L_{\min}$ ), як 720 і для якості повітря ( $A_{\min}$ ), як 700. Ці діапазони можуть вибирати за вибором користувача. Для цього дослідження було обрано 40 осіб. Показання було проведено 100 інтерпретацій, щоб знайти оптимальні значення.

## **2.5 Нечіткі контрольні функції індексу комфорту для оптимізації енергоспоживання у житлових будинках**

По-перше, термін нечітка логіка, введений у 1965 році Заде [3], це процедура кількох значень логіка. Нечітка логіка – це форма багатозначної логіки, у якій значення істинності змінних можуть бути будь-якими. дійсне число між 0 і 1. У булевій логіці значення істинності змінної можуть бути 0 або 1, ці значення називаються чіткими значеннями.

Нечітка логіка використовується для вирішення поняття неповної істини, де значення істинності знаходиться між повністю істинним і повністю хибним [33]. Повна структура нечіткої логіки показано на рис. 2.4 складається з фазифікатора, бази знань, механізму логічного висновку та дефазифікатора модулі.

Вхідними даними для фазифікатора є числові значення, і він створює нечіткі значення шляхом застосування Функції членства (MF). Проводиться оцінка всіх правил в базі знань, і тоді сукупність кожного значення MF обчислюється за допомогою операції максимуму. Дефазифікація метод було здійснено шляхом перетворення нечітких значень у нечіткі значення за допомогою центроїда метод. У запропонованій методології ми використовували три нечіткі регулятори, а саме температуру нечіткий контролер, нечіткий контролер освітлення та нечіткий контролер якості повітря. Вхід до температурний нечіткий регулятор – це помилка різниці між фактичною температурою та оптимізованою температура, освітленість нечітких входів контролера – це різниця помилок між фактичним освітленням і



оптимізоване освітлення, а також вхідні дані для нечіткого контролера якості повітря є помилкою різниця між фактичною та оптимізованою якістю повітря. Вихід температури нечіткий контролер, нечіткий контролер освітлення та нечіткий контролер якості повітря є необхідною потужністю для охолодження/нагрівання (нечіткий контролер температури), освітлення (нечіткий контролер освітлення) та CO<sub>2</sub> концентрація.

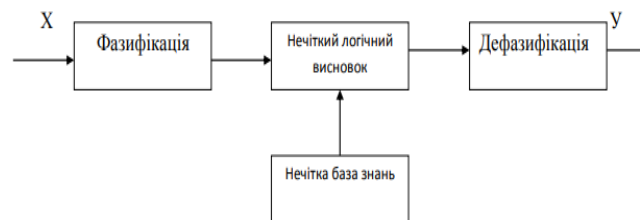


Рисунок 2.4 – Структура нечітких контролерів функції індексу комфорту для оптимізації енергоспоживання у житлових будинках

## 2.6 Агент-координатор функції індексу комфорту для оптимізації енергоспоживання у житлових будинках

Вхідними даними для агента-координатора є бажана потужність від нечітких контролерів для охолодження/опалення, освітлення та вентиляція. Агент-координатор забезпечує доступну потужність від джерел живлення. Рівняння (2.9) використовується для обчислення загальної необхідної потужності:

$$TRP = RPT + RPL + RPV \quad (2.9)$$

де TRP – загальна необхідна потужність, RPT – необхідна потужність для охолодження/опалення, необхідна RPL потужність для системи освітлення та RPV потрібна потужність для вентиляції.

## 2.7 Будівельні приводи енергоспоживання у житлових будинках

Будівельні приводи – це електронні пристрої, що використовуються всередині будівлі, які споживають енергію, тобто кондиціонер (для

охолодження), обігрівач (для обігріву) і морозильна камера/холодильник (охолодження). Стан цих приводів змінюється відповідно до різниці помилок між параметрами навколишнього середовища та оптимізованими для ВА параметрами.

Отже, розглядалося питання максимального комфорту користувача та мінімізації енергоспоживання в житлових будинках з використанням алгоритму bat ВА оптимізації та нечітких контролерів. Пропонований архітектура системи включає різні компоненти, такі як параметри середовища (температура, освітлення та якість повітря), оптимізатор ВА, нечіткий контролер, індекс комфорту, нечіткий контролер та різні види приводів. Вхідними даними для оптимізатора ВА є параметри середовища (температура, освітленість і якість повітря) і встановлені користувачем параметри (температура, освітленість і якість повітря). Параметри оптимізатора (температура, освітленість і якість повітря) є виходами БА. оптимізатор. Вхідними даними для нечітких контролерів є параметри середовища та оптимізатор ВА параметри та необхідна потужність для приводів є його виходом. Розрахунок повної потужності необхідний виконується агентом-координатором, який перевіряє, чи необхідна потужність посилається нечітко доступний контролер чи ні. Статуси приводів змінюються відповідно до цієї надісланої потужності за допомогою нечітких контролерів. Збільшено індекс комфорту користувача та енергоспоживання було зменшено.

# РОЗДІЛ 3. РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕННЯ ОПТИМІЗАЦІЇ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ ТА ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ КОМФОРТУ КОРИСТУВАЧІВ У ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ ЗА ДОПОМОГОЮ АЛГОРИТМІВ І НЕЧІТКОЇ ЛОГІКИ

## 3.1 Обґрунтування оптимізації енергоспоживання та забезпечення комфورتу користувачів у житлових будинках за допомогою алгоритмів і нечіткої логіки

Усю реалізацію та експериментальну роботу цього дослідження було виконано на Intel(R) Процесор Core(TM) i5-3570 @ 3,40 ГГц із встановленим на ньому Matlab 2010a і LabVIEW 8.0. Реалізація нечіткої логіки виконується за допомогою панелі інструментів нечіткої логіки. Ми провели різну кількість експериментів, щоб знайти оптимальні параметри для ВА.

Вхідні параметри було встановлено на 40 з  $\alpha = 0,7$ ,  $\gamma = 0,7$ , початкова швидкість імпульсного випромінювання  $r_0(i)$  було встановлено на 0,5, а початкова гучність  $A_0(i)$  також була встановлена на 0,5. Ми використали  $f_{\min} = 0$  і  $f_{\max} = 1$ . Максимальна кількість поколінь була встановлена на 100. Метою цього дослідження є подвійна (а) підвищення комфорту користувача та (б) мінімізація енергії споживання. Спочатку для кожного з трьох параметрів, якщо значення параметра знаходиться в діапазоні зручності користувача, ВА не вносить жодних змін у значення параметра, але коли значення параметра знаходяться поза зоною комфорту користувача, ВА оптимізує значення, щоб надати їх користувачеві зона комфорту. Значення параметрів в зоні комфорту для температури, освітленості, і якість повітря вже обговорювалися.

Другою метою алгоритму оптимізації ВА є мінімізація споживання електроенергії, яка була отримана шляхом мінімізації різниці помилок між параметрами, встановленими користувачем, і параметрами середовища. Подається різниця помилок між заданою користувачем температурою та температурою оптимізації ВА до нечіткого контролера температури, який

забезпечує необхідну потужність для температури на виході. Статус охолодження/нагрівання змінюється відповідно до різниці помилок. Нечіткий контролер підсвічування приймає різницю помилок між освітленням користувача та оптимізованим освітленням ВА, як вхідні дані та мінімальна необхідна потужність для освітлення – це вихід нечіткого контролера освітлення. Статус приводу освітлення змінюється відповідно до різниці помилок. Так само і якість повітря нечіткий контролер приймає різницю похибок між якістю повітря, встановленою користувачем, і оптимізованим повітрям ВА. Якість на вході та на виході є необхідною мінімальною потужністю для вентиляції. Стан повітря якості змінюється відповідно до цієї різниці помилок.

### **3.2 Процес контролю температури для оптимізації енергоспоживання та забезпечення комфорту користувачів у житлових будинках**

Процес контролю температури складається з кількох основних компонентів, якими керує користувач температура всередині будівлі. Алгоритм оптимізації (ВА) виконує процес оптимізації температурного параметра. Якщо значення температури не в бажаному діапазоні, ВА приводить це значення всередині діапазону. На рис. 3.1 показано задану користувачем температуру, температуру навколишнього середовища та ВА оптимізовані значення температурних параметрів.

Після оптимізації помилка різниці між температурою навколишнього середовища і ВА розраховується оптимізована температура, яка вводиться як вхідні дані для нечіткого регулятора температури. Необхідна потужність для системи охолодження/опалення є вихідним сигналом нечіткого регулятора температури. Статус приводів охолодження/нагрівання змінюється відповідно до різниці помилок між реальними значення температури навколишнього середовища та оптимізовані значення температури ВА. Необхідна потужність

для Статус приводу є виходом нечіткого контролера температури. На рис. 3.2 показана структурна схема для нечіткого регулятора температури.

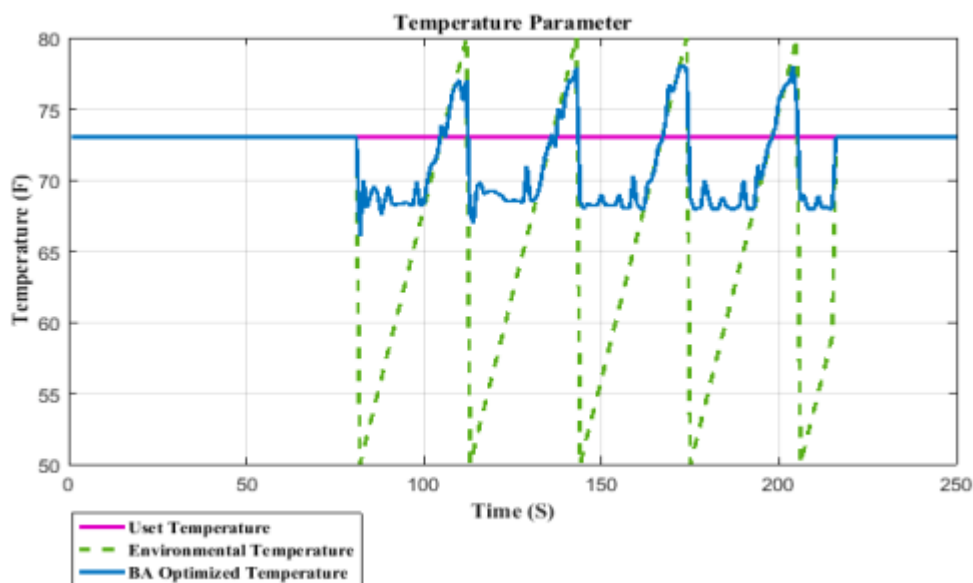


Рисунок 3.1 – Параметр, встановлений користувачем, параметр середовища та ВА оптимізують значення температури.

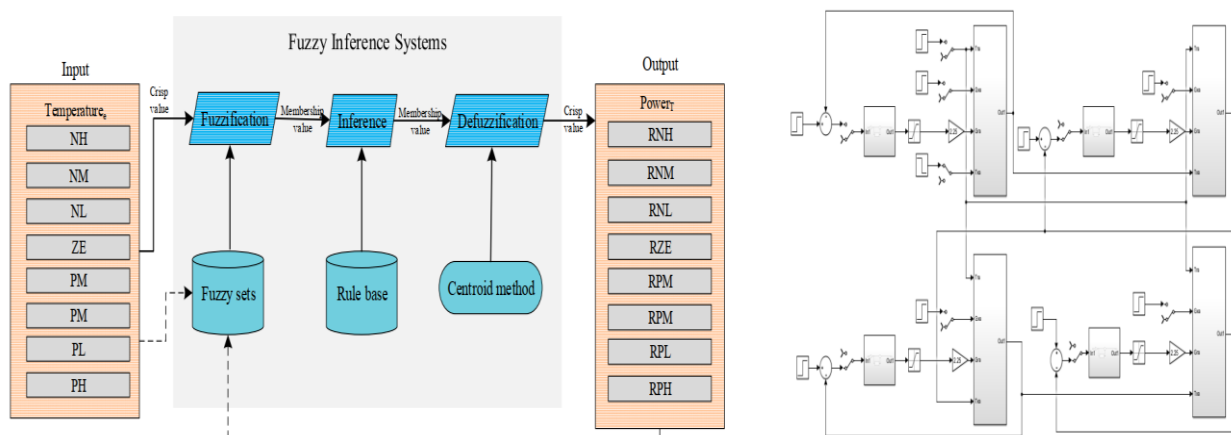


Рисунок 3.2 – Структурна схема нечіткого регулятора температури.

Функції приналежності входу/виходу представлено на рис. 3.3. На рисунку 3.3 термін являє собою різницю помилок між температурою навколишнього середовища та оптимізованою температурою ВА і RPT представляє необхідну потужність для нагріву/охолодження.

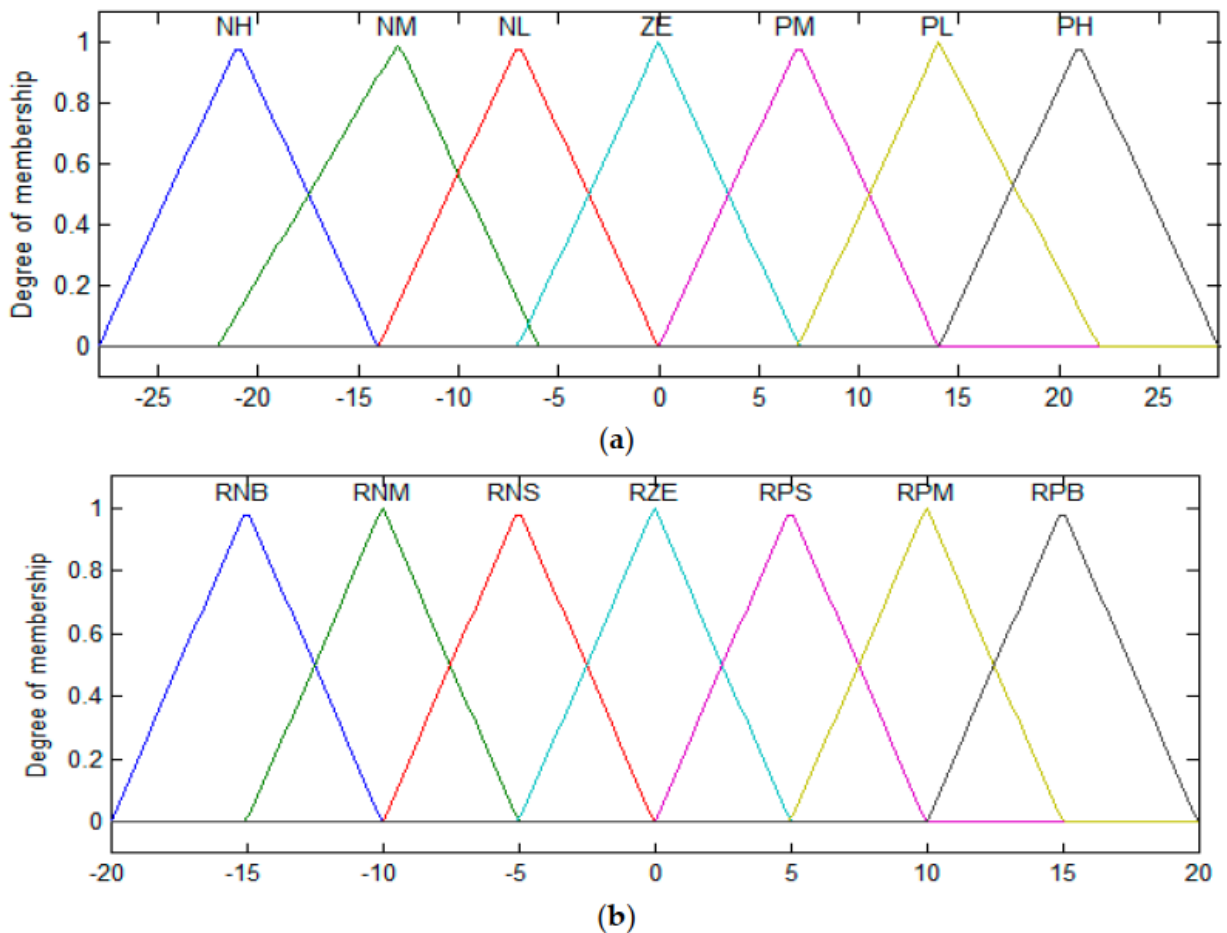


Рисунок 3.3 – Функції належності для нечіткого регулятора температури.

(a) Вхід  $e_T$ , (b) вихід RPT

Правила для нечіткого регулятора температури такі, і вони представлені графічно на рис. 3.8:

- If ( $e_T = = NB$ )  $\geq$  RPT = RNB
- If ( $e_T = = NM$ )  $\geq$  RPT = RNM
- If ( $e_T = = NS$ )  $\geq$  RPT = RNS
- If ( $e_T = = ZE$ )  $\geq$  RPT = RZE
- If ( $e_T = = PS$ )  $\geq$  RPT = RPS
- If ( $e_T = = PM$ )  $\geq$  RPT = RPM
- If ( $e_T = = PB$ ) then RPT = RPB

У цих правилах  $e_T$  позначає різницю помилок між температурою навколишнього середовища та температурою Оптимізована температура ВА. Сім функцій належності визначені в  $e_T$  (вхідна змінна для нечіткий регулятор температури). Вихідна змінна RPT для нечіткого регулятора температури

представляє вихідна енергія, згенерована нечітким регулятором температури для температури охолодження/нагрівання. Вхідна змінна ( $eT$ ) має сім функцій належності, ці функції належності позначені, як NB, NM, NS, ZE, PS, PM, PB, що скорочено для негативних великих, негативних середніх, негативних малих, нульова помилка, позитивна помилка, позитивна мала, позитивна велика відповідно. Вихідна змінна також має сім функції належності, які позначені як RNB, RNM, RNS, RZE, RPS, RPM, RPB, які є акронімами для необхідного негативного великого, необхідного негативного середнього, необхідного негативного малого, необхідної нульової помилки, необхідний позитивний малий, необхідний позитивний середній і необхідний позитивний великий. Відповідно до правила визначено вище для температури нечіткого регулятора, якщо вхідна помилка від'ємно велика (NB), необхідна потужність буде великою від'ємною величиною (NB), а якщо різниця помилок є великою позитивною (PB), необхідний вихід потужність буде позитивно великою (PB). Відповідно, NB позначає мінімальну необхідну потужність для опалення і охолодження, а RPB означає максимальну потужність нагріву/охолодження.

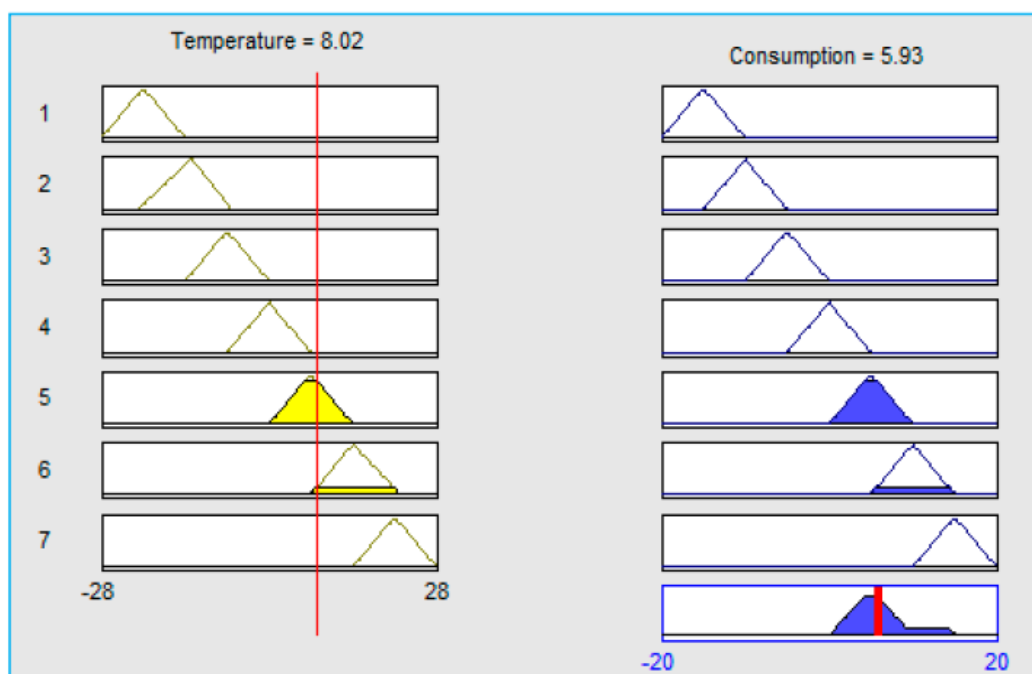


Рисунок 3.4 – Приклад нечіткого правила, що використовується в нечіткій логіці температури.

Після застосування нечітких правил, показаних на рис. 3.4, необхідна потужність для контролю стану системи охолодження/опалення є нечітким виходом контролера.

Основна потужність для температури система керування розраховується з урахуванням оптимізації температурних параметрів і нечіткості правил. Розрахована потужність для регулювання температури на основі цих параметрів показана на рис. 3.5 для процесу контролю температури.

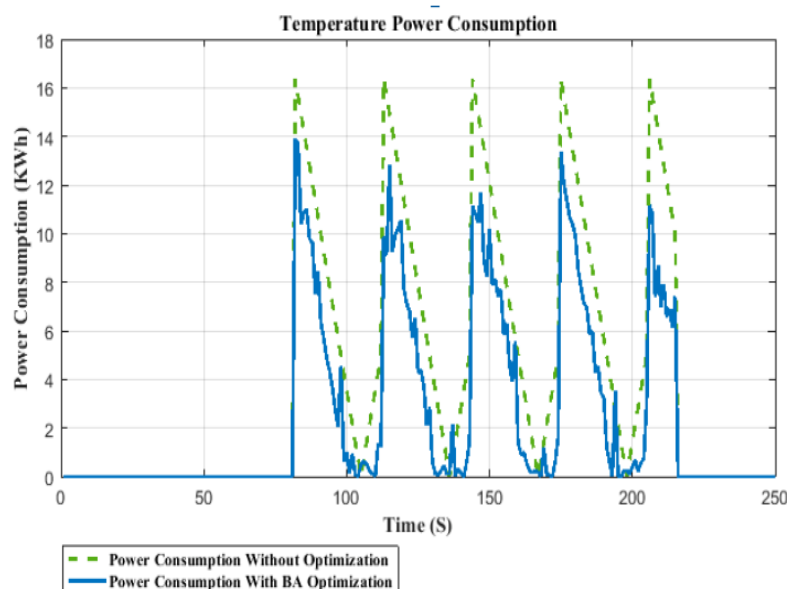


Рисунок 3.5 – Споживання електроенергії для температури з оптимізацією ВА та без оптимізації ВА

ВА переносить це значення в діапазон. На рис. 3.6 показано налаштоване користувачем освітлення, навколишнє середовище освітлення та оптимізовані значення параметрів ВА.

Після оптимізації похибка різниці між навколишнім освітленням і БА розраховується оптимізоване освітлення, яке вводиться як вхідні дані для нечіткого контролера освітлення. Необхідною потужністю для системи освітлення є вихід нечіткого контролера. Привід освітлення статус змінюється відповідно до різниці помилок між фактичними параметрами середовища та оптимізовані параметри ВА. Структурна схема для нечіткого контролера освітлення проілюстрована на рис. 3.7.



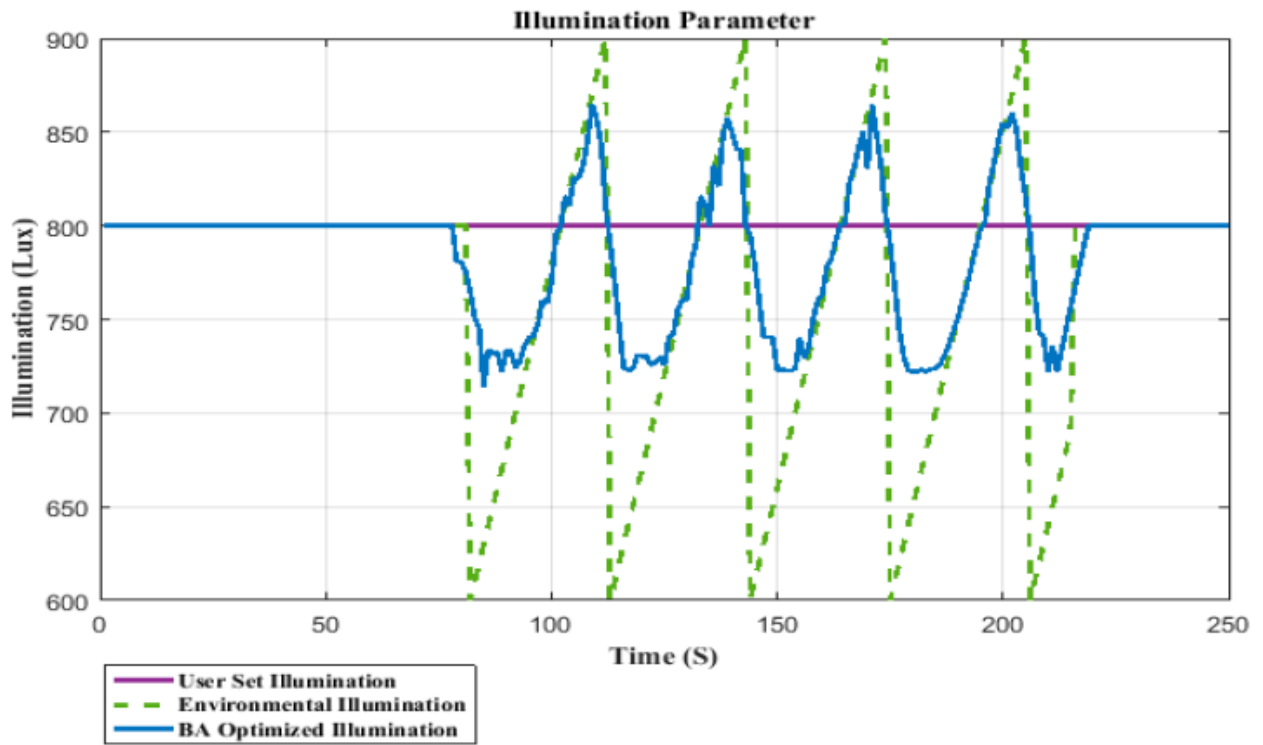


Рисунок 3.6 – Налаштований користувачем параметр, параметр середовища та ВА оптимізують значення освітлення.

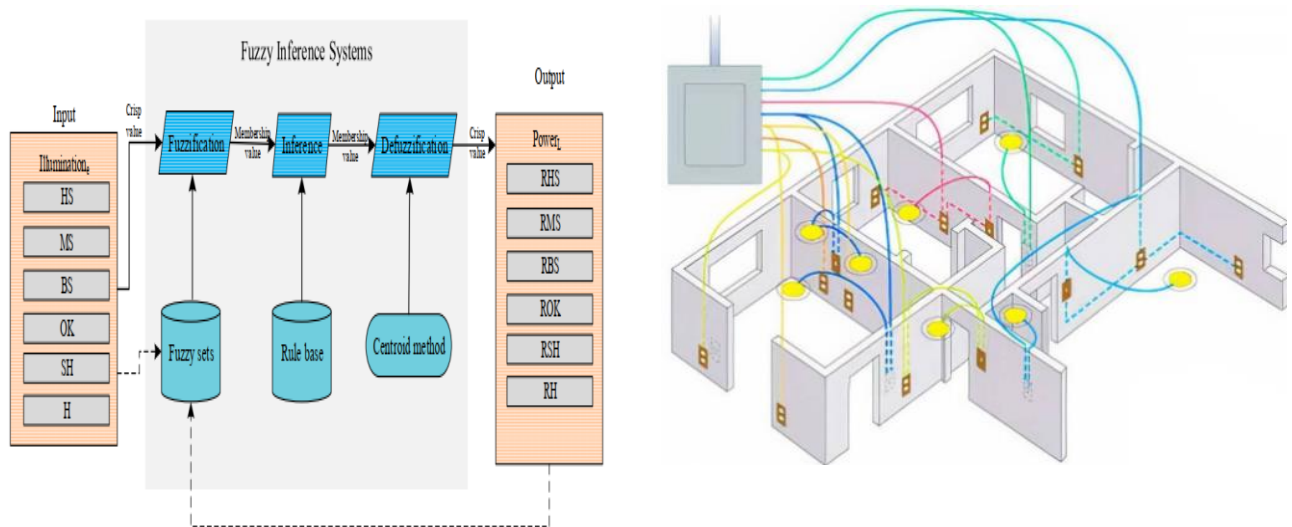


Рисунок 3.7 – Структурна схема нечіткого контролера освітлення.

Вхідні/вихідні MF проілюстровані на рис. 3.7. На рис. 3.8  $eL$  представляє похибку різницю між освітленням навколишнього середовища та оптимізованим освітленням ВА та RPL необхідна потужність для освітлення.

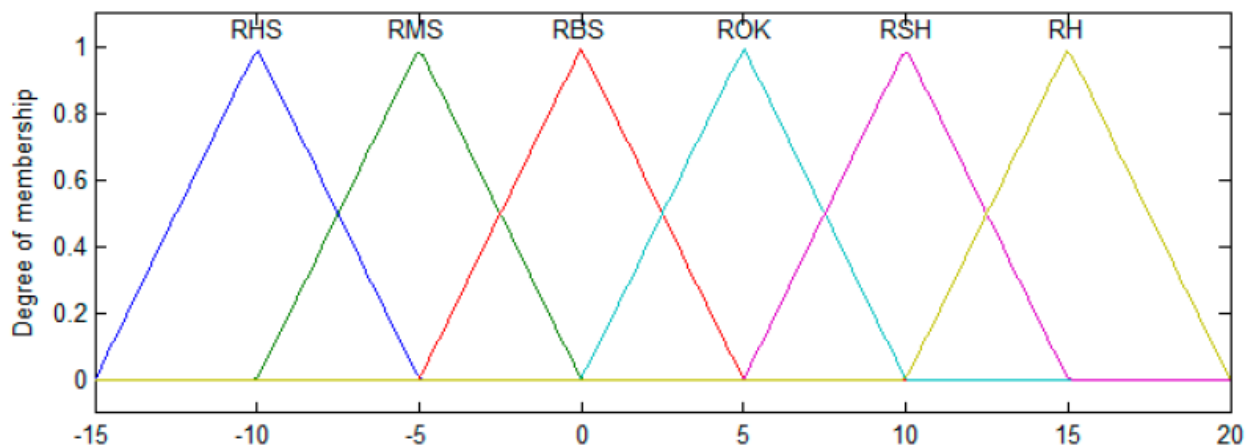
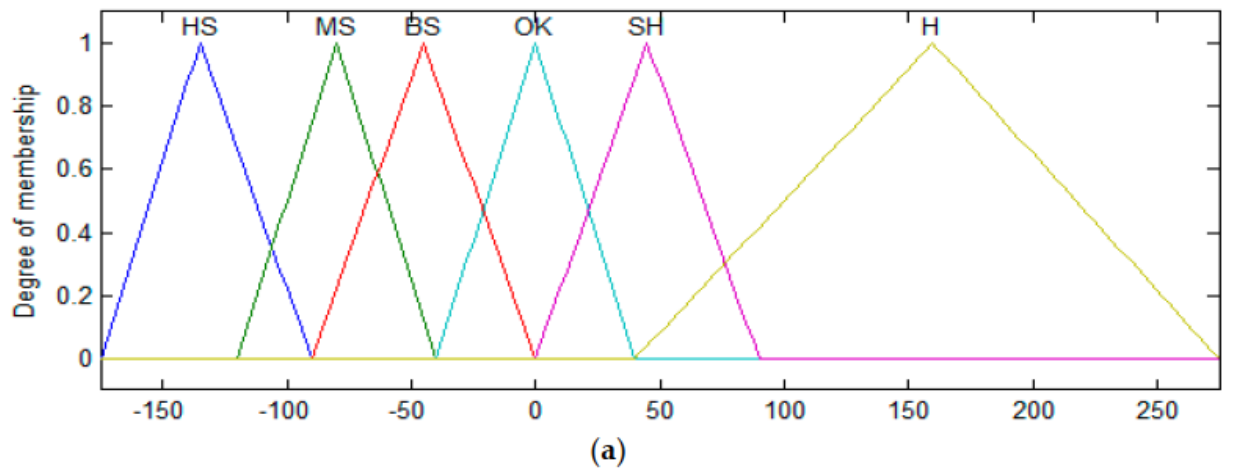


Рисунок 3.8 – Функції належності для освітлення. (a) Вхід  $eL$ , (b) вихід RPL.

Правила для нечіткого контролера освітлення такі, і вони представлені на рис. 3.9:

If ( $eL = HS$ )  $\geq$  RPL = RNB

If ( $eL = MS$ )  $\geq$  RPL = RNM

If ( $eL = BS$ )  $\geq$  RPL = RNS

If ( $eL = OK$ )  $\geq$  RPL = RZE

If ( $eL = SH$ )  $\geq$  RPL = RPS

If ( $eL = H$ )  $\geq$  RPL = RPM

У цих правилах різниця помилок між навколишнім освітленням і оптимізованою ВА освітленістю вводиться в нечіткий контролер освітлення. Нечіткий контролер підсвічування на основі цих входів генерує енергію як вихід. Представлені входні та вихідні змінні на  $eL$  та RPL відповідно. Вхідна змінна  $eL$  нечіткого контролера освітлення має п'ять функції належності, які позначені, як високий малий (HS), середній малий (MS), великий малий (BS),

ОК, малий високий (SH) і високий (H), тому, коли ми рухаємося від HS до H, різниця помилок збільшується, і навпаки навпаки. Вихідна змінна необхідної потужності для освітлення (RPL) також має п'ять функцій належності які позначені, як RHS, RMS, RBS, ROK, RSH і RH. Згідно з першим правилом у наведених вище правилах для нечіткий контролер освітлення, якщо різниця похибок низька, тоді буде потрібна мінімальна потужність система освітлення. Так само, згідно з останнім правилом, якщо різниця похибок велика, то максимальна для системи освітлення потрібна потужність.

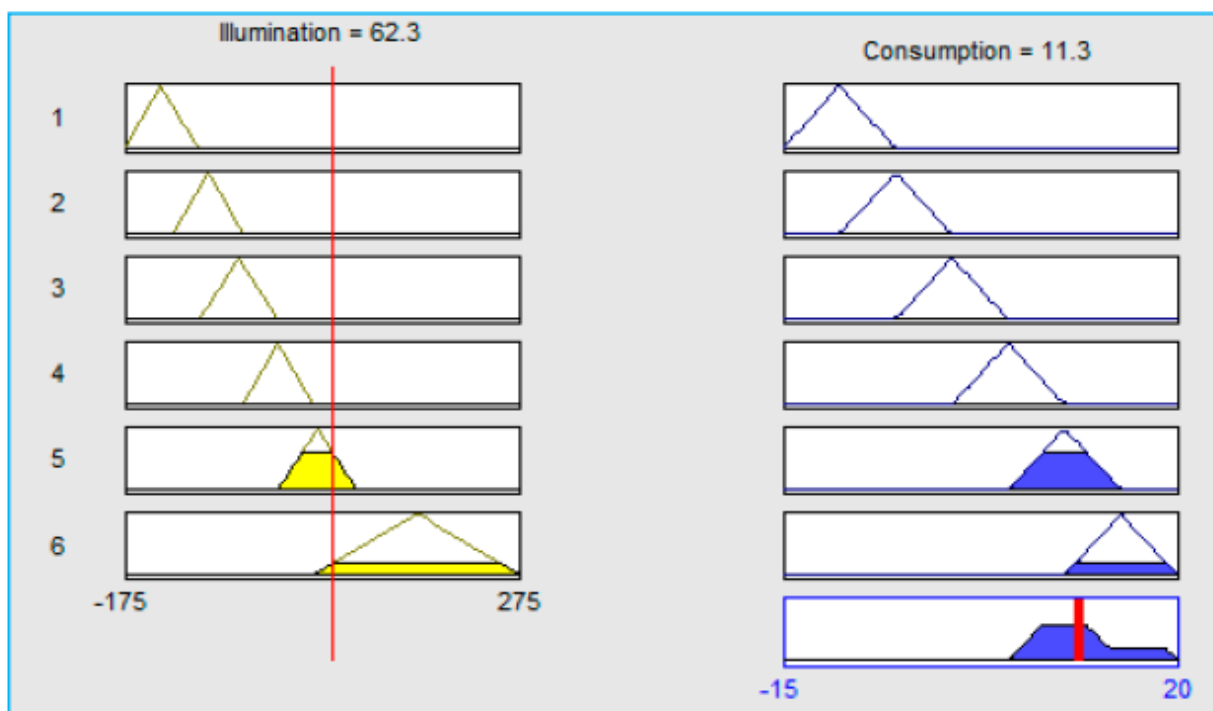


Рисунок 3.9 – Приклад нечіткого правила, що використовується в нечіткій логіці освітлення.

Після застосування нечітких правил, показаних на 3.9, необхідна потужність для керування статус системи освітлення – це вихід нечіткого контролера освітлення. Необхідна потужність для система управління освітленістю розраховується з урахуванням оптимізації параметрів освітленості і нечіткі правила, пояснені раніше. На їх основі розрахована потужність для керування системою освітлення Параметри процесу керування освітленням показані на рис. 3.10.

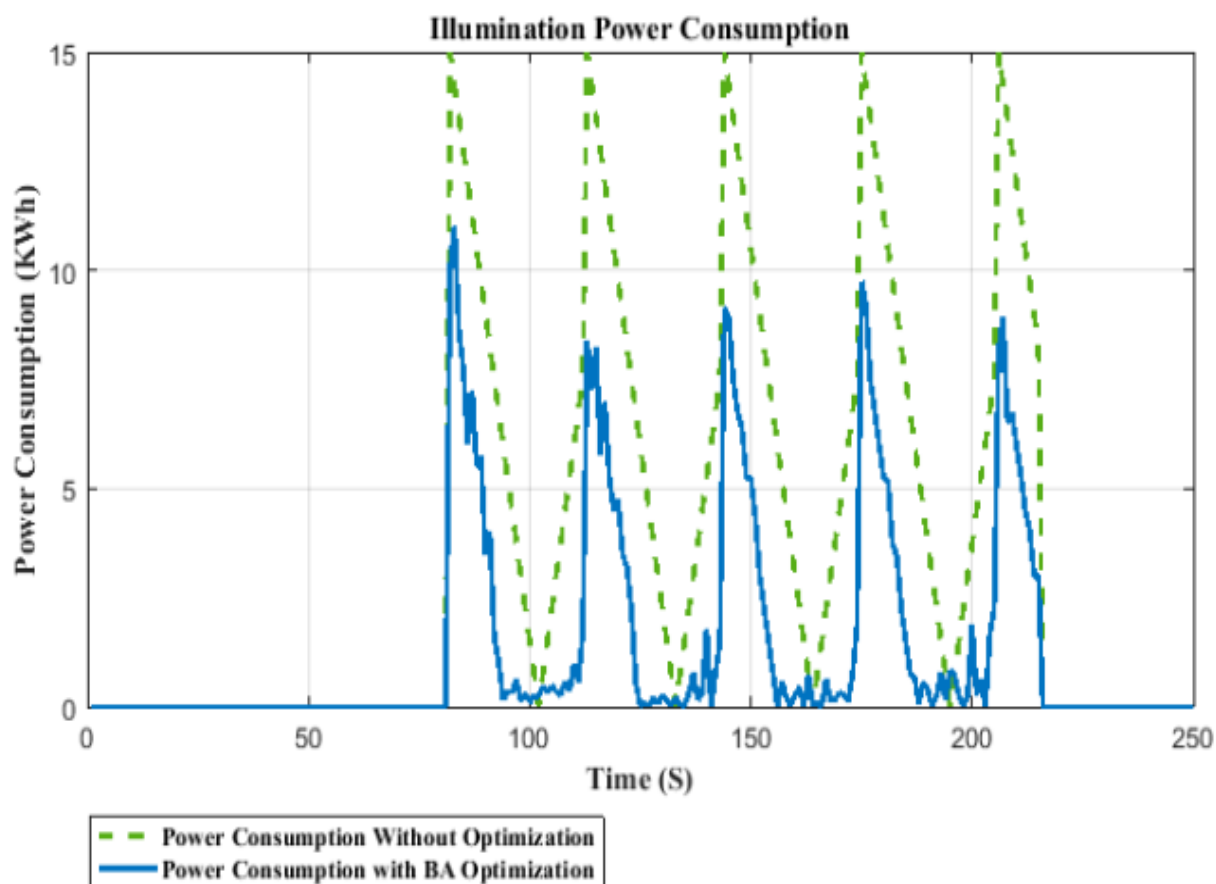


Рисунок 3.10 – Споживана потужність для освітлення з оптимізацією ВА та без оптимізації ВА.

### 3.3 Процес контролю якості повітря для оптимізації енергоспоживання та забезпечення комфорту користувачів у житлових будинках

Процес контролю якості повітря складається з кількох основних компонентів для керування перевагами користувача система вентиляції всередині будівлі. Алгоритм оптимізації (БА) виконує процес оптимізація параметрів якості повітря. Якщо значення параметра виходить за межі бажаного діапазону, ВА переносить це значення в діапазон. На рис. 3.11 вказує на налаштовану користувачем якість повітря, навколишнє повітря якості та оптимізовані значення якості повітря ВА.

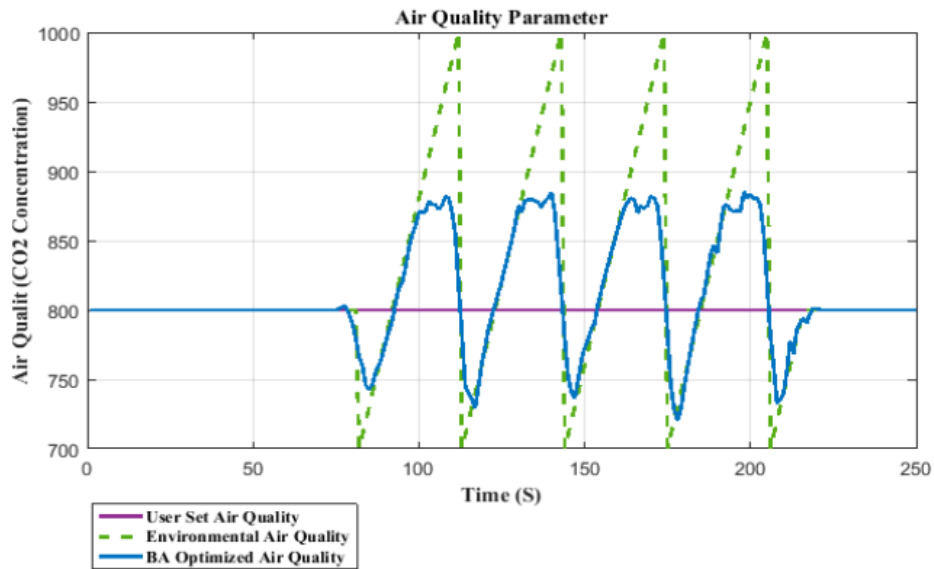


Рисунок 3.11 – Параметр користувача; екологічний параметр і ВА оптимізують значення якості повітря.

Після оптимізації похибка різниці між навколишнім освітленням і ВА розраховується оптимізоване освітлення, яке вводиться, як вхідні дані для нечіткого контролера освітлення. Необхідна потужність для системи вентиляції – це вихід системи контролю якості повітря. Як вхід значення, нечіткий контролер якості повітря змінюється, його вихід також змінюється та привод вентиляції відповідно змінюється статус. Структурна схема для нечіткого контролера якості повітря показана на рис. 3.12.

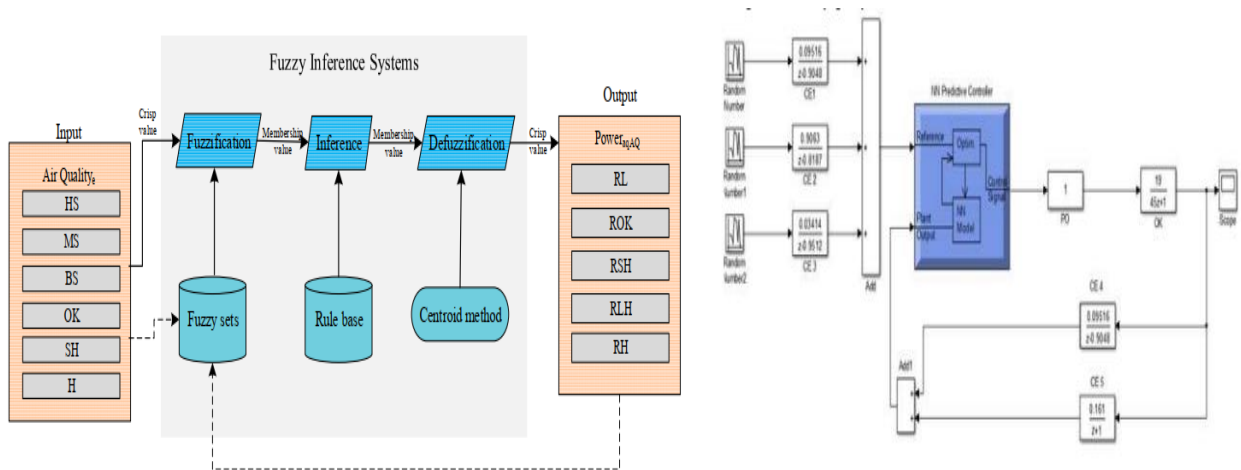


Рисунок 3.12 – Структурна схема нечіткого контролера якості повітря.

Вхідні/вихідні MF проілюстровані на рис. 3.13, де  $eA$  представляє різницю помилок між якістю повітря в навколишньому середовищі та якістю

повітря, оптимізованою ВА, і RPV представляють потребу в потужності для вентиляції.

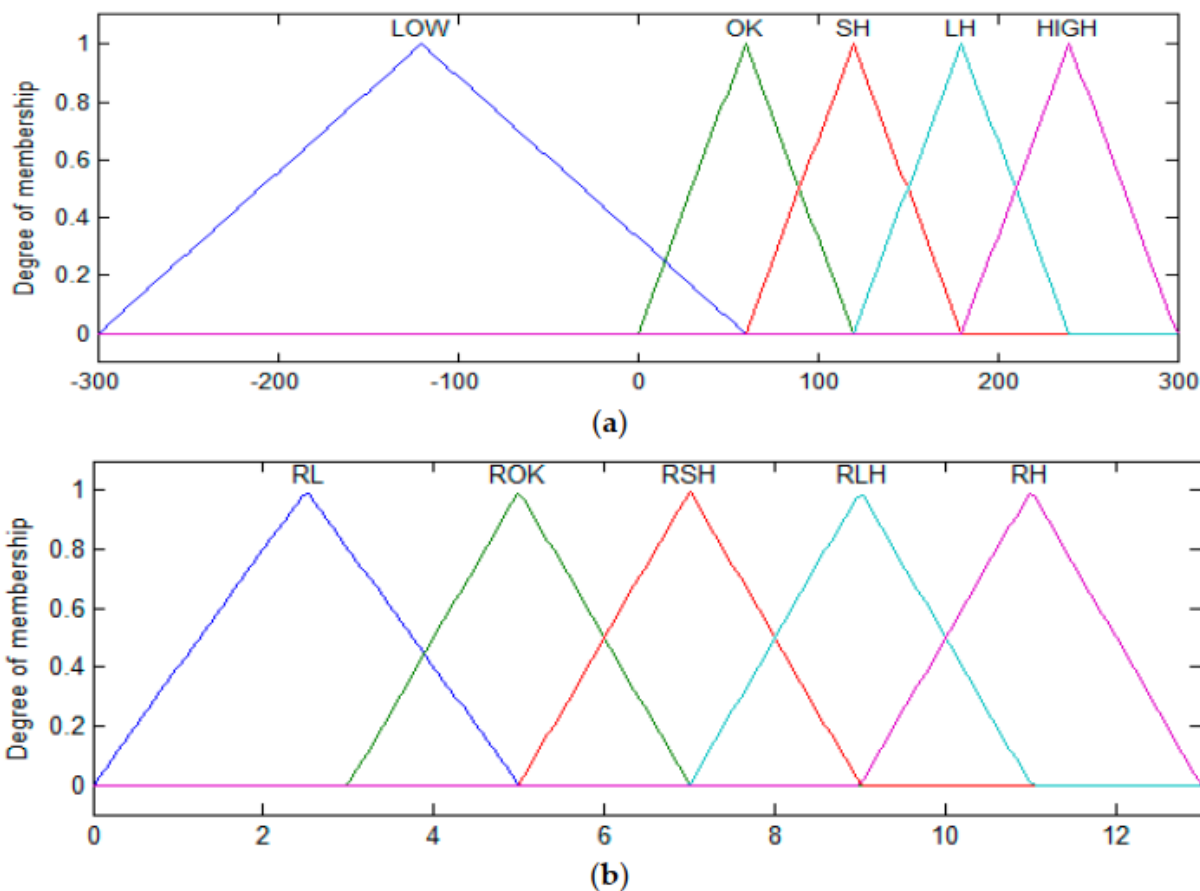


Рисунок 3.13 –.

Правила для нечіткого контролера якості повітря такі і вони представлені на рис. 3.14.

If ( $eA == \text{LOW}$ )  $\geq$  RPV = RL

If ( $eA == \text{OK}$ )  $\geq$  RPV = ROK

If ( $eA == \text{SH}$ )  $\geq$  RPV = RSH

If ( $eA == \text{LH}$ )  $\geq$  RPV = RLH

If ( $eA == \text{HIGH}$ )  $\geq$  RPV = RH

У наведених вище правилах  $eA$  позначає різницю помилок між якістю навколишнього повітря та повітрям якість, оптимізована ВА.  $eA$  є вхідною змінною для нечіткого контролера якості повітря. Якість повітря контролер генерує енергію, як вихід на основі цих вхідних даних. Результат якості повітря нечіткий контролер позначається RPA. Вхідна змінна для якості повітря

складається з п'яти членів функції маркування для цих функцій приналежності виконуються, як LOW, OK, small high (SH), низький високий (LH) і високий.

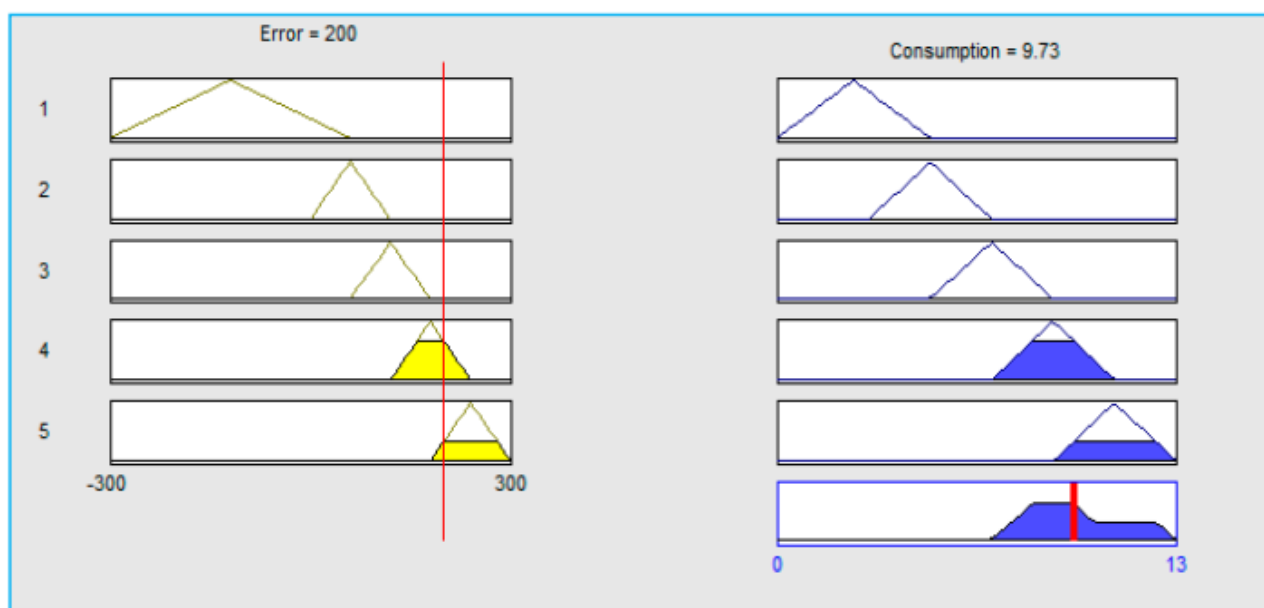


Рисунок 3.14 – Приклад нечіткого правила, що використовується в нечіткій логіці якості повітря.

LOW позначає мінімальну різницю помилок між якістю навколишнього повітря та ВА оптимізована якість повітря, тому, коли ми переходимо від низького до високого, різниця похибок збільшується і навпаки. Згідно з першим правилом у правилах нечіткого контролю якості повітря, якщо якість вхідного повітря мінімальна бажана вихідна потужність також буде мінімальною, тому LOW позначає мінімальну різницю між якістю навколишнього повітря та оптимізованою якістю повітря. Після застосування нечітких правил Як показано на рис. 3.14, необхідна потужність для контролю стану вентиляційної системи дорівнює вихід нечіткого контролера якості повітря.

Необхідна потужність для системи управління вентиляцією становить розраховується з урахуванням оптимізації параметрів якості повітря та пояснення нечітких правил раніше. Розрахункова потужність для управління системою вентиляції на основі цих параметрів показана в рис. 3.15 для процесу керування вентиляцією.

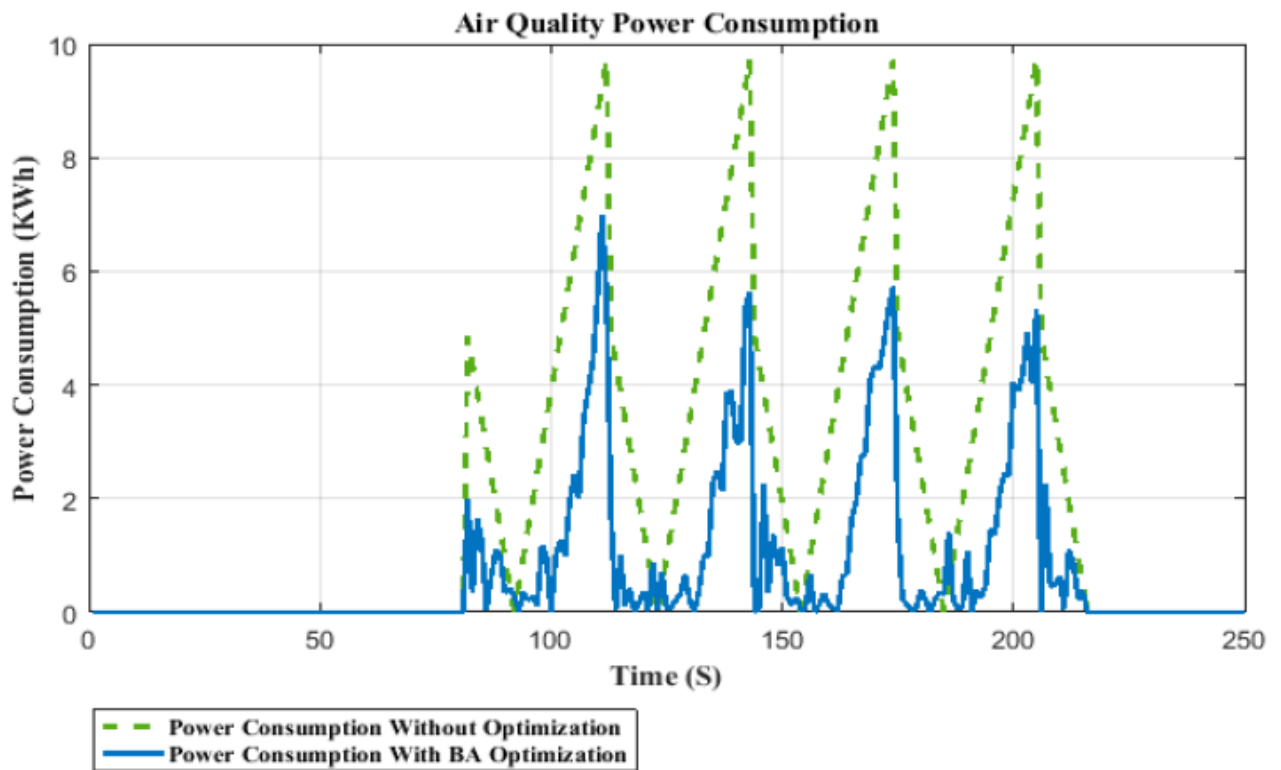


Рисунок 3.15 – Споживання електроенергії для якості повітря з оптимізацією ВА та без оптимізації ВА.

Загальна потужність, споживана температурою, освітленістю та якістю повітря для оптимізації ВА та без застосування алгоритму оптимізації показано на рисунку 3.16.

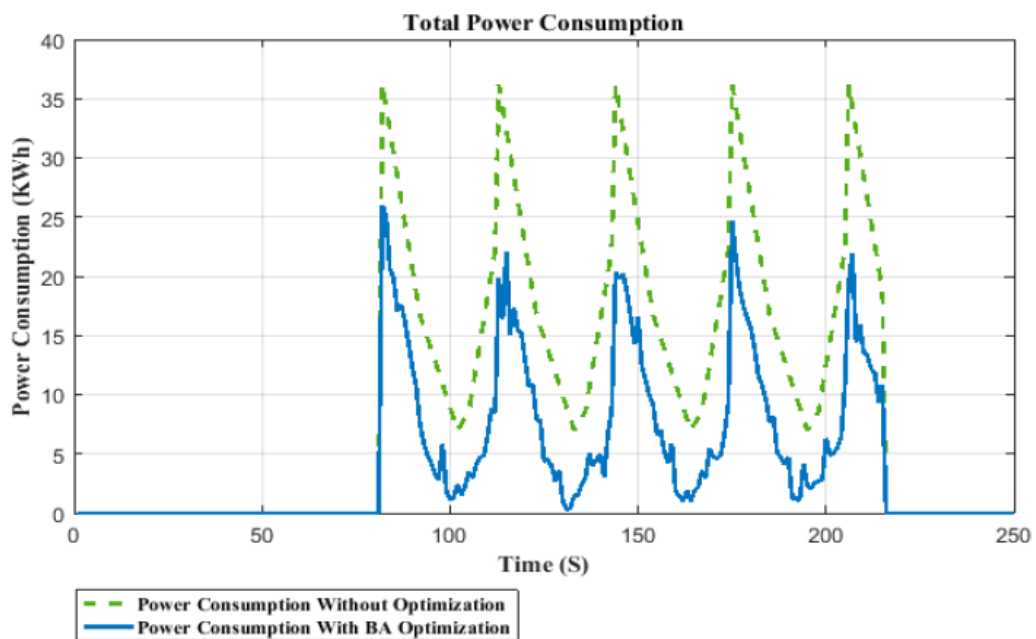


Рисунок 3.16 – Загальне споживання електроенергії з використанням ВА та без використання ВА.



Наведено значення індексу комфорту, отримані за допомогою оптимізації ВА та без оптимізації на рис. 3.17, що оптимізовані для ВА значення вищі, ніж без оптимізації що вказує на те, що ВА пропонує кращий індекс комфорту для пасажирів, а також вказує флуктуації в алгоритмі ВА, які є вищими, ніж без оптимізації.

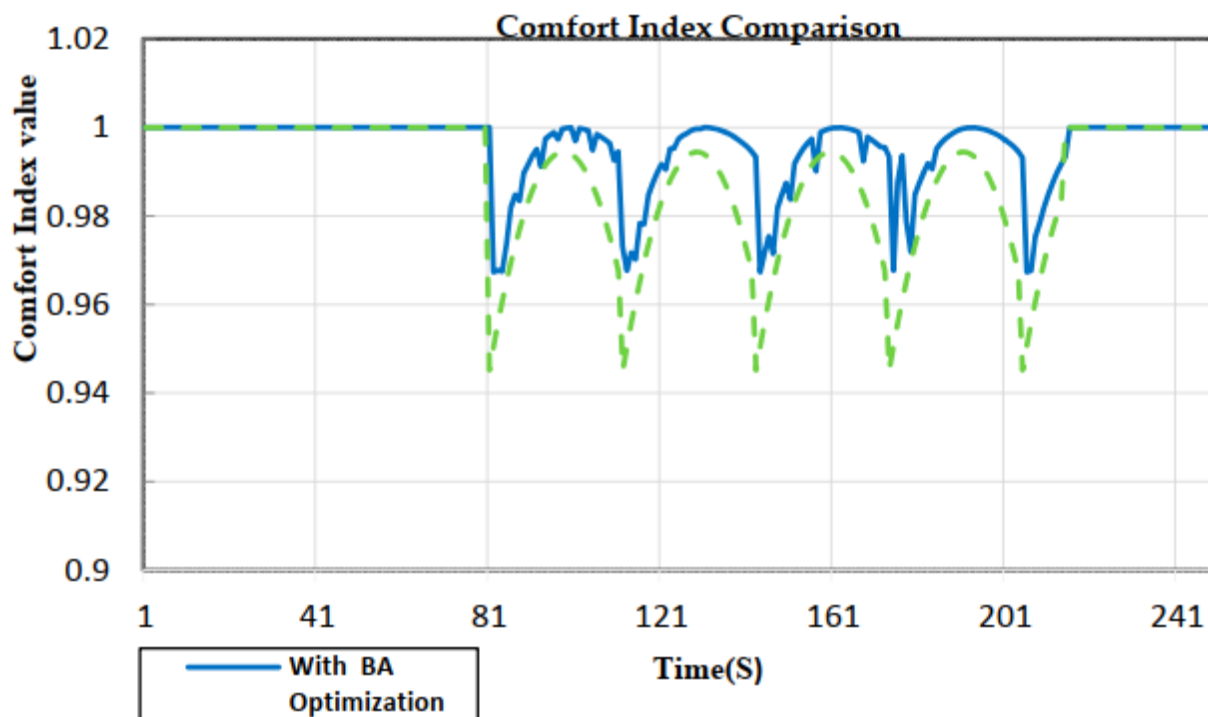


Рисунок 3.17 – Значення індексу комфорту користувача з оптимізацією ВА та без неї.

### 3.4 Порівняльний аналіз результатів оптимізації алгоритму ВА з генетичним алгоритмом та оптимізацією

У запропонованій роботі порівняння споживаної потужності (для контролю температури, контроль освітленості та вологості) алгоритму ВА з генерованим алгоритмом і частинок контролера виконано алгоритм оптимізації.

Тут, у цьому розділі, порівняння потужності споживання для контролю температури, контролю освітлення та контролю якості повітря поза. Енергоспоживання для контролю температури за алгоритмом ВА порівняно високе до енергоспоживання генетичного алгоритму та оптимізації частинок. Сила споживання для контролю освітлення, так і для контролю якості повітря

за допомогою ВА є меншим порівняно з генерованим алгоритмом, так і оптимізація частинок. Загальна потужність, споживана ВА, становить менше, ніж енергоспоживання генетичного алгоритму (GA) і оптимізації частинок, як зазначено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Порівняння енергоспоживання ВА з GA та PSO

| Алгоритм                      | Температура та споживана потужність | Споживана потужність освітлення | Споживана потужність повітрообміну | Загальне споживання електроенергії |
|-------------------------------|-------------------------------------|---------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| GA                            | 439                                 | 1475,16                         | 651,78                             | 2566.14                            |
| PSO                           | 521,73                              | 1531,01                         | 694,54                             | 2747.29                            |
| ВА<br>(запропонований підхід) | 1020.23                             | 939,78                          | 536,97                             | 2496.98                            |

З фактів і цифр, наведених авторами і запропоновано моделі, видно, що ВА алгоритм споживає менше енергії в порівнянні з генерованим алгоритмом і оптимізацією контролера. Причина цього меншого споживання електроенергії полягає в тому, що ВА забезпечує більш оптимальні параметри порівняно з GA та PSO.

Авторами описано, що результати дають за допомогою PSO алгоритм плавний, але результати алгоритму GA показують більше флуктуацію. Як мета цього дослідження є подвійним, тобто мінімізувати комфорт користувача та максимізувати комфорт користувача, запропонована робота для споживання енергії працює добре, як доведено. Мінімальне значення індексу комфортності за допомогою алгоритм ВА є більшим порівняно з мінімальним значенням, що забезпечується використанням, як PSO, так і GA.

## РОЗДІЛ 4 ОХОРОНА ПРАЦІ ТА БЕЗПЕКА У НАДЗВИЧАЙНИХ СИТУАЦІЯХ

### 4.1 Організація роботи служби з охорони праці та довкілля

Система управління охороною праці (СУОП) – це сукупність органів управління підприємством, які на підставі комплексу нормативної документації проводять цілеспрямовану, планомірну діяльність щодо здійснення завдань і функцій управління з метою забезпечення здорових безпечних і високопродуктивних умов праці. За дану частину виробництва відповідає інженер з охорони праці. Головні завдання спеціаліста – створення здорових, безпечних і високопродуктивних умов праці, покращення виробничого побуту, запобігання травматизму і профзахворюванням.

Для забезпечення створення СУОП щорічно розробляються та затверджуються на підприємстві положення про організацію управління охорони праці; щорічно оформляються накази про призначення осіб відповідальних за стан охорони праці на дільницях, а також безпечне використання об'єктів підвищеної небезпеки (котлів, що працюють під тиском, газових та кисневих балонів, пестицидів); оформляються наказ про визначення персональних обов'язків з охорони праці усіх спеціалізацій, керівників дільниць та інших службових осіб; щорічно проводиться паспортизація умов праці, технічних засобів безпеки і технічного стану робочих місць; складаються плани роботи з охорони праці, комплексне, річне і оперативне планування; організовуються заходи матеріального і морального стимулювання щодо охорони праці; проводяться розслідування і вивчення причин травм, пожеж їх аналіз і облік, а також розробляються заходи щодо їх застосування;

Об'єктом управління є діяльність структурних підрозділів та служб підприємства по забезпеченню безпечних і здорових умов праці на робочих місцях, виробничих дільницях, цехах та підприємства в цілому.

## 4.2 Протипожежна безпека і грозозахист

Блискавко захист – це комплекс захисних захистів від блискавки, які гарантують безпеку людей, збереження людей і споруд, обладнання та матеріалів від вибухів, загоряння й руйнування. Найпростішими і надійними засобами від блискавки є створення блискавковідводів. Схема блискавкозахисту будівлі показана на рис. 4.1.

Струмопровід виконується сталюю стрічкою перерізом 25...30 мм або дротом не менше 6 мм. Заземлення виконується кутовою сталлю, трубами на відстані від установки не менше 4,5 м. Опір розтікання не повинен перевищувати 15...20 Ом.

Приймаємо початкову висоту блискавковідводу 8 метрів. Визначаємо радіус конуса, в якому ймовірність попадання 95%, через висоту конуса  $h$  за формулою (4.1):

$$R_0 = 1.5 \cdot h, \text{ м. } R_0 = 1,5 \cdot 8 = 12 \text{ м.}$$

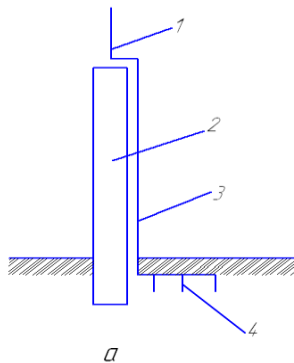


Рисунок 4.1 – Схема блискавко захисту конструкції; 1 – блискавко приймач, 2 – блискавко провідник; 3 – опора, 4 – заземлювач.

Для будинку довжиною  $L$  кількість одиночних блискавковідводів визначаємо через радіус конуса  $R_0$  в якому ймовірність попадання 95% за формулою:

$$N_б = \frac{L}{2R_0}, \text{ шт,} \quad N_б = \frac{86}{2 \cdot 4} = 11 \text{ шт.}$$

Усі з'єднання в процесі монтажу системи блискавко захисту (Блискавко приймач – струмовідвід, струмовід – заземлювач) виконують за допомогою зварювання. Болтові з'єднання застосовують лише для тимчасових блискавко захисних пристроїв.

## РОЗДІЛ 5. ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНЕ ОБҐРУНТУВАННЯ ДОЦІЛЬНОСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ СПОЖИВАННЯ ЕЛЕКТРИЧНОЇ ЕНЕРГІЇ В ЖИТЛОВИХ БУДИНКАХ

### 5.1 Оцінка економічної ефективності оптимізації споживання електричної енергії в житлових будинках

У роботі проведено розрахунок економічної ефективності оптимізації споживання електричної енергії в житлових будинках, що дозволить оцінити не лише економічну складову ефективності правильності прийнятих рішень для житлових будинку, а й вибрати один із методів визначення економічної ефективності в порівняннях різних типів енергетичних установок.

Вартість електроенергії, що споживає житловий будинок за статистичними даними впродовж року [6], може бути розрахована наступним чином.

$$B_{ел} = E_{ел} \cdot C_{ел}, \quad (5.1)$$

де  $E_{ел}$  – кількість електроенергії, що споживає житловий будинок за статистичними даними впродовж року [6], кВт·год.;  $C_{ел}$  – ціна 1 кВт·год. електроенергії, грн.

$$B_{ел} = 1896 \cdot 4,32 = 8190,72 \text{ грн.}$$

Вартість зекономленої електроенергії за рахунок автоматизованої системи управління, може бути розрахована наступним чином.

$$B_{елра} = E_{ел} \cdot C_{ел}, \quad (5.2)$$

де  $E_{ел}$  – кількість з зекономленої електроенергії за рахунок автоматизованої системи управління, кВт·год.;  $C_{ел}$  – ціна 1 кВт·год. електроенергії, грн.

$$B_{елра} = 596 \cdot 4,32 = 2574,72 \text{ грн.}$$

На основі зібраних даних можна визначити термін окупності інвестицій шляхом оптимізації споживання електроенергії в житлового будинку. Це дасть змогу оцінити не лише економічну доцільність прийнятих рішень для цього будинку.

$$T_{ок} = \frac{B_{елра}}{B_{ел}}, \quad (5.3)$$

де  $B_{елра}$  – вартість капітальних вкладень (вартість запропонованої методики оптимізації споживання електричної енергії в житловому будинку), грн.;  $B_{вел}$  – вартість спожитої електричної енергії, грн.

Отже, термін окупності буде рівний:

$$T_{ок} = \frac{2574,72}{8190,72} = 0,31 \text{ років;}$$

Варто зазначити, що цей термін окупності було розраховано без урахування зростання вартості електроенергії. Тому більш точним показником окупності буде розрахунок, що враховує динаміку зростання ціни на електроенергію.

## ВИСНОВКИ ТА ПРОПОЗИЦІЇ

На даний час відсутній системний підхід до проблеми розроблення та практичної реалізації питання забезпечення максимального комфорту користувачів та мінімізації енергоспоживання в житлових будинках за допомогою алгоритму ВА оптимізації та нечітких контролерів.

Запропонована архітектура системи включає кілька компонентів, таких як параметри навколишнього середовища (температура, освітленість, якість повітря), оптимізатор ВА, нечіткий контролер, індекс комфорту та різні типи приводів.

Вхідними даними для оптимізатора ВА є параметри середовища (температура, освітленість, якість повітря) та налаштування, встановлені користувачем. Оптимізатор ВА видає скориговані параметри середовища (температуру, освітленість, якість повітря).

Вхідними даними для нечітких контролерів є параметри середовища та результати оптимізації ВА, а виходом – необхідна потужність для управління приводами. Розрахунок загальної необхідної потужності виконує агент-координатор, який перевіряє, чи відповідає надана потужність нечітким контролерам.

Статуси приводів регулюються на основі цієї потужності, що передається через нечіткі контролери. У результаті було підвищено індекс комфорту користувачів та знижено енергоспоживання.

Варто зазначити, що цей термін окупності, що становить 0,31 року, а також було розраховано без урахування зростання вартості електроенергії. Тому більш точним показником окупності буде розрахунок, що враховує динаміку зростання ціни на електроенергію.

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ПОСИЛАНЬ

1. Гальчак В. П., Боярчук В. М. Альтернативні джерела енергії. Енергія Сонця. Львів: Вид-во ЛНАУ, 2008. 135 с.
2. Гальчак В. П., Дмитрів Г. М. Розрахунок енергетичних параметрів гібридної системи теплопостачання фермерського будинку. Метод. вказівки до виконання курсового проекту. Львів, ЛДАУ, 2005. 36 с.
3. Дудюк Д. Л., Мазепа С. С., Гнатишин Я. М. Нетрадиційна енергетика: основи теорії та задачі: Навч. посіб. Львів: "Магнолія 2006", 2008. 188 с.
4. Жуковський С. С., Лабай В. Й. Системи енергопостачання і забезпечення мікроклімату будинків та споруд: Навч. пос. для ВЗО. Львів: Астрономо-геодезичне товариство, 2000. 259 с.
5. Корчемний М., Федорейко В., Щербань В. Енергозбереження в агропромисловому комплексі. Тернопіль: Підручники і посібники, 2001. 984 с.
6. Кудря С. О., Головка В. М. Основи конструювання енергоустановок з відновлюваними джерелами енергії: навч. посіб. К.: НТУУ "КПІ", 2011. 184 с.
7. Маляренко В. А. Основи теплофізики будівель та енергозбереження. Підручник. 2-е видання. Х.: Видавництво САГА, 2010. 484 с.
8. Маляренко В.А. Енергетичні установки. Загальний курс. Х.: В-во САГША, 2008. 320 с.
9. Саницький М. А., Позняк О. Р., Марущак У. Д. Енергозберігаючі технології в будівництві: навч. посібник. Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2012. 236 с.
10. <https://uniclimate.com.ua/products/teplovi-nasosy-dlya-pryvatnogo-budynku/cooperhunter-unitherm-3-all-in-one-ch-hp12wtsirk3/>
11. <https://uniclimate.com.ua/wp-content/uploads/2023/02/instrukciya-unitherm3-aio-ua.pdf>



12. [https://cooperhunter-aircon.com/?gclid=Cj0KCQjw7aqkBhDPARIsAKGa0oLWwriPnZqdYFkAdTEGwILGKZiUW6zYhudeqKqlb11QuAZmcjiDyL0aAqmlEALw\\_wcB](https://cooperhunter-aircon.com/?gclid=Cj0KCQjw7aqkBhDPARIsAKGa0oLWwriPnZqdYFkAdTEGwILGKZiUW6zYhudeqKqlb11QuAZmcjiDyL0aAqmlEALw_wcB)
13. R. K. Sarojini, K. Palanisamy and E. De Tuglie, “A fuzzy logic- based emulated inertia control to a supercapacitor system to improve inertia in a low inertia grid with renewables,” *Energies*, Vol. 15, no. 4, Article ID 1333, 2022.
14. O. Abdel-Rahim and E. Abdelhameed, “Ultimate transformerless boost DC-DC converter for renewable energy applications,” *SVU-International Journal of Engineering Sciences and Applications*, Vol. 2, no. 2, pp. 63–69, 2021.
15. J. B. Holm-Nielsen, and D. Almakhlles, “A hybrid PV-battery system for ON-grid and OFF-grid applications-controller in loop simulation validation,” *Energies*, Vol. 13, №. 3, P. 755, 2020.
16. V. Burlaka, S. Gulakov, S. Podnebennaya, E. Kudinova, and O. Savenko, “Bidirectional single stage isolated DC-AC converter,” in *Proceedings of the 2020 IEEE KhPI Week on Advanced Technology (KhPIWeek)*, PP. 343–346, IEEE, Kharkiv, Ukraine, 2020, October.
17. S. Deshmukh, A. R. Thorat, and I. Korachagaon, “Modelling and analysis of PV standalone system with energy management scheme,” in *Proceedings of the 2020 IEEE International Conference on Electronics, Computing and Communication Technologies (CONECCT)*, PP. 1–5, IEEE, Bangalore, India, 2020, July.
18. K. Amer, M. Fakher, S. Ahmad, M. Irhouma, S. Altafbaou and E. Salem, “Performance of domestic solar heating system with thermal storage using phase change materials,” *International Journal of Engineering Research and Development*, Vol. 16, no. 9, PP. 01–11, 2020.
19. E. S. Harsha, R. K. Nema, S. Nema, and R. D. Kulkarni, “Design & Simulation of high gain ratio Bidirectional converter for energy storage applications,” in *Proceedings of the 2020 International Conference on Computational Intelligence for Smart Power System and Sustainable Energy (CISPSSE)*, pp. 1–6, IEEE, Keonjhar, India, 2020, July.