

УДК 004.896+004.5+004.942+004.67

УКПП

№ держреєстрації 0115U001569

Інв. №

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
Сумський державний університет (СумДУ)  
40007, м. Суми, вул. Римського-Корсакова, 2;  
тел. (+38 0542) 33 53 83; факс (+38 0542) 33 40 58

ЗАТВЕРДЖУЮ

Проректор з наукової роботи,  
д-р фіз.-мат. наук, проф.

\_\_\_\_\_ А. М. Черноус

### **ЗВІТ**

#### **ПРО НАУКОВО-ДОСЛІДНУ РОБОТУ**

#### **Моделі та інформаційні технології проектування і управління в складних системах**

**РОЗРОБКА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ТЕХНОЛОГІЇ МОДЕЛЮВАННЯ ТА  
ОПТИМІЗАЦІЇ ІНФОРМАЦІЙНО-УПРАВЛЯЮЧИХ ЛЮДИНО-  
МАШИНИХ СИСТЕМ. ДОСЛІДНЕ ЗАСТОСУВАННЯ СИСТЕМИ  
АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ КОРЕГУВАННЯ  
ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВИМОГ ТА ІНФОРМАЦІЙНИХ ТЕХНОЛОГІЙ ЇХ  
РЕАЛІЗАЦІЇ. ВЕБ-ОРІЄНТОВАНА ІНФОРМАЦІЙНО-АНАЛІТИЧНА  
СИСТЕМА ПРИ УПРАВЛІННІ СКЛАДНИМИ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ  
СИСТЕМАМИ  
(остаточний)**

Науковий керівник НДР  
канд. техн. наук

Е. Г. Кузнецов

2019

Рукопис закінчено 12 грудня 2019 р.

Результати роботи розглянуто науковою радою СумДУ, протокол від \_\_.\_\_.20\_\_ р. №\_\_

## СПИСОК АВТОРІВ

Керівник НДР старший викладач, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	Е.Г. Кузнецов (частина 1: розділ 1.2, частина 2: розділ 2.3 частина 3: розділ 3.2-3.7)
Відповідальні виконавці:		
професор, доктор техн. наук	<hr/> 12.12.2019	Є.А. Лавров (частина 1:розділи 1.1-1.3)
доцент, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	В.Г. Неня (частина 2: розділи 2.1-2.5)
доцент, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	В.В. Шендрик (частина 3: розділи 3.1-3.11)
Виконавці:		
доцент, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	О.В. Алексенко (частина 3: розділи 3.2-3.3)
старший викладач, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	В.П. Антипенко (частина 2:розділи 2.2-2.4)
старший викладач, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	О.В. Бойко (частина 3: розділи 3.2)
доцент, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	І.В. Баранова (частина 2: розділ 2.1-2.2)
доцент, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	С.М. Ващенко (частина 2:розділ 2.2-2.3)
доцент, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	Б.В. Гайдабрус (частина 2: розділ 2.3)
доцент, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	А В. Марченко (частина 2: розділ 2.2-2.4)
старший викладач, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	В.В. Нагорний (частина 2: розділ 2.4)
доцент, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	Ю.В. Парфененко (частина 3: розділи 3.1-3.3)

доцент, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	Н.А. Федотова (частина 3: розділи 3.1-3.3)
доцент, канд. техн. наук	<hr/> 12.12.2019	Я.І. Чибіряк (частина 2: розділ 2.3)
аспірант	<hr/> 12.12.2019	Д.В. Бичко (частина 3: розділи 3.10)
аспірант	<hr/> 12.12.2019	Я.С. Войцеховський (частина 1: розділи 1.3)
аспірант	<hr/> 12.12.2019	Р.Д. Плакс (частина 1: розділи 1.2)
аспірант	<hr/> 12.12.2019	С.О. Шендрик (частина 3: розділи 3.1-3.7)
доцент, канд. техн. наук СНАУ	<hr/> 12.12.2019	Н.Б. Пасько (частина 1: розділ 1.2)
студент, гр. ІТ.м-91	<hr/> 12.12.2019	С.М. Вакал (частина 1: розділи 1.3)
студент, гр. ІТ.м-81	<hr/> 12.12.2019	Л.В. Данілова (частина 1: розділи 1.3)
студент, гр. ІТ.м-91	<hr/> 12.12.2019	А.О. Курочкін (частина 1: розділ 1.3)
студент, гр. ІТ.м-91	<hr/> 12.12.2019	Ю.С. Михайленко (частина 1: розділ 1.3)
студент, гр. ІТ.м-81	<hr/> 12.12.2019	А.В. Федорова (частина 1: розділ 1.3)
студент, гр. ІТ.м-91	<hr/> 12.12.2019	Т.В. Щербань (частина 1: розділ 1.3)

## РЕФЕРАТ

**Звіт про НДР:** 118 с., 62 рис., 81 джерело.

АВТОМАТИЗАЦІЯ, ІС, ІТ, ЛЮДИНО-МАШИННА ВЗАЄМОДІЯ,  
СИСТЕМА ІНФОРМАЦІЙНОЇ ПІДТРИМКИ

**Об'єкт дослідження** – інформаційні технології та інформаційні системи.

**Мета роботи** – розробка теоретико-методологічних і науково-практичних основ розробки інформаційних технологій управління та інформаційних систем на потреб галузей суспільного виробництва та соціальної сфери.

**Методи дослідження** – системний та функціональний аналіз, дискретна математика та математична логіка.

**Результатом роботи** є аналіз сучасного стану розвитку теорії складних систем та інформаційних технологій для автоматизації їх роботи та обґрунтування шляхів вирішення поставлених завдань.

Дана робота пов'язана із науковими дослідженнями аспірантів спеціальності інформаційні технології та студентів напряму комп'ютерні науки.

**Рекомендації по використанню результатів роботи:** розробка науково-методичних основ за досліджуваними напрямками, формування тематики досліджень для магістрів та аспірантів.

**Галузь застосування:** промисловість, будівництво, міське господарство.

**Значущість роботи і висновки:** створює теоретично-методичну базу для автоматизації складних систем та удосконалення людино-машинної взаємодії.

**Прогнозні припущення про розвиток об'єкту дослідження:** подальше поглиблення наукового обґрунтування дослідження та проектування складних систем та взаємодії їх з людиною-оператором.

## ЗМІСТ

	с.
Вступ.....	7
1 Інформаційна технологія моделювання людино-машинної взаємодії .....	9
1.1. Розробка принципів і загальної схеми функціонування програмного комплексу.....	9
1.2. Опис інформаційної технології оцінки діяльності оператора .....	10
1.3. Моделювання елементів діяльності оператора виробництва з використанням програмного комплексу.....	11
2 Системи автоматизованого проектування корегування функціональних вимог.....	19
2.1 Проактивне впровадження результатів дослідження та його результати.....	19
2.2 Модель забезпечення ідемпотентності функціонування програмного забезпечення засобів організації процесу проектування .....	20
2.3 Аналіз останніх досліджень і публікацій.....	21
2.4 Результати досліджень.....	27
2.5 Напрямки подальших досліджень.....	33
3 Моделі та інформаційні технології підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичними системами в умовах невизначеності .....	34
3.1 Постановка задачі та методи дослідження.....	34
3.2 Аналіз підходів до інформаційного забезпечення підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичними системами .....	35
3.2.1 Підходи до управління централізованим теплозабезпеченням .....	35
3.2.2 Підходи до управління енергією з відновлювальних джерел .....	37
3.3 Модель прогнозування теплозабезпечення будівель з централізованим опаленням.....	39

3.4 Модель підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери з централізованим опаленням.....	59
3.5 Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням.....	68
3.6 Система підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням .....	71
3.7 Інформаційна технологія планування енергозабезпечення будівель з відновлювальними джерелами енергії.....	80
3.8 Система підтримки вибору компонентів гібридної енергетичної системи з відновлювальними джерелами енергії .....	84
3.9 Стратегія управління режимами роботи smart grid на основі відновлюваних джерел енергії.....	90
3.10 Нечітка математична модель потужності сонячної батареї для системи підтримки прийняття рішень при керуванні гібридною електромережею.....	93
3.11 Інтегральна нечіткість оцінки якості енергії для системи підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичною мережею з розподіленою генерацією.....	96
Висновки.....	105
Перелік джерел посилання.....	107
Додаток А.....	117
Додаток Б.....	118

## ВСТУП

Сьогодні глобальною проблемою людства є зміна клімату та обмеженість викопних видів палива. Житлові споруди використовують близько 40% усієї споживаної первинної енергії. В цих умовах потрібна економія енергоресурсів. Окрім того, світові тенденції зростання вартості енергоносіїв та жорсткі обмеження щодо їх впливу на оточуюче середовище обумовлюють значні зміни у вимогах щодо енергетичних систем (ЕС).

Таким чином, впровадження заходів з енергозбереження є актуальною на усіх рівнях функціонування енергетичних систем.

Для ефективного управління енергозабезпеченням необхідно впроваджувати систему енергетичного менеджменту як інструмент досягнення мети скорочення споживання енергетичних ресурсів шляхом їх раціонального використання. Зокрема, для централізованого теплозабезпечення завданнями енергетичного менеджменту є аналіз потреб у теплозабезпеченні в залежності від погодних умов навколишнього середовища та прийняття рішень щодо управління теплозабезпеченням з метою дотримання комфортних умов в опалюваних приміщеннях та усунення понаднормового теплоспоживання. Для закладів соціально-бюджетної сфери додаткової економії теплоспоживання можна досягти, враховуючи при управлінні теплозабезпеченням графік роботи закладу.

Прийняття рішень щодо управління теплозабезпеченням відбувається за умов невизначеності та вимагає обробки великих масивів даних, що у свою чергу потребує застосування інформаційних технологій та розроблення систем підтримки прийняття рішення.

Іншим способом впровадження енергозберігаючих технологій в секторі енергетики є збільшення частки використання для енергозабезпечення будівель відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) та введенням їх в уже існуючі ЕС.

Наявність декількох джерел, що виробляють енергію, а також можливість підключення до зовнішньої електричної мережі роблять ЕС гібридною (ГЕСВДЕ). Незважаючи на значні переваги використання таких систем, дуже важко оцінити, які саме потужності ВДЕ використовувати у господарстві. При прийнятті рішень на стадіях планування та проектування гібридної енергетичної системи виникають проблеми, які обумовлені необхідністю, ще до спорудження енергомережі, враховувати технічні особливості ГЕСВДЕ, економічну доцільність їх експлуатації, а особливо недетермінованість процесу генерації електроенергії: кількість первинної енергії залежить від пори року, доби, погодних умов, наявних на ринку установок ВДЕ. Окрім того, висока вартість побудови енергетичних систем з відновлювальними джерелами енергії потребує попереднього детального аналізу всіх показників енергоефективності. Це ускладнює процес прийняття економічно та технічно доцільного, конструктивно-обґрунтованого рішення відносно планування складових системи і робить таку задачу алгоритмічно складною.

Методологічною основою процесу планування ГЕСВДЕ є системний аналіз, в основі якого лежить процедура побудови узагальненої моделі системи. На практиці це потребує створення відповідних інформаційних систем підтримки прийняття рішень, які надають рекомендації щодо вибору складових ГЕСВДЕ.



# 1 ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ МОДЕЛЮВАННЯ ЛЮДИНО-МАШИНОЇ ВЗАЄМОДІЇ

## 1.1 Розробка принципів і загальної схеми функціонування програмного комплексу

Інформаційно-логічна модель являє собою схему зв'язків взаємодії інформаційних об'єктів. Інформаційні об'єкти виділяються в процесі інформаційного аналізу предметної області (в даному випадку - це «закріплення надходять функцій за операторами системи») і містять інтегровані структури даних предметної області. Програмний комплекс розроблений в середовищі MS Excel. Серед автоматизації обрана виходячи з того, що електронні таблиці є ідеальним засобом для виконання обчислень будь-якої складності. Інструментальні засоби програмування Visual Basic for Application (VBA) дозволяють створювати готові програми та спеціальні надбудови MS Excel. Одним з основних елементів інтерфейсу користувача є Головна форма системи (рис. 1.1).

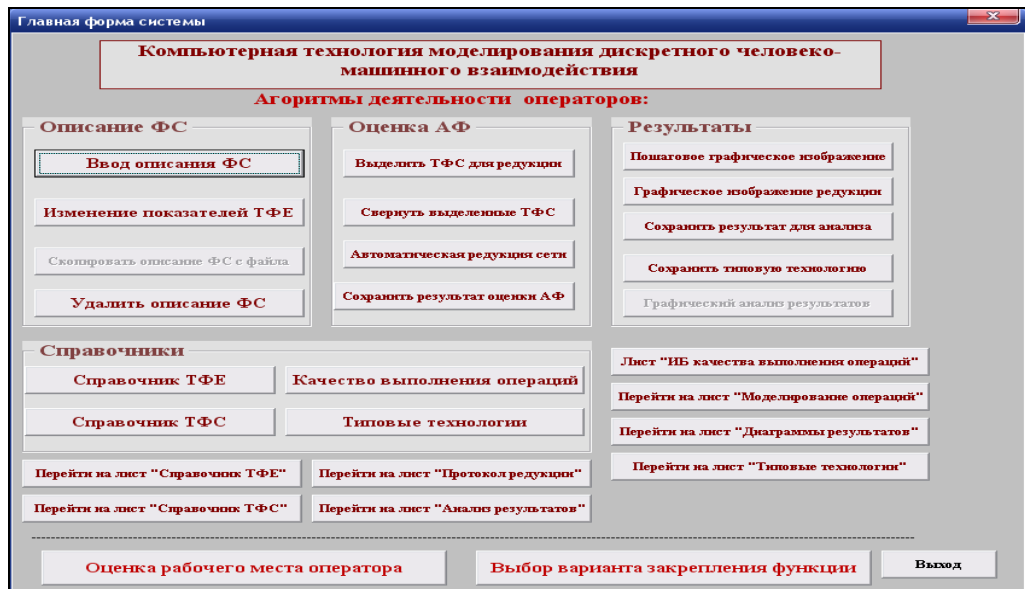


Рисунок 1.1 – Головна форма

## 1.2 Опис інформаційної технології оцінки діяльності оператора

Моделювання процесів функціонування ЧМС здійснюється на основі апарату функціональних мереж, узагальненого структурного методу опису і кількісної оцінки АФ ЧМС. Структура даних і їх розміщення на сторінках книги показані на рис. 1.2.

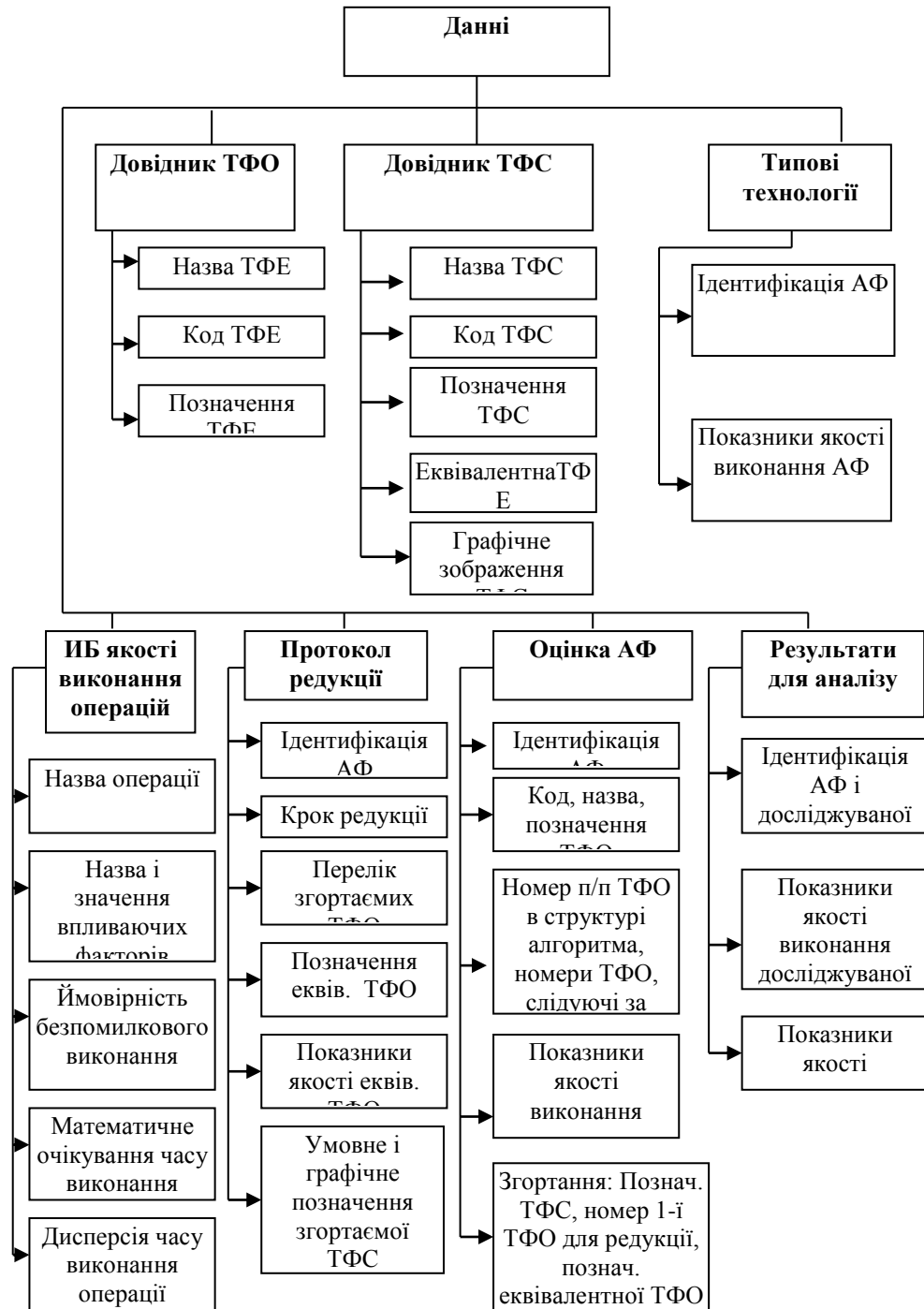


Рисунок 1.2 – Структура даних, їх розміщення на сторінках книги MS Excel

Таблиці, показані на схемі, носять довідковий і інформаційний характер. Довідкові таблиці (робочі аркуші книги MS Excel) заповнюються до початку експлуатації системи, в подальшому коригуються. До них відносяться «Довідник ТФЕ», «Довідник ТФС», «ІБ якості виконання операцій». Решта таблиці формуються та заповнюються програмно під час експлуатації програми.

### **1.3 Моделювання елементів діяльності оператора виробництва з використанням програмного комплексу**

Розглянемо для прикладу моделювання функціонального елемента діяльності оператора АСУТП «Завдання параметрів і запуск технологічного процесу».

Змістовний аналіз дозволяє виявити наступні можливі варіанти організації діяльності.

#### Варіант 1

Здійснення запиту на історію діяльності оператора минулої зміни.  
(Робоча операція P1)

Друк даних про роботу оператора минулої зміни. (Робоча операція P2)

Перехід на форму завдання параметрів роботи. (Робоча операція P3)

Встановлення значень для аміаку. (Робоча операція P4)

Встановлення значень для сірчаної кислоти. (Робоча операція P5)

Установка значень для фосфорної кислоти. (Робоча операція P6)

Запуск технологічного процесу. (Робоча операція P7)

Вихідні дані представлені в таблиці 1.1.

У цих таблицях прийняті наступні позначення:

B1 - ймовірність безпомилкового виконання;

K00 - ймовірність виявлення помилки при її наявності;

K11 - ймовірність виявлення відсутності помилки при її відсутності;

M - математичне очікування часу виконання;

D - дисперсія часу виконання.

Структура 1-го варіанту діяльності алгоритму діяльності оператора з реалізації функціонального елемента «Задання параметрів і запуск технологічного процесу» представлено на рис.1.3.

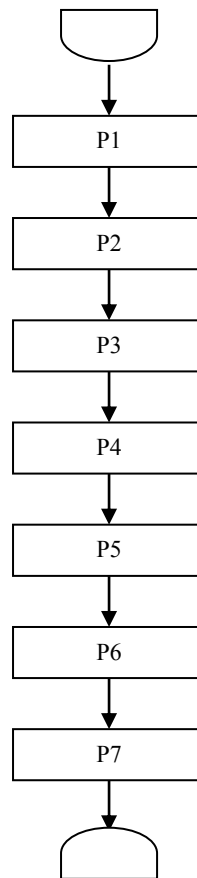


Рисунок 1.3 – Структура 1-го варіанту алгоритму діяльності оператора з реалізації функціонального елемента «Задання параметрів і запуск технологічного процесу»

Таблиця 1.1 – Показники якості виконання робочих ТФЕ

Показник		Операція						
		P1	P2	P3	P4	P5	P6	P7
Ймовірність В1		0,988	0,978	0,998	0,987	0,997	0,997	0,998
Часовий	М, с	41	100	55	27	25	30	40
	D, с2	0,3	0,4	0,7	0,4	0,5	1,1	0,8

Таблиця 1.2 – Показники якості виконання контрольних

Показник		Операція			
		K1	K2	K3	K4
Ймовірність	K11	0,997	0,997	0,997	0,996
	K00	0,995	0,995	0,995	0,998
Часовий	M, с	40	40	40	50
	D, с2	0,7	0,8	0,8	0,9

## Варіант 2

Структура 2-го варіанту діяльності алгоритму діяльності оператора з реалізації функціонального елемента «Завдання параметрів і запуск технологічного процесу» представлено на рис. 1.4

1. Здійснення запиту на історію діяльності оператора минулого зміни. (Робоча операція P1)
2. Друк даних про роботу оператора минулої зміни. (Робоча операція P2)
3. Перехід на форму завдання параметрів роботи. (Робоча операція P3)
4. Встановлення значень для аміаку. (Робоча операція P4)
5. Контроль значень для аміаку. (Контрольна операція K1)
6. Установка значень для сірчаної кислоти. (Робоча операція P5)
7. Контроль значень для сірчаної кислоти. (Контрольна операція K2)
8. Встановлення значень для фосфорної кислоти. (Робоча операція P6)
9. Контроль значень для фосфорної кислоти. (Контрольна операція K3)
10. Запуск технологічного процесу. (Робоча операція P7)

Вихідні дані представлені в таблицях 3.1 і 3.2.

## Варіант 3

1. Здійснення запиту на історію діяльності оператора минулого зміни (Робоча операція P1).
2. Друк даних про роботу оператора минулої зміни (Робоча операція P2).
3. Перехід на форму завдання параметрів роботи (Робоча операція P3).
4. Встановлення значень для аміаку (Робоча операція P4).

5. Встановлення значень для сірчаної кислоти (Робоча операція Р5).
  6. Установка значень для фосфорної кислоти (Робоча операція Р6).
  7. Контроль значень (Контрольна операція К1).
  8. Запуск технологічного процесу (Робоча операція Р7).
- Вихідні дані представлені в таблицях 1.1 і 1.2.

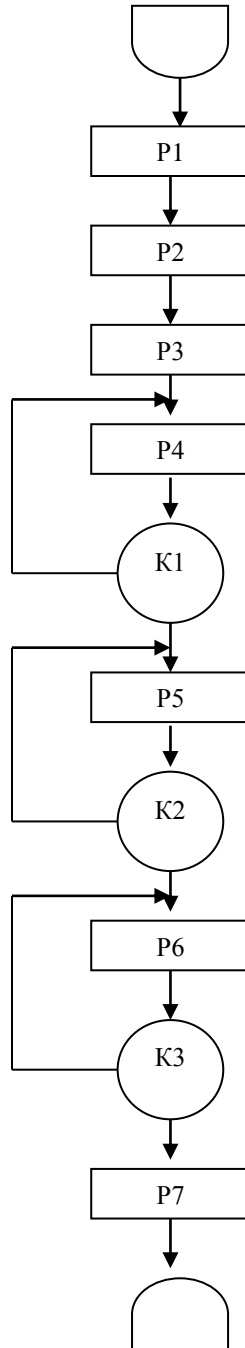


Рисунок 1.4 – Структура 2-го варіанта алгоритма діяльності оператора по реалізації функціонального елемента «Задання параметрів и запуск технологічного процесу»

Структура 3-го варіанту діяльності алгоритму діяльності оператора з реалізації функціонального елемента «Завдання параметрів і запуск технологічного процесу» представлено на рис. 1.5.

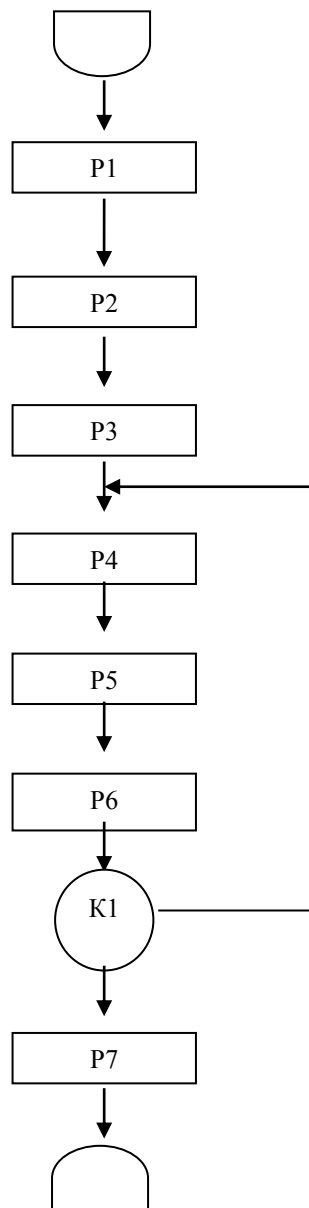


Рисунок 1.5 – Структура 3-го варіанта алгоритма діяльності оператора

#### Варіант 4

1. Здійснення запиту на історію діяльності оператора минулого зміни. (Робоча операція P1)
2. Друк даних про роботу оператора минулої зміни. (Робоча операція P2)

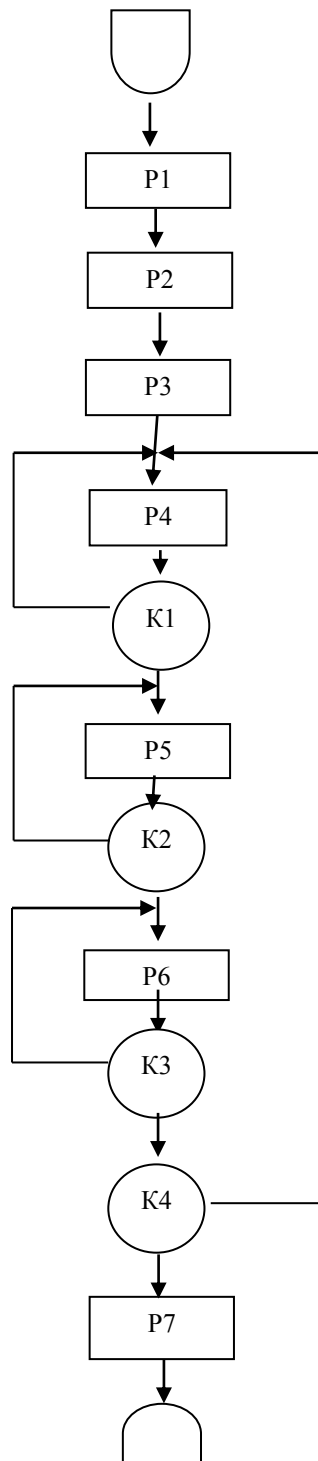


Рисунок 1.6 – Структура 4-го варіанту алгоритму діяльності оператора

3. Перехід на форму завдання параметрів роботи. (Робоча операція P3)
4. Встановлення значень для аміаку. (Робоча операція P4)
5. Контроль значень для аміаку. (Контрольна операція K1)
6. Установка значень для сірчаної кислоти. (Робоча операція P5)
7. Контроль значень для сірчаної кислоти. (Контрольна операція K2)



Таблиця 1.3 – Результати оцінки варіантів діяльності оператора АСУТП.

директивний час	Варіант			
	1	2	3	4
400	0,9821	0,9928	0,9929	0,9930
430	0,9821	0,9928	0,9929	0,9930
450	0,9821	0,9928	0,9929	0,9930
600	0,9821	0,9928	0,9929	0,9930
400	318	439,8	376	473,07
430	318	439,8	376	473,07
450	318	439,8	376	473,07
600	318	439,8	376	473,07
400	4,2	4,8	5,1	7,5
430	4,2	4,8	5,1	7,5
450	4,2	4,8	5,1	7,5
600	4,2	4,8	5,1	7,5
400	1	0,0002	0,9778	0,000015
430	1	0,1950	0,9998	0,0068
450	1	0,8106	1	0,0934
600	1	1	1	1
400	0,9821	0,0001	0,9771	0,000014
430	0,9821	0,1935	0,9927	0,006724
450	0,9821	0,8047	0,9929	0,0920
600	0,9821	0,9928	0,9929	0,9930

8. Встановлення значень для фосфорної кислоти. (Робоча операція Р6)

9. Контроль значень для фосфорної кислоти (Контрольна операція К3)

10. Контроль значень всіх параметрів (Контрольна операція К4)

11. Запуск технологічного процесу (Робоча операція Р7)

Исходні дані представлені в таблицях 1.1 и 1.2.

Структура 4-го варіанту діяльності алгоритму діяльності оператора з реалізації функціонального елемента «Завдання параметрів і запуск технологічного процесу» представлено на рис. 1.6.

Результати оцінки варіантів наведені в таблиці 1.3.

Залежність ймовірності своєчасного виконання алгоритму від директиви часу (рис 1.7).

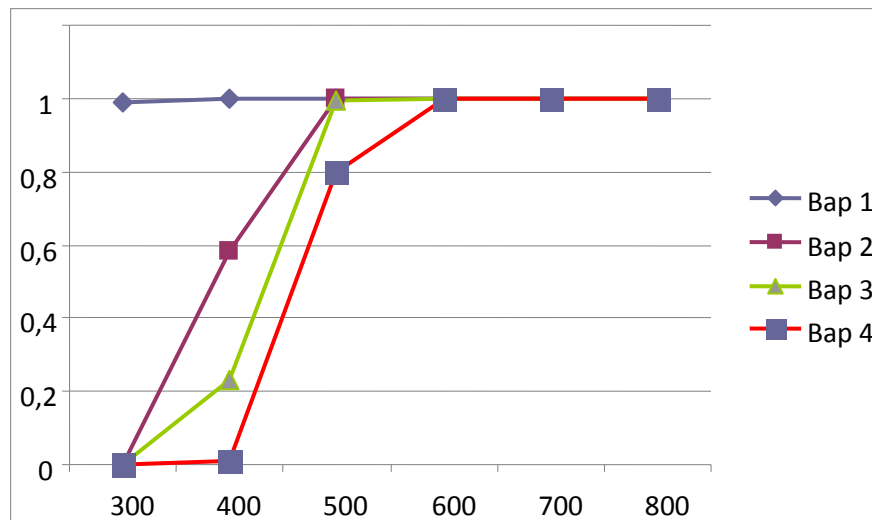


Рисунок 1.7 – Залежність ймовірності своєчасного виконання алгоритму від директивного часу

Оптимальні варіанти алгоритму при різних постановках завдань оптимізації та тимчасових обмежників наведені в табл. 1.4.

Таблиця 1.4 – Демонстрація різних завдань вибору оптимального варіанта діяльності.

Тип задачі	Директивний час	Оптимальний варіант
$B(X) \longrightarrow \max$ $P_{св}(X) = P\{T < T_0\} > \alpha_0$ $\alpha_0 = 0,97$	400	V-1
	430	V-1
	450	V-3
	600	V-4
$B(X) * P_{св}(X) \longrightarrow \max$	400	V-1
	430	V-3
	450	V-3
	600	V-4

## 2 СИСТЕМИ АВТОМАТИЗОВАНОГО ПРОЕКТУВАННЯ КОРЕГУВАННЯ ФУНКЦІОНАЛЬНИХ ВИМОГ

### 2.1 Проактивне впровадження результатів дослідження та його результати

З метою перевірки обраних проектних рішень при розробці комплексу засобів автоматизації проектувальних робіт (КЗАПР) було виконано проактивне, тобто випереджаюче, впровадження першої версії КЗАПР. Розробка отримала позитивний відгук від представників машинобудівної промисловості, а отримані результати наукових досліджень, які лягли в основу КЗАПР, схвалення науковою спільнотою у вигляді їх визнання при захисті дисертації [1].

Разом з тим, подальше застосування КЗАПР у промисловості дозволило виявити напрямки його удосконалення шляхом посилення властивостей однорідності та ідемпотентності.

Однорідність означає, що усі використовувані вихідні дані та результати повинні мати однакову структуру. Формат усіх команд повинен бути однаковим. В усіх випадках реалізованих алгоритмів за однакових умов повинна у програмних засобів бути однакова реакція тощо.

Із проблемою ідемпотентності справи складаються дещо складніше.

Ідемпотентність з точки зору математики – це властивість, яку може задовольняти бінарна операція; якщо бінарну операцію записувати як множення, цей закон має вигляд:  $0 \times a = 0$ .

Ідемпотентність — властивість унарних та бінарних операцій в алгебрі та логіці. Термін «ідемпотентність» означає властивість, яка проявляється в тому, що повторна її дія над будь-яким об'єктом уже не змінює результату. Тобто результат повторного використання операцій з об'єктом має такий самий результат як і при першому використанні.

Об'єднання множини  $X$  самої з собою її не змінює, а саме  $X \cup X = X$ . Ідемпотентна відносно диференціювання функція  $y(x) = \exp(x)$ .

З точки зору інформаційного сервісу, операція ідемпотентна тоді, коли клієнти можуть робити один і той же запит неодноразово, а сервіс завжди реагує однаково.

Іншими словами, створення великої кількості ідентичних запитів має такий же ефект, як і один запит – тобто не впливає на алгоритм роботи сервісу. Зауважимо, що в той час, коли ідемпотентна операції виробляє один і той же результат, на сервері можуть бути побічні ефекти, і відповідь сама по собі може не бути тією ж самою. Наприклад, стан ресурсу може змінитися між запитами: окремі дані можуть бути добавлені або видалені.

У такому розумінні будемо використовувати поняття ідемпотентності.

З цією метою прийняте рішення повернутися до раніше запропонованої нами концепції [2] та розвинути її до можливості практичного використання.

## **2.2 Модель забезпечення ідемпотентності функціонування програмного забезпечення засобів організації процесу проектування**

Проектування займає важливе місце у життєвому циклі технічних об'єктів, адже саме на цьому етапі забезпечується ефективно, надійно та довговічно їх функціонування та швидке та екологічне виведення об'єкту із експлуатації. Особливість сучасного етапу розвитку виробництва технічних об'єктів, яка має місце протягом останнього часу [3] полягає у тому, що обсяги проектувальних робіт зростають у десять разів кожні десять років. При цьому продуктивність праці на виробництві зростає до 1000%, а у проектуванні та конструюванні лише до 20%. Подолання цього протиріччя передбачалося шляхом застосування систем автоматизації проектувальних робіт.

Від започаткування систем автоматизації проектувальних робіт (САПР) для комп'ютеризованого виконання проектувальних процедур пропонувалися алгоритми, які були адаптовані до конкретних об'єктів. Так у роботі [4], яка узагальнила досвід початкового етапу розвитку САПР, наводиться пропонуванний алгоритм проектування робототехнічного

комплексу. Зрозуміло, що розроблення та удосконалення програмних засобів проектування в умовах прогресуючого розвитку елементної бази при наявності жорсткого алгоритму проектування є справою практично безперспективною. Це підтверджує історичний досвід розвитку систем автоматизації проектувальних робіт, а власне його відсутність.

Наступним кроком було започаткування логічних схем проектування [5]. Введення логічного опису процесу проектування стало важливим етапом, суть якого полягає у відокремленні опису процесу проектування від програмних засобів його реалізації. Відсутність формального опису процесів проектування та відповідних інформаційних технологій не дали практичних результатів за останні чотири десятиріччя.

У значній мірі цьому сприяла комерціалізація програмного забезпечення та значний «рекламний тиск», під дією якого набули поширення окремі рішення з комп'ютеризації процесу конструювання без проектування, без комплексного підходу до вирішення задач, притаманних етапу проектування як одному із найважливіших у життєвому циклі технічного об'єкту. Найбільшим недоліком є відсутність комп'ютеризації управління процесом проектування. Методологічне некоректне визначення автоматизації проектувальних робіт дозволяє керівникам промислових підприємств та проектних організацій звітувати про суттєвий рівень автоматизації проектувальних робіт, хоча сама автоматизація проектування практично відсутня, а його механізація знаходиться на вкрай низькому рівні. Тому проблема полягає в розробці науково-методичних основ механізації та автоматизації проектувальних робіт загалом та розробки моделей програмного забезпечення, яке розглядається у даній роботі.

### **2.3 Аналіз останніх досліджень і публікацій**

Розроблювати програму необхідно відповідно до типу вирішуваних задач. На теперішній час устояним є поділ програм на два типи [6]. До першого типу відносяться програми, які трансформують дані

(трансформуючі програми). До другого типу відносяться програми, які реагують на дії користувача (реагуючі програми).

У чистому виді такі програми зустрічаються вкрай рідко. Зазвичай зустрічаються програми комбінованого типу.

Віднесення програми до конкретного типу визначається переважною часткою виконуваних функцій. Найбільш вдалі розробки програм у суттєвій мірі враховують особливості їх функціонування і використовують відповідний формалізм (теорію, моделі, методи та алгоритми).

Комплекс програм системи автоматизації проектувальних робіт розробляється як комбінований з чітким розподілом виконуваних функцій між програмами.

Програми, які застосовуються у проектних процедурах розробляються як трансформуючі.

Вони читають вихідні дані із файлів, виконують відповідний проектний розрахунок та записують результати у потрібний файл.

Програми, за допомогою яких організується процес проектування та управління ним, відносяться до типу реагуючих. Вони як більше складні розглядаються у даній роботі.

На рисунку 2.1 наведемо перший із одинадцяти фрагментів блок-схеми автоматизованого проектування технічного об'єкту із роботи [4].

Аналіз показує, що цей фрагмент містить чотири із чотирьох десятків станів програми з прийняття рішень щодо напрямків продовження проектування. До цього додаються стани контролю читання та записування проектних даних (десять випадків на фрагменті).

Тож зрозуміло, що основна програма управління процесом проектування повинна відноситися до типу реагуючих програм.

Відповідно до обраного типу програм використовуємо відповідну модель програми, яка основний програмний засіб представляє як машину станів [7].

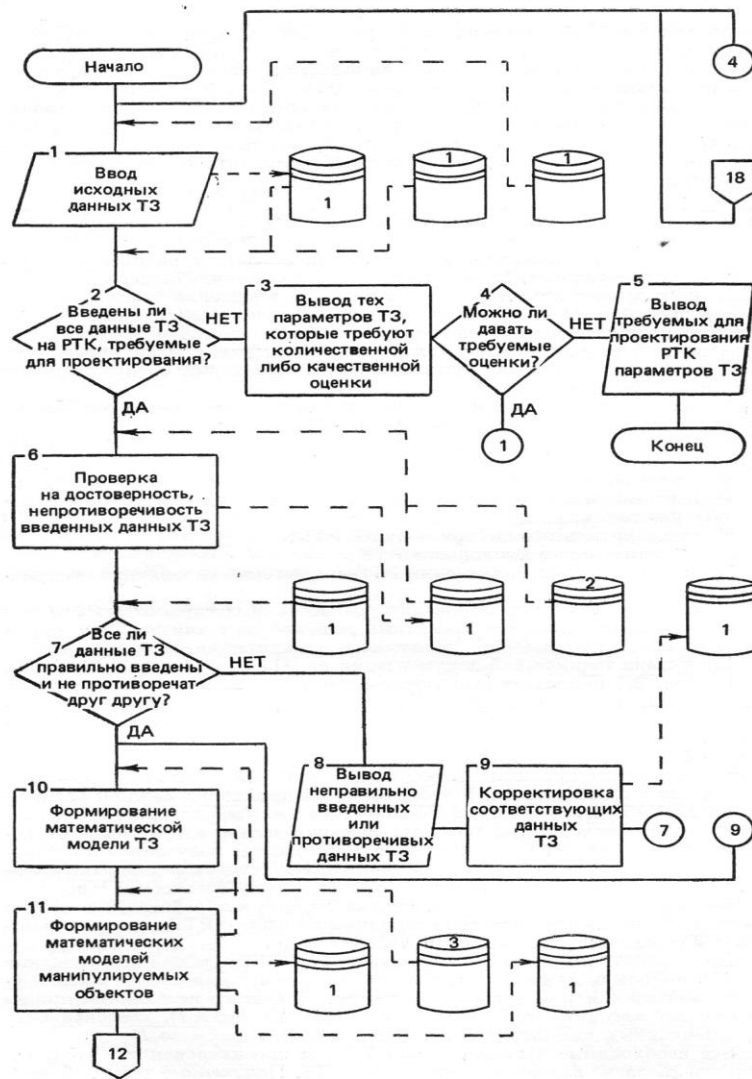


Рисунок 2.1 – Фрагмент блок-схемы автоматизированного проектирования

У вітчизняній практиці прийнято таку машину називати скінченим автоматом [8]. Теорія скінчених автоматів розглядає декілька проблем, реалізація яких гарантує, що запропоноване рішення буде відповідати необхідним вимогам найкращим чином. По-перше, автомат повинен бути мінімальним. Мінімальний автомат — це автомат, який має найменшу можливу кількість станів та реалізує задану функцію виходів.

Для довільного скінченого автомата може бути побудований еквівалентний йому кінцевий автомат з найменшим числом станів [9].

Мінімальність автомату забезпечує мінімальну вартість та максимальну надійність роботи. По-друге, автомат повинен надавати можливість переходу

у будь-який заданий стан. Ця вимога забезпечує реалізацію повноти функціональних вимог.

Вибір авторами скінченого автомату як моделі програмного забезпечення для управління автоматизованим проектуванням підтримується наявною тенденцією розробки програм управління різних напрямків [10-12].

Застосування моделювання реагуючих програм у вигляді скінчених автоматів продовжує досліджуватися у різних напрямках. Проаналізуємо їх.

Розробці моделей програм логічного управління і відповідного формалізму присвячена робота [13].

Скінчений дискретний автомат як модель програми управління описується направленими графами, оскільки передбачається застосування великої кількості станів автомату. Проблема управління паралельними процесами вирішується декомпозицією на декілька графів. Окремо вирішується задача узгодження, пов'язана з використанням концепції синхронності.

В роботі [14] розглядається синтез систем керування з використанням мікроконтролерів. Запропонований метод автоматного програмування. Цей метод засновано на формуванні програмної моделі за структурною схемою нового типу автомата керування. Нова структура програмної моделі відрізняється введенням мультиплексора для вибору по коду стану автомата однієї логічної умови, що перевіряється на кожному такті роботи програмної моделі. Запропонований метод орієнтований на структурну організацію автоматів із вхідним мультиплексором. Результатом такого варіанта автоматного програмування є швидкодіючі програми з мінімальним числом команд програмного коду.

Задача усунення неоднозначностей у роботі скінченого автомата при створенні керуючих програмних систем розглянута у роботі [15]. Створена авторами структурна схема моделі кінцевого автомата з урахуванням часу очікування виконання функцій і результату їх виконання, підрахунку кількості подій і стека станів. Робиться висновок про те, що застосування



кінцевих автоматів в області створення програмних систем дозволяє детермінувати поведінку програми, мінімізувати кількість помилок в логіці програми й формалізувати процес розробки. Автори вважають зручним використання індексно-матричного підходу для розв'язку завдання зміни станів автомата.

В роботі [16] моделі програм управління паралельними та розподіленими процесами представлені трьома групами: узагальнені моделі, моделі потоків даних та моделі паралельних процесів із взаємодією між ними. Віддаючи перевагу моделям третьої групи, одночасно вказуючи їх недоліки: вони не допускають можливість асинхронної взаємодії між процесами (тільки через механізм рандеву) і не містять механізмів для створення гнучких шаблонів модулів керування. Запропоновано багаторівневу модель розподілених програм: рівень шаблонів модулів (найвищий рівень), рівні розподілених та вбудованих модулів та структурно-регістровий рівень (найнижчий рівень).

Разом з цим визнано, що така модель може бути придатною для систем з наперед визначеним набором задач. Для моделей програм автоматизації проектувальних робіт це не є придатним, адже комплекс засобів автоматизації проектувальних робіт повинен постійно розширюватися та удосконалюватися [5].

Моделі програм можна будувати як на основі одного скінченного автомату, так і на основі їх комбінацій. Так в роботі [17] досліджується модель на основі паралельних автоматів або одного автомату, який має множину описів одночасних часткових станів. На основі множин атомарного, часткового або повного стану паралельного автомату, паралельних входів визначаються паралельні функції переходів та паралельних виходів, які задаються матрицями переходів та виходів. Цим способом можна реалізувати три види взаємодії процесів: синхронний, ординарний та змішаний. Сформульовані умови перетворення паралельного автомату у паралельно-послідовні композиції простих автоматів.

Крім однорангових автоматів є можливість створювати ієрархічні структури автоматів. Так у роботі [18] досліджено теоретико-множинний опис такої моделі. На вершині ієрархії розташовано головний автомат. Вкладені автомати виконують підпорядковані ролі та розташовані нижче в ієрархічній структурі. Інформаційні зв'язки з прийому стану об'єкту управління та подавання йому управлінських команд мають місце на всіх ієрархічних рівнях структури автомату управління. Працездатність запропонованої ієрархічної моделі продемонстровано як на автоматах Мура, так і на автоматах Мілі.

Крім ієрархічних, у моделях використовують регулярні структури у вигляді кліткових [19] та стрічкових структур[20]. Значна увага продовжує приділятися мінімізації скінчених автоматів з огляду на попередньо наведені аргументи і які певним чином підтримують інші дослідники. У роботі [21] розглядається розв'язок задачі мінімізації для автомата, поведінка якого залежить від часу появи вхідної команди чи події, на яку автомат реагує. Показано, що для повністю визначеного автомату з часовими обмеженнями існує єдина мінімальна форма. Пропонується алгоритм мінімізації повністю визначеного автомату з часовими обмеженнями на основі побудови розбивок на такі еквівалентні стани, за яких при однаковій кількості однакових команд на виходах маємо однакові результати.

Алгоритми, необхідні одночасно для двох проблем мінімізації недетермінованих скінчених автоматів – вершинний й дуговий наводяться у роботі [22]. З огляду на те, що дуги відповідають виконуваним автоматом функціям, зменшення кількості дуг неприпустиме, оскільки об'єкт, який моделює такий автомат, не буде відповідати поставленим вимогам. Корисною можливістю є одночасна побудова функцій розмітки станів.

Нечіткі автомати розглядаються у роботі [22] із позицій використання мінімаксного критерію оцінки їх функціонування в умовах наявності нечітких команд на вході. Результати цієї роботи можуть бути використані

для обробки діалогу із проєктантами та конструкторами на основі елементів мови їх професійного спілкування.

Узагальнення виконаного аналіз дозволяє сформулювати мету дослідження з даного розділу виконуваної науково-дослідної роботи. Метою роботи є розробити модель функціонування системного програмного забезпечення комплексу засобів автоматизації проєктувальних робіт. Об'єкт дослідження – організація процесу проєктування технічних об'єктів. Предмет дослідження модель програмної реалізації організації процесу проєктування.

## **2.4 Результати досліджень**

Процес функціонування програми управління комплексом засобів автоматизації проєктувальних робіт є основою функціонування програмних засобів. Оскільки неможливо наперед передбачити усі можливі аспекти, склад і види проєктувальних робіт в умовах необхідності вирішення нових задач [5], а засоби автоматизації розробляти та використовувати необхідно, то доцільно для вирішення цього протиріччя використати інший підхід до проєктування скінченого автомату, як моделі засобів автоматизації проєктувальних робіт, ніж його синтез з урахуванням усіх виконуваних функцій та переходів в усі необхідні стани. Скористаємося досвідом набутим в теорії вирішення винахідницьких задач, наприклад [23]. Відповідно до положень цієї теорії запропоноване рішення є тим кращим, чим ближче воно наближається до ідеального кінцевого результату. При цьому під ідеальним кінцевим результатом розуміють такий, при якому необхідна функція виконується, а сам об'єкт, який виконує цю функцію, відсутній. Це зумовлює положення про розробку структуру об'єкту проєктування мінімальності складності.

Для реалізації даного положення використовуємо наступний послідовний алгоритм розробки:

- 1) запропонувати функціональну модель досліджуваного об'єкту;
- 2) обрати елемент, який реалізує функціональну модель;

- 3) удосконалити елемент для реалізації повного процесу проектування;
- 4) доповнити елемент необхідними для реалізації інформаційних технологій компонентами.

За умови самоуправління та використання власних механізмів виконання дій функціональна схема роботи комплексу засобів автоматизації проектувальних робіт набуває форми, яка показана на рисунку 2.2.

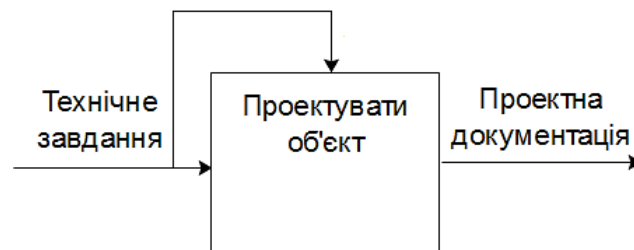


Рисунок 2.2 – Контекстна діаграма функціонування комплексу засобів автоматизації проектувальних робіт

Дану діаграму слід розглядати як модель ідеального засобу, який за один крок дозволяє виконати проектування відповідно до вимог технічного завдання.

Зважаючи на проектування кожного разу нового об'єкту машинобудування (нової структури та виконуваних функцій), неможливо наперед передбачити всі можливі логічні схеми проектування та відповідні процеси роботи підсистеми управління проектуванням. Навіть для одного об'єкту, його компонент різного ступеню складності та різних структур будови, які наперед невідомі, неможливо запропонувати фіксований порядок проектування та його програмну реалізацію.

Разом із тим очевидно, що підсистема управління повинна проходити через деяку кількість фіксованих станів, у яких виконується аналіз поточної ситуації та приймаються відповідні рішення про шляхи продовження того чи іншого процесу, як виробничого процесу проектування, так і допоміжного процесу (перекодування, переформатування тощо).

Така поведінка підсистеми реалізується в моделях скінчених автоматів, які і пропонується використати як інформаційну технологію обробки поточних даних як про проектування об'єктів машинобудування, так і про процеси його формування та взаємодію складових людино-інформаційно-програмних комплексів.

За прийнятою технологією проектування скінчених автоматів [24, 25] було виконано декомпозицію моделі з рисунку 2.2, яка набуває наступного вигляду (рис. 2.3).  $TЗ_i$  – стан структури об'єкту проектування;  $СПр_i$  – стан відповідного процесу проектування згідно реалізації виробничих завдань.

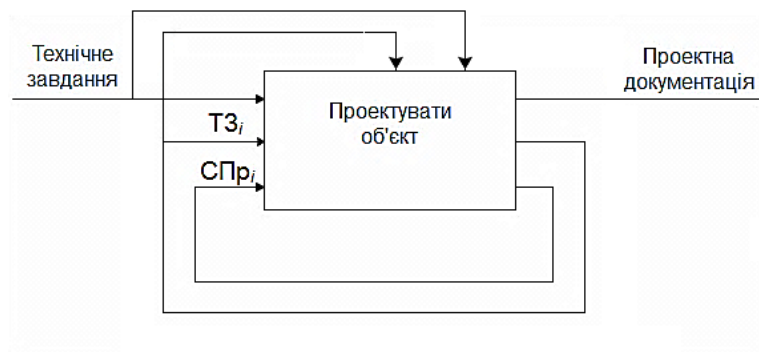


Рисунок 2.3 – Декомпозиція узагальненої схеми скінченого автомату

Дана декомпозиція передбачає, що скінчений автомат виходить із стану очікування за будь-якої зміни стану процесу проектування та зміни стану довільних компонент у структурі об'єкту проектування. Автомат працює асинхронно за циклічною схемою зі зворотнім шляхом. Для виконання переходів (дій з проектування та управління) підключаються додаткові автомати для виконання своїх власних переходів.

Така методика виключає проблему невизначеності стану: можливість виконання всіх переходів та попадання в усі необхідні стани. Для виключення необхідності запам'ятовувати всі попередні команди та стани вводяться вектори станів структури об'єкту проектування та станів процесів проектування.

Схема роботи КЗАПР як скінченого автомату представлена на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Схема роботи КЗАПР

Скінчений автомат, який опрацьовує стани проектів, має структуру, що показана на рисунку 2.5. Скінчений автомат, який опрацьовує дії проектувальників із реалізації процесів проектування представлено на рисунку 2.6.

Для цих моделей овалами позначені стани, лініями – переходи (виконувані дії), причому в надписах першими вказані умови, а другими – дії, які при них виконуються.

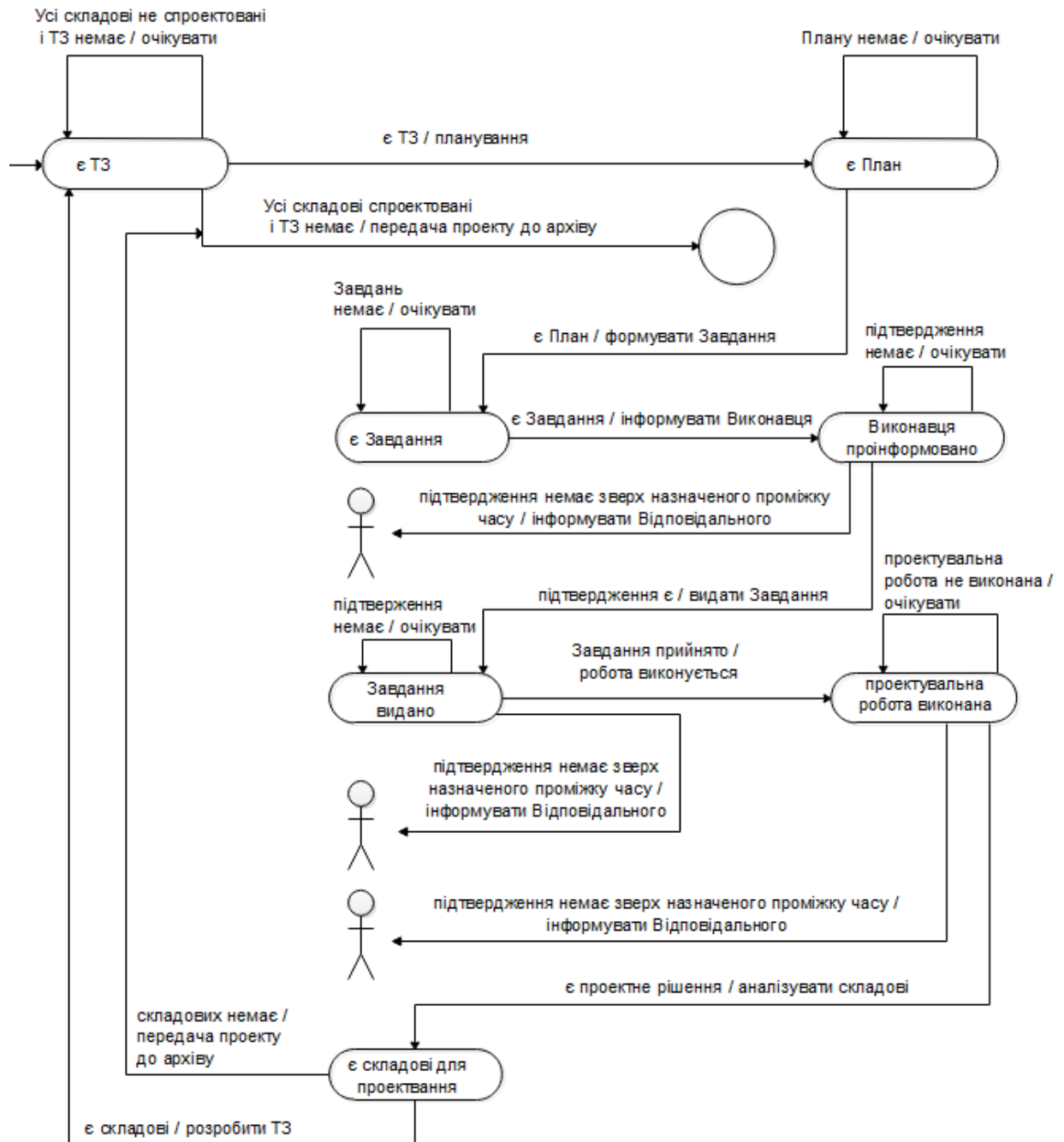


Рисунок 2.5 – Модель скінченого автомату,  
який опрацьовує формування проектів

Усі наведені скінчені автомати є у відношенні один до одного ортогональними, тобто робота кожного із них є автономною та не залежить від стану іншого автомату і виконуваних і системі процесів.

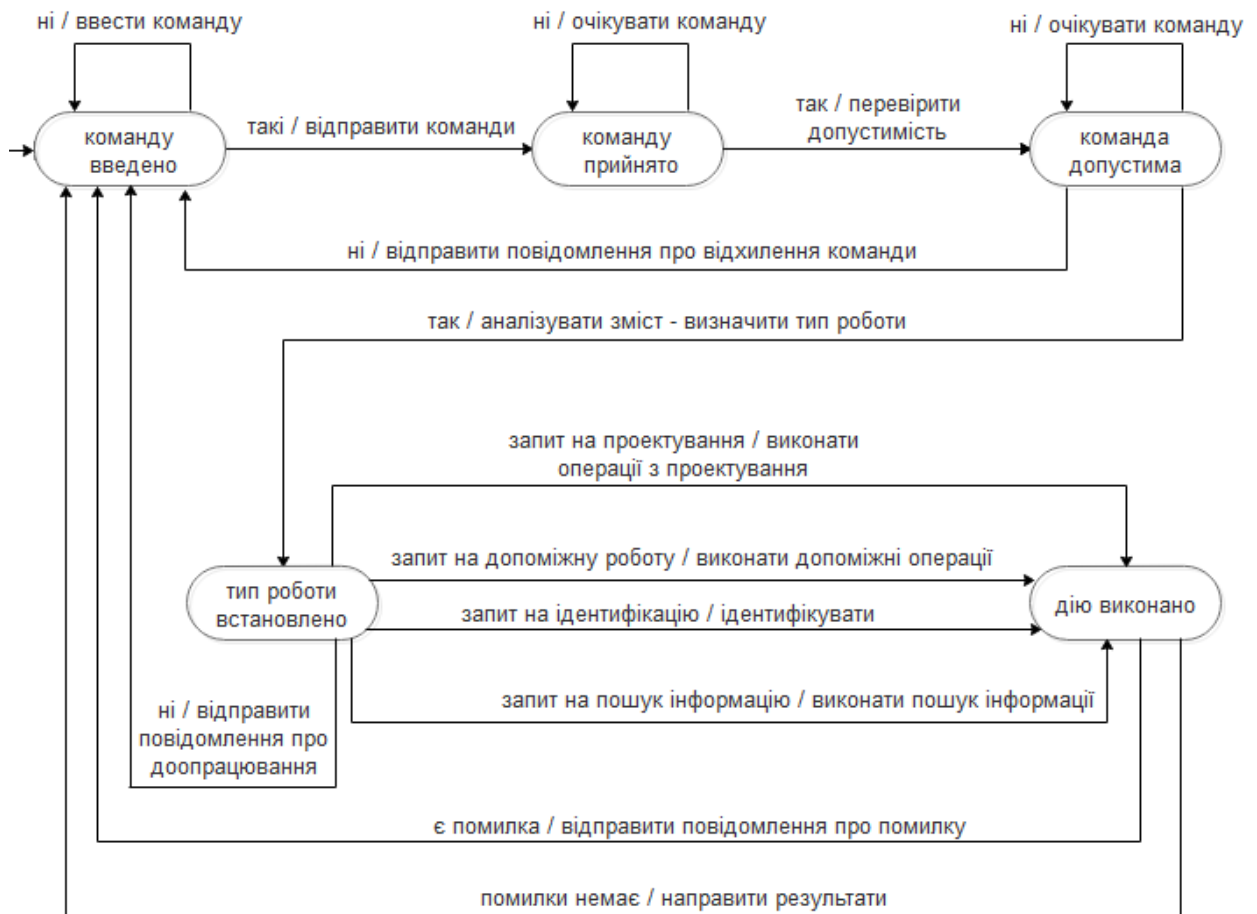


Рисунок 2.6 – Модель скінченого автомату, який опрацьовує команди проектувальників

В роботі [26] вказується на складність застосування моделі скінченого автомату до розподілених обчислювальних комплексів у зв'язку з практичним унеможливленням фіксування складу усіх його компонент. Використання такого аргументу є обґрунтованим у випадку паралельного виконання взаємопов'язаних, а від так контрольованих, обчислень. У випадку використуваного у даному випадку асинхронного виконання незалежних проектувальних робіт наведений аргумент не є суттєвим. Суттєвим у даному випадку є стан кожного із реалізованих проектів, який фіксується у наборах векторів стану кожної проектної процедури та кожного об'єкту проектування.



Запропонована лінійна послідовність станів та дій гарантує виконання всіх дій та попадання в усі стани. Однокроковий характер роботи автоматів забезпечує однорідність їх функціонування та можливість застосування до проектування об'єктів довільної структури.

## **2.5 Напрямки подальших досліджень**

У ході виконання даного дослідження було представлено процес функціонування програми управління комплексом засобів автоматизації проектувальних робіт у вигляді скінченного автомату. Автомати завжди опрацьовують вихідні команди у одному і тому ж стані, тому їх реакція на них завжди однакова і цим забезпечується ідемпотентність. Досягнуто однорідності опису функціонування програмних засобів організації автоматизованого проектування та управління ним.

При наявності механізму однорідності функціонування програмних засобів організації проектування та управлінням потребує розробки однорідний інформаційний опис проєктованих об'єктів, завдань на проектування та бізнес-процесів їх реалізації.

### **3 МОДЕЛІ ТА ІНФОРМАЦІЙНІ ТЕХНОЛОГІЇ ПІДТРИМКИ ПРИЙНЯТТЯ РІШЕНЬ ПРИ УПРАВЛІННІ ЕНЕРГЕТИЧНИМИ СИСТЕМАМИ В УМОВАХ НЕВИЗНАЧЕНОСТІ**

#### **3.1 Постановка задачі та методи дослідження**

Управління системою централізованого теплозабезпечення на стороні споживача здійснюється в індивідуальному тепловому пункті (ІТП) та має на меті надавати кінцевому споживачу встановлення необхідного йому режиму, тобто забезпечувати санітарні норми температури повітря в опалюваних приміщеннях. Система управління теплозабезпеченням в ІТП призначена для зміни витрати теплоносія. Управляючий вплив реалізується на основі поточного стану теплозабезпечення з урахуванням зміни факторів впливу на потребу у тепловій енергії для встановлення необхідного режиму теплозабезпечення [27].

Впровадження інформаційних технологій при управлінні теплозабезпеченням потребує розроблення прогностичних моделей, а також моделей підтримки прийняття рішень.

Прийняття рішень при управлінні централізованим теплозабезпеченням на стороні споживача здійснюється в умовах апріорної невизначеності, обумовленої неточністю та неповнотою вхідних даних, стохастичною природою зовнішніх впливів, відсутністю адекватної математичної моделі функціонування системи теплозабезпечення, нечіткістю мети та людським фактором.

Удосконалення інформаційної підтримки процесів прийняття рішень щодо управління централізованим теплозабезпеченням на стороні споживача дозволить підвищити ефективність прийнятих рішень, що, у свою чергу, дозволить скоротити споживання теплової енергії будівлею при забезпеченні комфортних умов в опалюваних приміщеннях.

Незважаючи на широке застосування інформаційних технологій для розв'язання окремих задач при управлінні енергетичними системами з ВДЕ,

на сьогодні відсутній єдиний комплексний підхід до вирішення проблеми підвищення якості процесів прийняття рішень при плануванні структури ГЕСВДЕ. Удосконалення інформаційної підтримки процесів прийняття рішень дозволить підвищити ефективність прийнятих рішень щодо планування структури енергосистеми, що, у свою чергу, дозволить у подальшому скоротити витрати на спорудження енергосистеми при забезпеченні достатнього рівня енергоефективності.

Тому стає актуальним вирішення важливої науково-прикладної задачі, суть якої полягає у розв'язанні багатокритеріальної задачі планування оптимальної структури гібридної енергетичної системи з відновлювальними джерелами енергії.

### **3.2 Аналіз підходів до інформаційного забезпечення підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичними системами**

#### **3.2.1 Підходи до управління централізованим теплозабезпеченням**

Інформаційне забезпечення підтримки прийняття рішень при управлінні централізованим теплозабезпеченням вимагає розроблення імітаційних, оптимізаційних та прогнозних моделей, а також моделей підтримки прийняття рішень, що дозволяють опрацьовувати різні варіанти управління.

Обов'язковим при управлінні централізованим теплозабезпеченням є проведення моніторингу що здійснюється для отримання оперативної інформації про обсяг спожитої теплової енергії, функціонування СТ та стан зовнішнього середовища, що дозволяє своєчасно запобігти відхиленням від граничних значень показників та цільових індикаторів [28]. Організація моніторингу послуг з тепlopостачання передбачає автоматизацію, збирання, обробку, зберігання інформації та представлення результатів аналізу даних. Системи автоматизованого моніторингу СТ розроблюються як web-додатки [29-31].

Для управління централізованим теплозабезпеченням окрім даних моніторингу необхідними є дані прогнозування обсягів споживання теплової енергії.

Для підтримки прийняття рішень системами централізованого теплозабезпечення з метою оптимального управління використовується системний підхід, що зумовлено складним ієрархічним характером її структури, нестаціонарністю процесів та стохастичним характером факторів впливу.

Такий підхід дозволяє врахування зв'язків досліджуваної системи з навколишнім середовищем, забезпечує ієрархічне подання внутрішньої структури об'єкта управління.

Застосування систем підтримки прийняття рішень (СППР) при управлінні теплозабезпеченням будівель дозволяє одержувати дані про стан функціонування СТ в інтерактивному режимі, а також на основі аналізу цих даних формувати рекомендації щодо управління процесом теплозабезпечення за умов невизначеності, враховуючи при цьому фактори впливу на потреби у теплозабезпеченні.

Проведений аналіз методів, що використовується при побудові СППР для теплоенергетики (табл.), свідчить про ефективність використання методів теорії нечітких множин та нечіткої логіки при вирішенні окремих задач підтримки прийняття рішень при управлінні централізованим теплозабезпеченням

Таким чином, застосування СППР дозволяє вирішувати широке коло задач підтримки прийняття рішень при управлінні функціонуванням та розвитком теплоенергетики та електроенергетики. Такий підхід при реалізації задач управління теплозабезпеченням будівель дозволяє забезпечити оптимальність управління за рахунок адаптації процесів прийняття рішень до змін, як зовнішніх умов навколишнього середовища, так і внутрішнього стану системи теплозабезпечення.

Таблиця 3.1 – Реалізація СППР в задачах теплоенергетики

Задача СППР	Методи реалізації
Підтримка прийняття рішень для забезпечення нормального режиму функціонування мережі теплозабезпечення	Продукційні моделі, фреймові моделі [32]
Оцінка експлуатаційних показників елементів трубопровідних систем	Експертні системи [32]
Підтримка прийняття рішень щодо вибору ізоляційного матеріалу з погляду еколого-економічної доцільності	Системи на базі нечіткої логіки [33]
Підтримка прийняття рішень щодо управління режимами теплозабезпечення будівель	Системи на базі нечіткої логіки

### 3.2.2 Підходи до управління енергією з відновлювальних джерел

Класичні енергетичні мережі не були призначені для роботи зі складними завданнями управління енергетичними потоками, які з'являються із застосуванням ВДЕ. Будівництво нової мережі або модернізації існуючої для використання ВДЕ потребує детального належного дослідження. Це робиться для того, щоб забезпечити правильний розподіл енергії, одержуваної з різних джерел з метою задоволення потреб кінцевих користувачів теплової та електричної енергії. Для цих завдань можна використовувати СППР для системи енергетичного менеджменту, що дозволяє зробити рекомендації щодо передачі енергії та її споживання, і робити це в режимі реального часу з максимальною ефективністю і використанням нових технологій. Таким чином, завдання підвищення ефективності систем енергетичного менеджменту вимагає особливої ваги.

СППР для енергосистеми на підставі даних оперативного моніторингу метеорологічних і географічних умов, режимів структур споживання, повинні вирішувати проблеми аналізу ефективності реалізації ВДЕ і видати рекомендації щодо їх режиму роботи.

Процес прийняття рішення з управління в системах централізованого теплопостачання потребує ефективного енергоаудиту в цій області, щоб оцінити ефективність реалізації ВДЕ.

Існуючі СППР різняться в залежності від особливостей: різні підходи на основі багатокритеріального аналізу, методів розрахунку технічних характеристик, а також від способу представлення даних.

Вхідні параметри для розрахунку можуть бути міждисциплінарними, що відносяться до метеорології, географії, архітектури, міські системи комунальні і т.д. Три напрями можуть відрізнити розвиток СППР в енергопостачанні будівель за кількістю поновлюваних джерел енергії. Одні використовують одне джерело альтернативної енергії, інші - кілька, а треті поєднують джерела, як тепло- так і електроенергії.

Інформація виходить в "майже реальному" часу, може бути імпортована до географічної інформаційної системи (ГІС) для проведення різних видів просторового аналізу [34]. Інформація про місце розташування обладнання, користувачів і потенціал поновлюваних джерел може бути передана в систему, для забезпечення кращого сприйняття інформації користувачами.

Вже реалізовано деякі проекти, що стосуються створення СППР на основі географічної інформаційної системи для оцінки використання поновлюваних джерел енергії в розподіленій генерації електроенергії. Нижче наведені деякі з існуючих.

Тіба (2010) запропонував методологію визначення кращих місць для використання нових енергетичних систем, але без вивчення роботи мережі [35]. Була розроблена СППР для регіональних планувальників для проведення економічного аналізу набору вітроенергетичних проектів для приватних інвесторів в Бельгії (InterPSS Співтовариство, 2014) [36]. У роботі Йі, Лі, і Шим (2010) ГІС використовується для оцінки гідроелектростанцій. У роботі Рамірес-Росад та ін (2008) [37] СППР призначена для вітроенергетики. Ця система підтримки прийняття рішень з використанням ГІС дозволяє визначити потрібне місце для будівництва ВДЕ, для пошуку потенційних майданчиків для установок ВДЕ.

Хоча велика кількість дослідження була проведена в цьому напрямку, але вони в основному зосереджені на визначенні оптимальної кількості сонячних та вітряних генераторів. З іншого боку, деякі запропоновані моделі передбачають вирішення побудови ефективно працюючої енергетичної системи, але не вирішують питання енергетичного менеджменту для планування споживання і продажу енергії. Таким чином, необхідно створити універсальну систему, яка може вирішити всі ці завдання максимально ефективним способом. Крім того, всі системи були побудовані як єдине ціле з мінімальною кількістю незалежних модулів, таким чином більшість з них не забезпечують інтерактивність.

### **3.3 Модель прогнозування теплозабезпечення будівель з централізованим опаленням**

Виділяють методи короткострокового та довгострокового прогнозування. Задачі довгострокового прогнозування пов'язані з оцінкою потенціалу удосконалення функціонування регіональних паливно-енергетичних комплексів при їх реконструкції та розвитку. Короткострокове прогнозування призначене для визначення обсягів тепло споживання за короткий період часу – одна година, одна доба тощо. Воно відіграє ключову роль в забезпеченні усунення понаднормового споживання теплової енергії при коливанні температури навколишнього середовища та потреб у теплозабезпеченні в залежності від графіку роботи закладу.

Методи прогнозування за ступенем формалізації діляться на емпіричні та формалізовані.

Класифікацію основних методів прогнозування за ступенем формалізації [38] представлено на рис. 3.1.

На сьогодні широко розповсюдженими методами прогнозування є регресійні, авторегресійні та нейромережеві методи прогнозування [39-40]. Регресійні методи при прогнозуванні теплоспоживання будівель використовуються для встановлення залежностей між кількістю спожитої

теплової енергії та такими параметрами, як температура навколишнього середовища, витрати теплоносія, тип будівлі, опалювальна площа [41], час доби, день тижня, а також дозволяють враховувати сезонність [42]. Переважно для вирішення такого типу задач кореляційного аналізу використовується MS Excel.



Рисунок 3.1 – Класифікація методів прогнозування за ступенем формалізації

Методологія Бокса-Дженкінса, що базується на побудові функції лінійної залежності параметрів часового ряду від їх попередніх значень і не має можливості врахування впливу незалежних змінних, застосовується для кореляційного аналізу стаціонарних часових рядів з вираженими сезонними коливаннями та дозволяє враховувати при прогнозі лише одну періодичну компоненту (наприклад, соціальну) [43-44].



Недоліками регресійних та авторегресійних методів є те, що вони дозволяють побудувати лінійну залежність теплоспоживання від температури навколишнього середовища, при цьому інші параметри метеорологічних умов не враховуються. Цей недолік обмежує застосування даних методів за умов невизначеності.

Порівняльну характеристику методів, що використовуються при короткостроковому прогнозуванні теплоспоживання будівель, їх переваги та недоліки наведено в табл. 3.2.

Таблиця 3.2 – Порівняльна характеристика методів прогнозування у теплоенергетиці

Метод	Переваги	Недоліки
Регресійний	- простота; - прозорість моделювання;	- не враховує можливої взаємодії змінних;
Авторегресійні методи	- простота, прозорість моделювання; - одноманітність аналізу і проектування;	- трудомісткість і ресурсомісткість ідентифікації моделей; - неможливість моделювання нелінійних залежностей; - низька адаптивність;
Нейромережеві методи	- нелінійність моделей; - масштабованість; - висока адаптивність; - одноманітність аналізу і проектування;	- складність вибору архітектури; - жорсткі вимоги до навчальної вибірки; - складність вибору алгоритму навчання; - ресурсомісткість процесу навчання.

Штучні нейронні мережі не потребують побудови моделі об'єкта прогнозування, модель залежностей будується на основі відібраних даних, тому нейронні мережі є ефективним інструментом управління процесами вирішення складно формалізованих задач в умовах невизначеності факторів впливу. Навчання нейронної мережі, яка потім застосовується при визначенні

майбутніх значень вихідних параметрів прогнозування, проводиться з використанням обмеженої вибірки даних.

До обчислювальних задач енергетики, в яких застосування штучних нейронних мереж є високоефективним, можна віднести [9]:

- прогнозування потреб у тепловій, електричній енергії, природному газі;
- прогнозування об'ємів генерації електроенергії;
- діагностування стану й локалізації несправностей встановленого обладнання енергетичних мереж;
- моделювання інтенсивності забруднюючого впливу на навколишнє середовище;
- оцінка стійкості енергосистеми.

Використання нейромережевих методів у прогнозуванні теплоспоживання дозволяє дослідити поведінку теплового навантаження будівлі на основі архівних даних. Даний метод надає можливість універсальної апроксимації нелінійних залежностей [45], що не є можливим при застосуванні інших методів. Проте високої точності прогнозування можна досягти лише за умови розроблення прогнозних моделей з високим ступенем достовірності, що враховують максимальну кількість факторів впливу на зміну теплового навантаження будівлі.

Для короткострокового прогнозування потреб будівлі у теплозабезпеченні в роботі [46] використано багат шарову нейронну мережу з двома шарами, входами якої є добові дані теплоспоживання, а також середньодобова температура повітря навколишнього середовища. Для навчання даної нейронної мережі застосовується алгоритм Левенберга-Маркварда. В роботі [47] запропоновано враховувати при прогнозуванні потреб у теплозабезпеченні метеорологічні умови навколишнього середовища (температуру, атмосферного тиску та швидкості вітру).

Недоліками розглянутих вище моделей є те, що вони не враховують соціальний фактор. Специфіка роботи закладів соціально-бюджетної сфери

полягає у тому, що потреби у теплозабезпеченні залежать не лише від кліматичних умов навколишнього середовища, а й від режиму роботи закладу (робочий день, вихідний, канікули взимку). Таким чином у даній роботі запропоновано розглядати у якості вхідних параметрів прогнозування як дані кліматичних умов, так і режим роботи закладу. Також порівняння декількох архітектур нейронних мереж дозволить визначити найбільш прийнятний тип моделі нейронної мережі.

Слід відмітити, що традиційно методи прогнозування у теплоенергетиці були орієнтовані на визначенні для прогнозування обсягів відпуску теплової енергії споживачам із джерела. У той же час впровадження регіональних систем моніторингу енергетичних ресурсів, оснащення будинків приладами обліку споживання теплової енергії надає можливість доступу до великих об'ємів даних короткострокового споживання теплової енергії. Це дозволяє розробляти моделі короткострокового прогнозування теплоспоживання, орієнтовані на споживача [48]. Такий підхід забезпечує врахування відмінності потреб у теплозабезпеченні для кожного будинку окремо. Розроблення моделей короткострокового прогнозування, орієнтованих на споживача, становить практичний інтерес, так як забезпечує необхідними даними процес підтримки прийняття рішень щодо управління режимами теплозабезпечення будівель.

Вхідними даними для прогнозування потреби будівлі соціально-бюджетної сфери у тепловій енергії є дані споживання теплової енергії, зібрані під час моніторингу з лічильників, дані метеорологічних умов навколишнього середовища та дані графіку роботи закладу соціально-бюджетної сфери.

У загальному вигляді задача нейромережевого прогнозування потреби будівлі соціально-бюджетної сфери у теплової енергії зводиться до побудови математичної моделі на основі сукупності даних щодо кліматичних умов, графіку роботи та теплоспоживання будівлі, що поділяються на множину

вхідних даних  $X$  та вихідних даних  $Y$  при заданих обмеженнях та даних про систему теплоспоживання  $Z$ .

Задачу нейромережевого прогнозування теплоспоживання можна представити співвідношенням :

$$\hat{y}(t) = F(x(t)) \quad (3.1)$$

де  $X$  – вхідний вектор, сформований на основі даних моніторингу теплоспоживання;

$\hat{Y}$  – прогнозне значення теплоспоживання.

Компоненти вектора  $X$  у формулі (3.1) для кожного об'єкта теплоспоживання:

$$X(t) = (x(t), t), \quad (3.2)$$

де  $x(t)$  – вектор вхідних змінних;

$t$  – час.

Компоненти вектора вхідних змінних  $x(t)$  представлені в табл. 3.3.

Таблиця 3.3 – Входи нейронної мережі

Елементи вектору вхідних змінних	Одиниці вимірювання	Значення
$x_1$	°C	Температура повітря навколишнього середовища
$x_2$	м/с	Швидкість вітру
$x_3$	мм. рт. ст.	Атмосферний тиск
$x_4$	%	Вологість повітря
$x_5$	G	Тип дня тижня
$x_6$	Gкал	Теплоспоживання

Виходом нейронної мережі є значення змінної  $\hat{y}(t)$  – витрати теплової енергії на обігрів за час  $t$  кожного об'єкта теплоспоживання, (Гкал).

Процес побудови нейромережі для прогнозування теплоспоживання будівлі умовно можна розподілити на етап вибору типу моделі нейромережі, що визначає її структуру, та етап пошуку оптимальних параметрів нейромережі.

На рис. 3.2 зображено узагальнений алгоритм прогнозування теплоспоживання будівель соціально-бюджетної сфери із застосуванням нейромережевих технологій.

Згідно з цим алгоритмом процес побудови моделі прогнозування поділяють на етап структурного та параметричного синтезу, який виконується ітераційно для досягнення мінімізації похибки прогнозування.

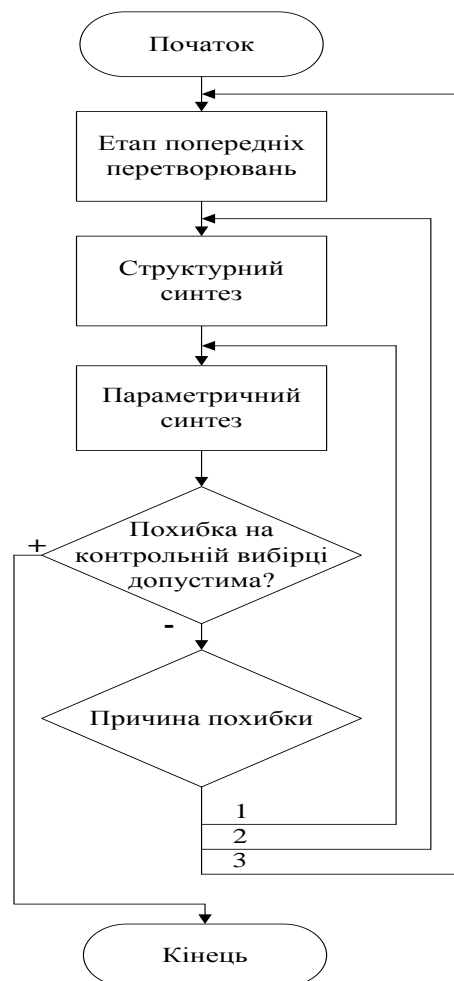


Рисунок 3.2 – Алгоритм нейромережевого прогнозування

На рис. 3.2 використано наступні позначення: 1 – перехід на етап параметричного синтезу, 2 – перехід на етап структурного синтезу, 3 – етап попередньої підготовки даних.

Схему нейромережевого прогнозування в загальному вигляді наведено на рис. 3.3 [49].

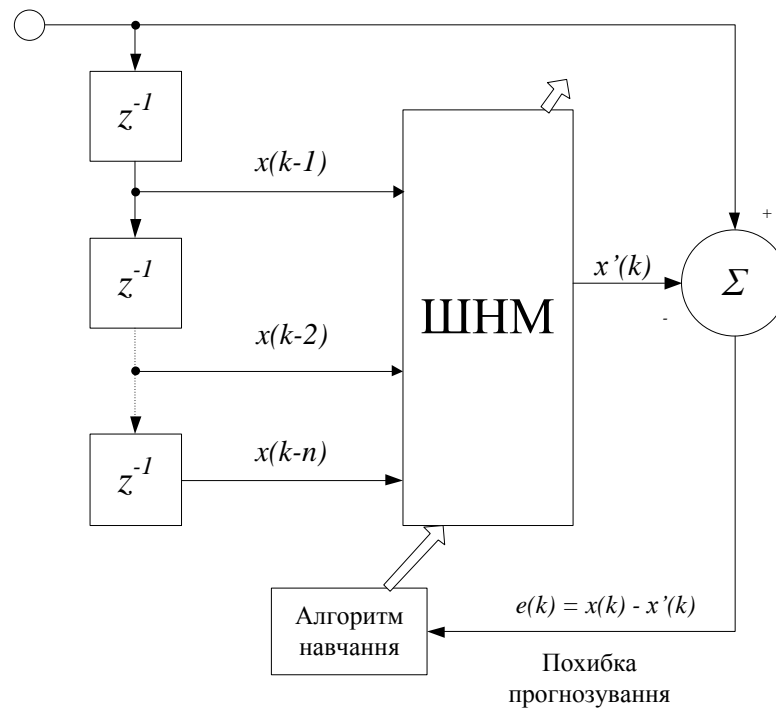


Рисунок 3.3 – Схема нейромережевого прогнозування

Для нейромережевого прогнозування було використано архітектури нейронної мережі типів [50]:

1) нелінійна нейромережа прямого розповсюдження типу «вхід-вихід», що враховує для прогнозування лише вхідні змінні:

$$\hat{y}(t) = F(x(t-1), x(t-2), \dots, x(t-n))$$

2) нелінійна авторегресійна мережа, що приймає в якості вхідних даних прогнозовані дані виходів:

$$\hat{y}(t) = F(y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-n))$$

3) нелінійна авторегресійна нейромережа з екзогенними входами, яка поєднує як вхідні змінні, так і дані попередніх прогнозів:

$$\hat{y}(t) = F(y(t-1), y(t-2), \dots, y(t-n), x(t-1), x(t-2), \dots, x(t-n)),$$

де  $\hat{y}(t)$  – вихідний сигнал моделі прогнозування,

$y(t-1), \dots, y(t-n)$  – значення вихідного сигналу у попередні періоди часу,

$x(t-1), \dots, x(t-n)$  – поточне та попереднє значення входів нейронної мережі,

$t$  – дискретний момент часу,

$n$  – значення періоду затримки прогнозу.

Архітектури побудованих нейронних мереж типів NIO, NAR та NARX зображено на рисунках 3.4-3.6 [51].

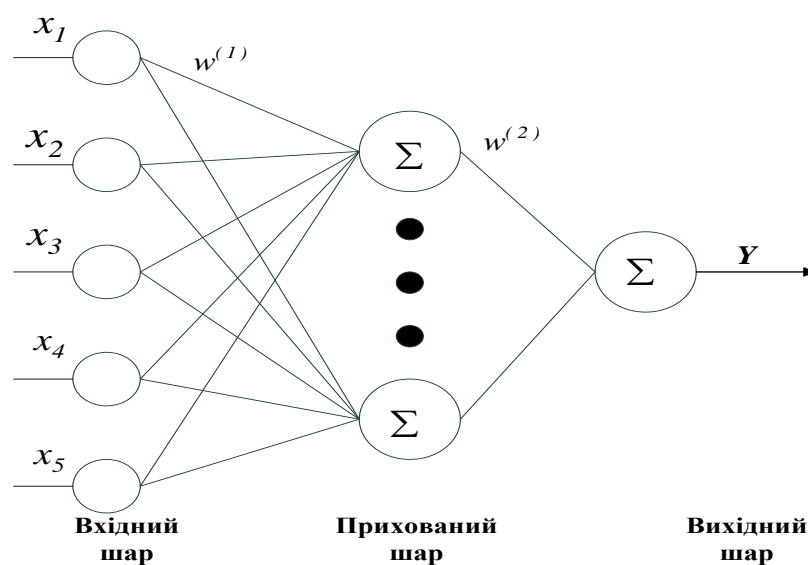


Рисунок 3.4 – Архітектура нейронної мережі типу NIO

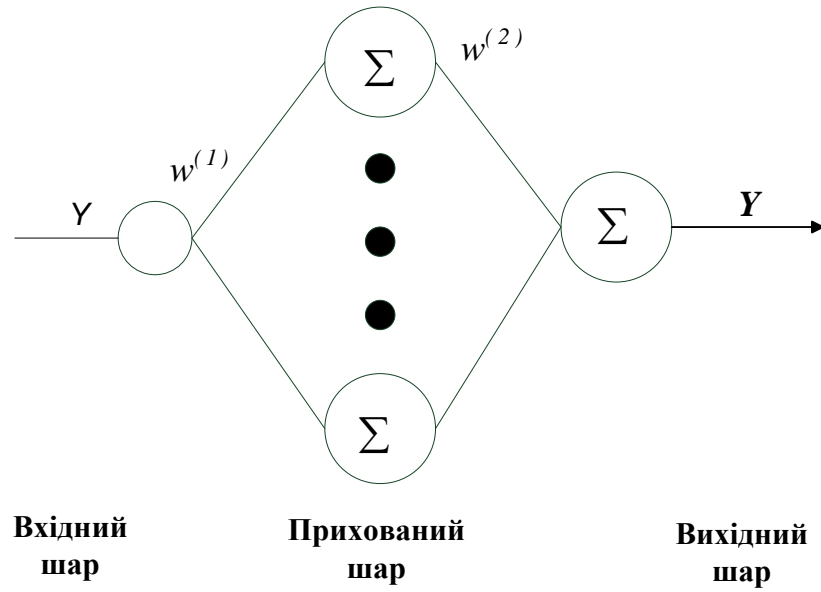


Рисунок 3.5 – Архітектура нейронної мережі типу NAR

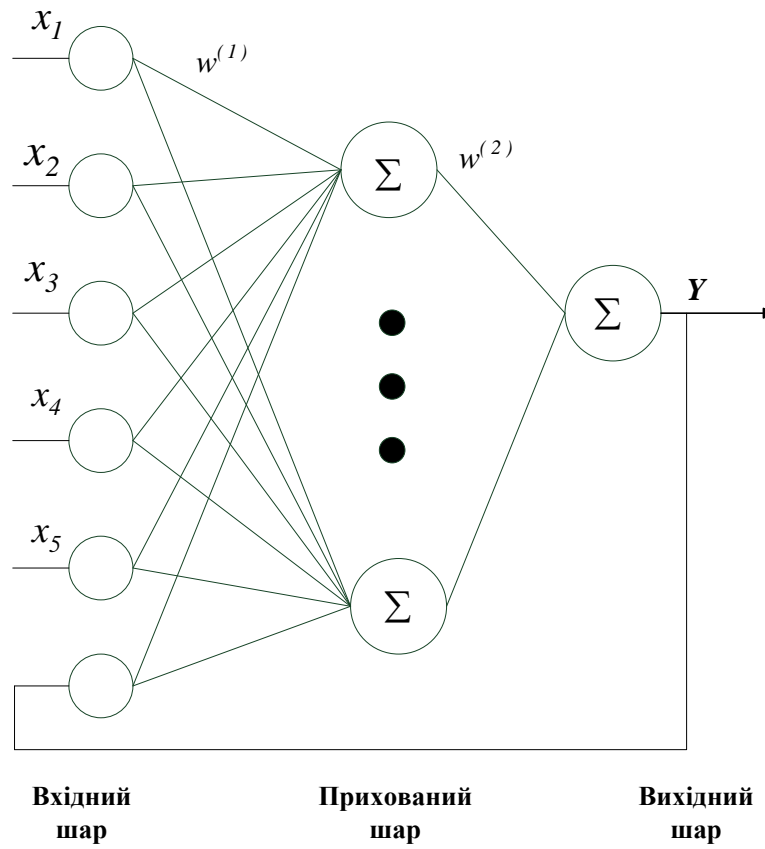


Рисунок 3.6 – Архітектура нейронної мережі типу NARX



На етапі налаштування параметрів моделі нейронної мережі здійснюється підбір вагових коефіцієнтів нейронної мережі  $W$  в результаті реалізації процедури навчання.

Блок-схему алгоритму навчання нейронної мережі представлено на рис. 3.7.

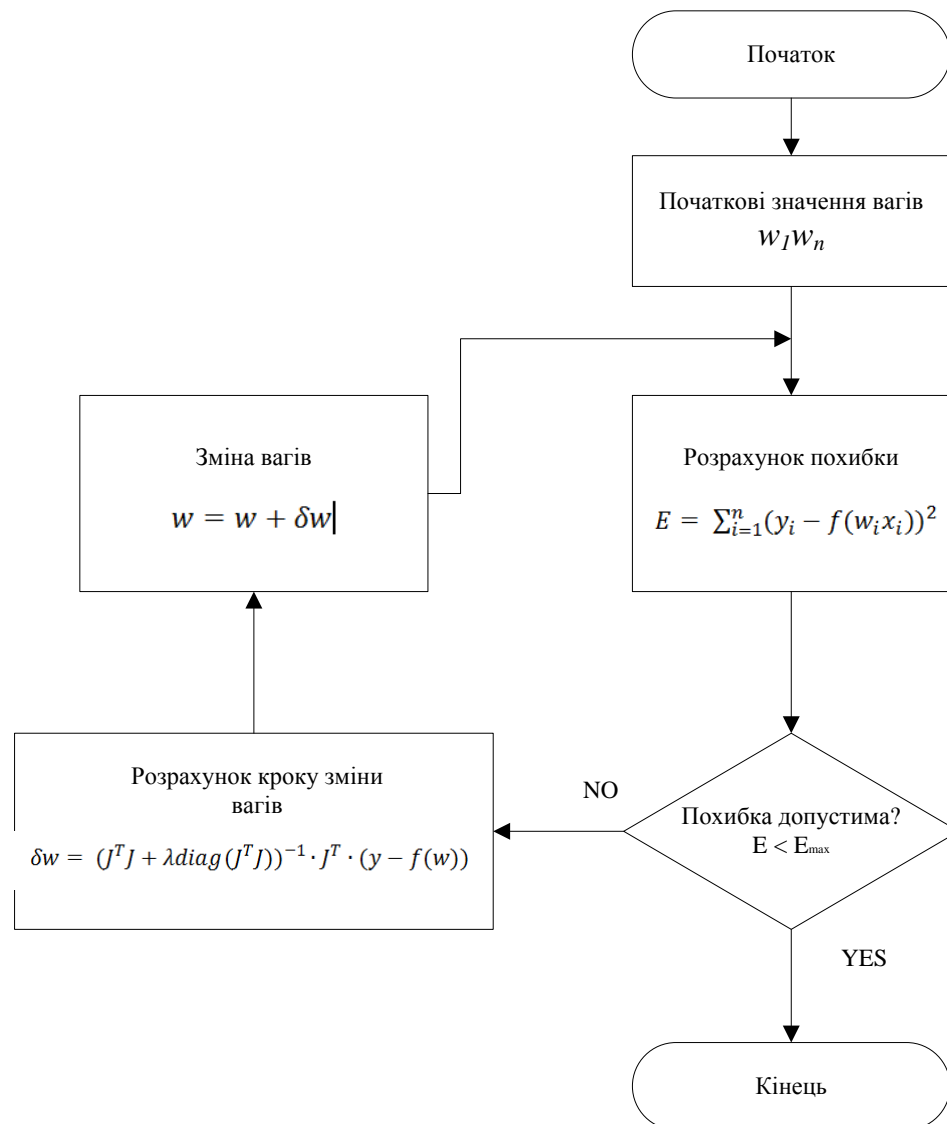


Рисунок 3.7 – Блок-схема алгоритму навчання нейронної мережі

Навчання нейронної мережі відповідно до цього алгоритму проводилося з використанням множини даних моніторингу за три останні опалювальні сезони, що відображають залежність щоденного споживання

теплової енергії закладом соціально-бюджетної сфери від графіка роботи закладу та метеорологічних умов навколишнього середовища.

У якості об'єкта для тестування розроблених моделей прогнозування обрано систему теплоспоживання будівель Сумського державного університету. Історичні дані для навчання нейронної мережі зібрані за допомогою підсистеми моніторингу інформаційно-аналітичної системи «HeatCAM» [52].

Для ідентифікації параметрів моделі нейронної мережі необхідно шляхом побудови нейронної мережі за даними навчальної вибірки та проведення обчислювального експерименту знайти оптимальні значення кількості нейронів прихованого шару  $L$  та множини значень вагових коефіцієнтів нейронної мережі  $\hat{W}$ , за яких похибка обчислення є найменшою. Для оцінки точності прогнозування слід обчислити помилки прогнозу та порівняти їх із допустимими значеннями.

Для оцінки достовірності запропонованих моделей прогнозування теплоспоживання будівлі соціально-бюджетної сфери їх реалізовано у програмному середовищі MatLab Neural Network Toolbox [53]. У якості об'єкта для тестування розроблених моделей прогнозування обрано систему теплоспоживання будівель Сумського державного університету.

Вхідними даними для прогнозування є значення кількості теплової енергії, зібрані з лічильників, встановлених у корпусах університету, а також дані кліматичних умов навколишнього середовища та графіку роботи закладу.

У програмному середовищі Matlab Neural Network Toolbox побудовано архітектури моделей нейронних мереж типів NIO, NAR та NARX. Множину

даних про теплоспоживання  $Z$  для навчання нейронної мережі було розбито у пропорції:  $Z_{tr}$  – 70%,  $Z_t$  – 20%,  $Z_v$  – 10%.

Графіки результатів навчання нейронних мереж засобами Matlab показано на рис. 3.8-3.10.

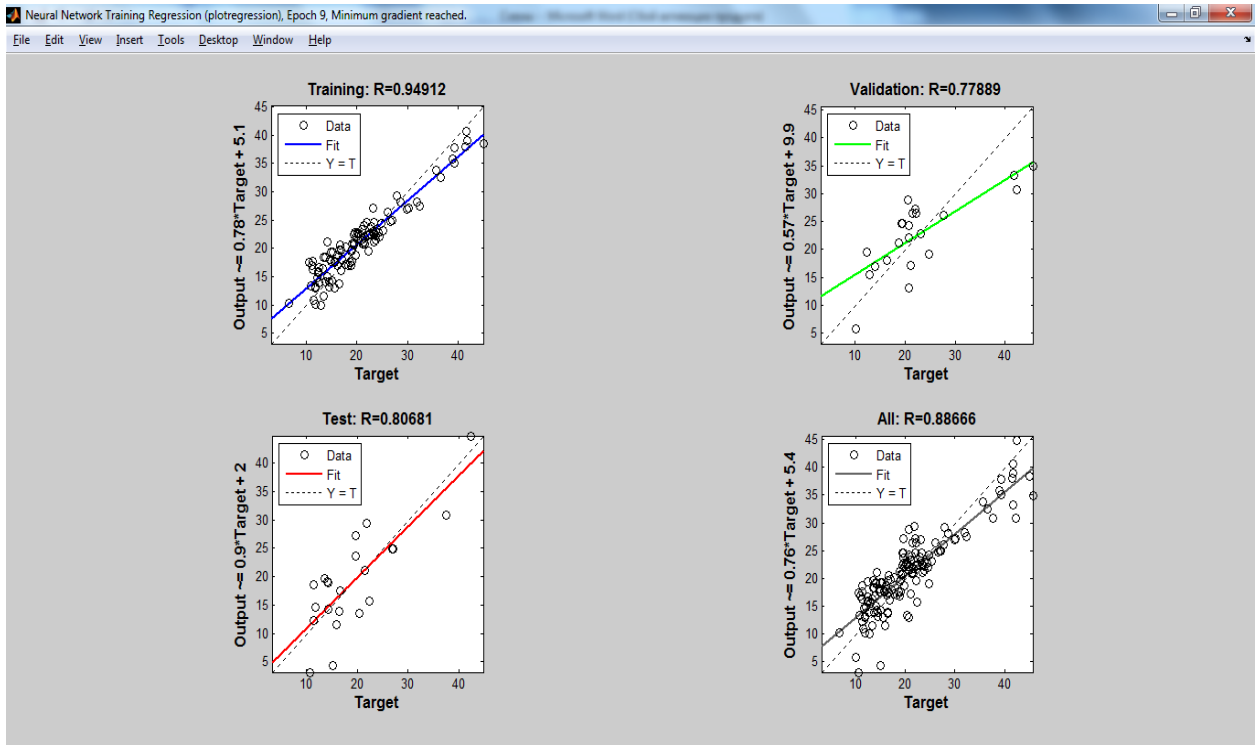


Рисунок 3.8 – Графіки навчання нейронної мережі типу НЮ

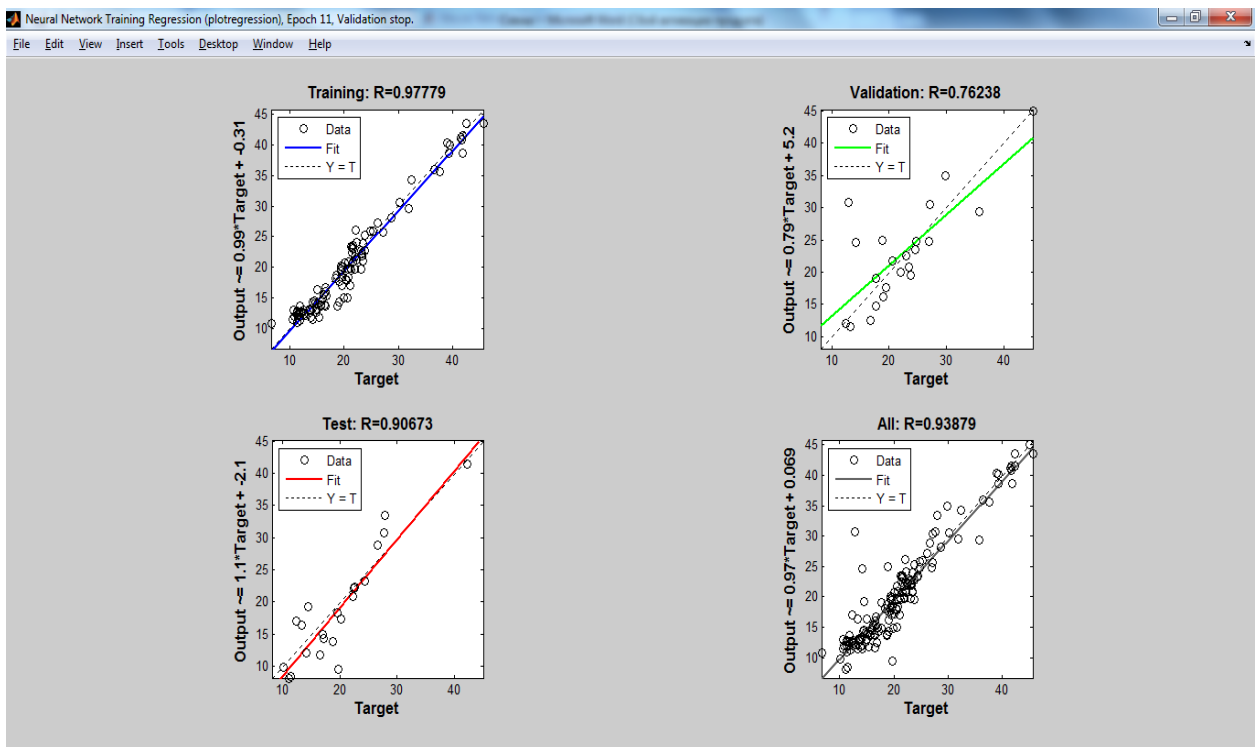


Рисунок 3.9 – Графіки навчання нейронної мережі типу NAR

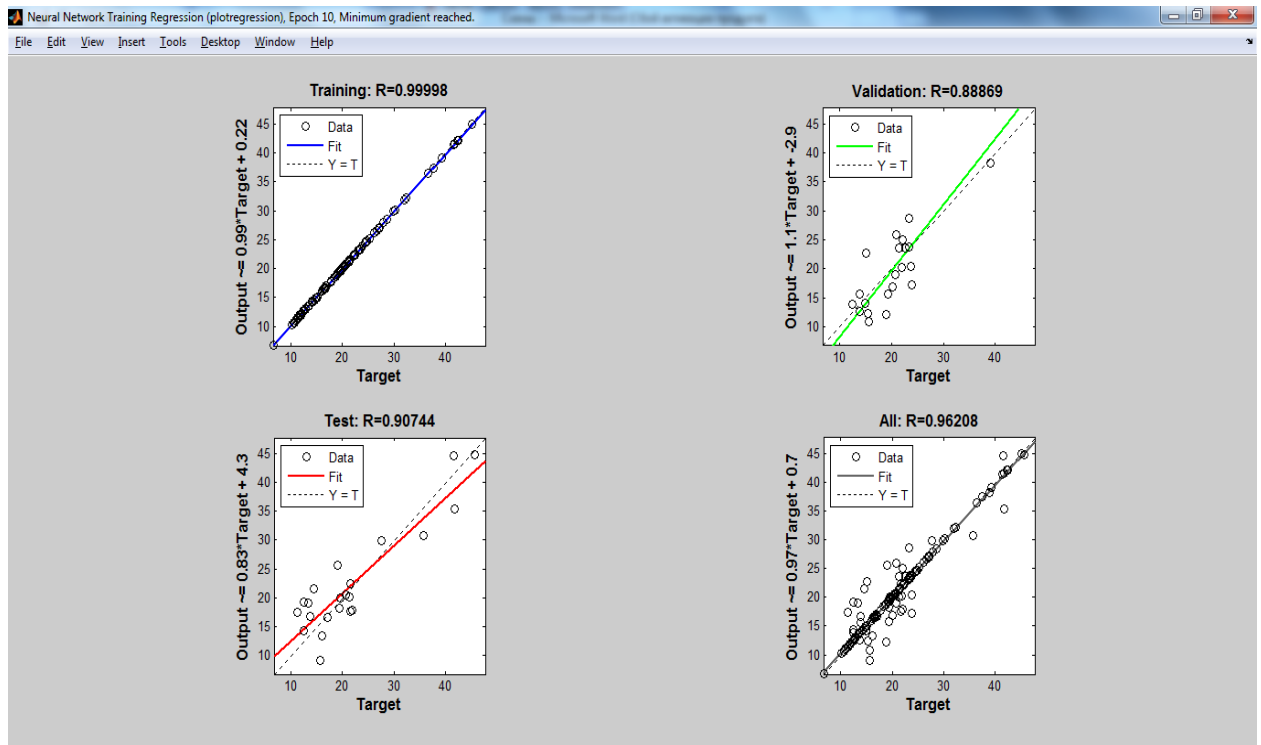


Рисунок 3.10 – Графіки навчання нейронної мережі типу NARX

Для оцінки точності побудованих моделей прогнозування та вибору найбільш оптимальної для прогнозування теплоспоживання архітектури нейронної мережі було обчислено помилки прогнозу:

– середню абсолютну помилку прогнозу MAE:

$$MAE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N |y(t) - \hat{y}(t)|;$$

– середню абсолютну помилку прогнозу у відсотках MAPE:

$$MAPE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N \left| \frac{y(t) - \hat{y}(t)}{y(t)} \right| \cdot 100\% ;$$

– квадратний корінь із середньоквадратичної помилки прогнозу RMSE:

$$MSE = \frac{1}{N-1} \sum_{t=1}^N (y(t) - \hat{y}(t))^2,$$

$$RMSE = \sqrt{MSE}.$$

Результати точності прогнозу побудованих моделей для тестової вибірки даних наведено в табл. 3.4.

Таблиця 3.4 – Порівняння точності моделей прогнозування

Тип прогнозованої моделі	Середня точність прогнозу, %
NAR	79,6
NIO	81,8
NARX	88,2

На рисунках 3.11-3.13 зображено графіки фактичного значення теплоспоживання будівлі одного з корпусів Сумського державного університету та прогнозованого значення, одержаного при використанні моделей нейронної мережі типів NIO, NAR та NARX за три тижні січня 2013.

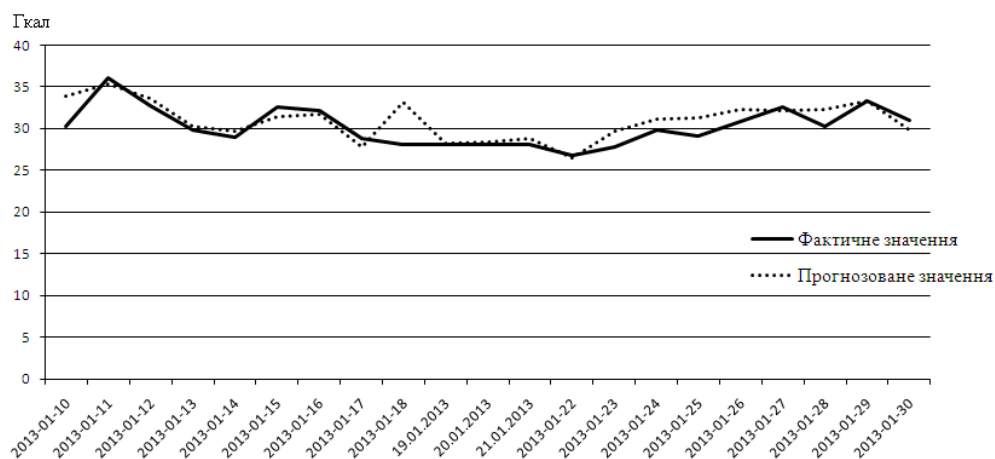


Рисунок 3.11– Порівняння фактичних значень теплоспоживання будівлі та прогнозованих значень з використанням моделі нейронної мережі типу NIO

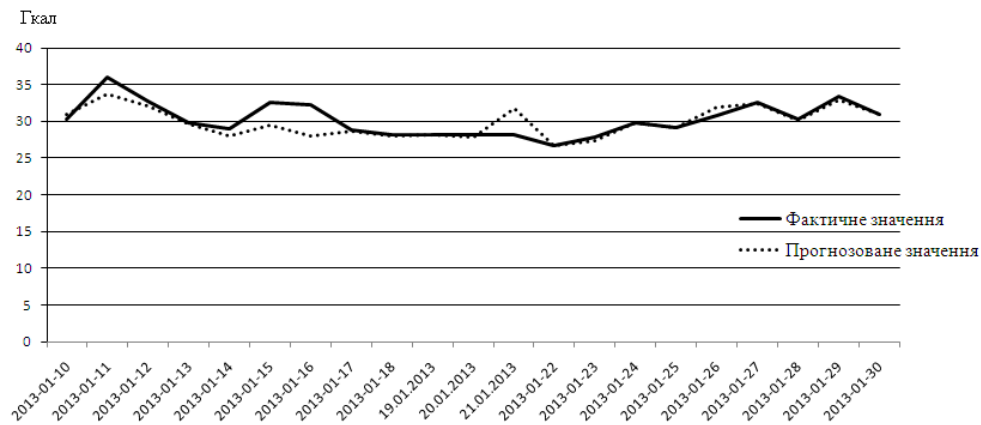


Рисунок 3.12 – Порівняння фактичних значень теплоспоживання будівлі та прогнозованих значень з використанням моделі нейронної мережі типу NAR

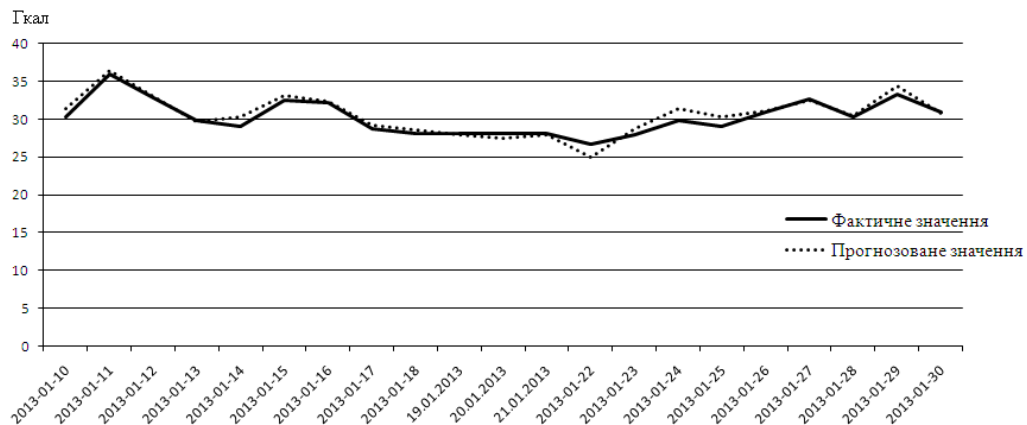


Рисунок 3.13 – Порівняння фактичних значень теплоспоживання будівлі та прогнозованих значень з використанням моделі нейронної мережі типу

NARX

Як показують результати розрахунку точності моделей прогнозування для тестової вибірки даних, наведені в табл. 3.4, найбільшу точність близько 90% має прогноз теплоспоживання з використанням моделі нелінійної нейронної авторегресійної мережі типу NARX, що враховує при прогнозуванні як результати попередніх прогнозованих значень, так і значення входів нейронної мережі.

Було проведено розрахункові експерименти для вибору оптимальної кількості нейронів прихованого шару для мережі NARX (табл. 3.5).

Таблиця 3.5 – Результати розрахункового експерименту для встановлення кількості нейронів прихованого шару для мережі NARX

Кількість нейронів прихованого шару	MAE
1	2.2823
2	3.0941
3	2.7307
4	1.6247
5	1.4510
6	1.1157
7	0.8244
8	0.9028
9	1.1187
10	1.3290

У результаті експерименту встановлено кількість нейронів прихованого шару  $L$  (Number of hidden neuron) – 7. Результати розрахункового експерименту представлено в таблиці, оцінка достовірності виконувалася за параметром MAE. При цьому значенні значення середньої абсолютної похибки найменше.

Попередньо навчена нейронна мережа використовується для прогнозування [54].

Було проведено структурно-функціональне моделювання процесу прогнозування з використанням розробленої моделі. Контекстну діаграму процесу прогнозування в нотації IDEF0 зображено на рис. 3.14.

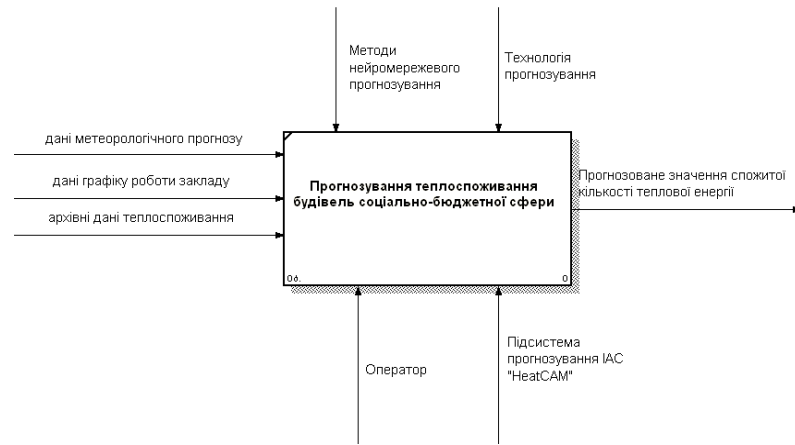


Рисунок 3.14 – Контекстна діаграма процесу «Прогнозування»

Контекстна діаграма є вершиною деревовидної структури діаграм і являє собою саме загальний опис системи та її взаємодії із зовнішнім середовищем; діаграми декомпозиції. Після опису системи в цілому було проведено розбиття її на окремі функціональні блоки. Цей процес називається функціональною декомпозицією, а діаграми, які описують кожен фрагмент і взаємодія фрагментів, називаються діаграмами декомпозиції.

На рис. 3.15 зображено діаграму декомпозиції процесу прогнозування першого рівня в нотації IDEF0.

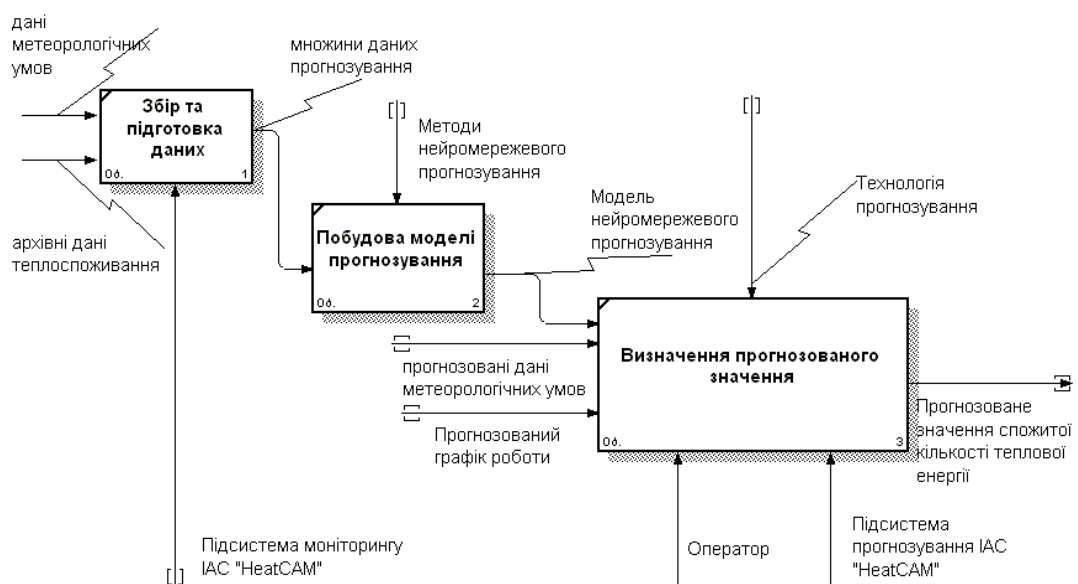


Рисунок 3.15 – Діаграма декомпозиції «Прогнозування»



Компонентами функціонального наповнення процесу прогнозування є «Збір та підготовка даних», «Побудова моделі прогнозування», «Визначення прогнозованого значення». Методи компонента системного наповнення «Збір та підготовка даних» реалізуються підсистемою моніторингу ІАС «HeatCAM» та виконують збір даних та збереження в єдиній базі даних кліматичних умов навколишнього середовища, а також даних моніторингу параметрів функціонування системи теплозабезпечення. Таким чином виконується збирання даних про кількість спожитої теплової енергії закладом з урахуванням кліматичних умов при певному графіку роботи.

Діаграму декомпозиції компонента функціонального наповнення «Побудова моделі прогнозування» зображено на рис. 3.16.

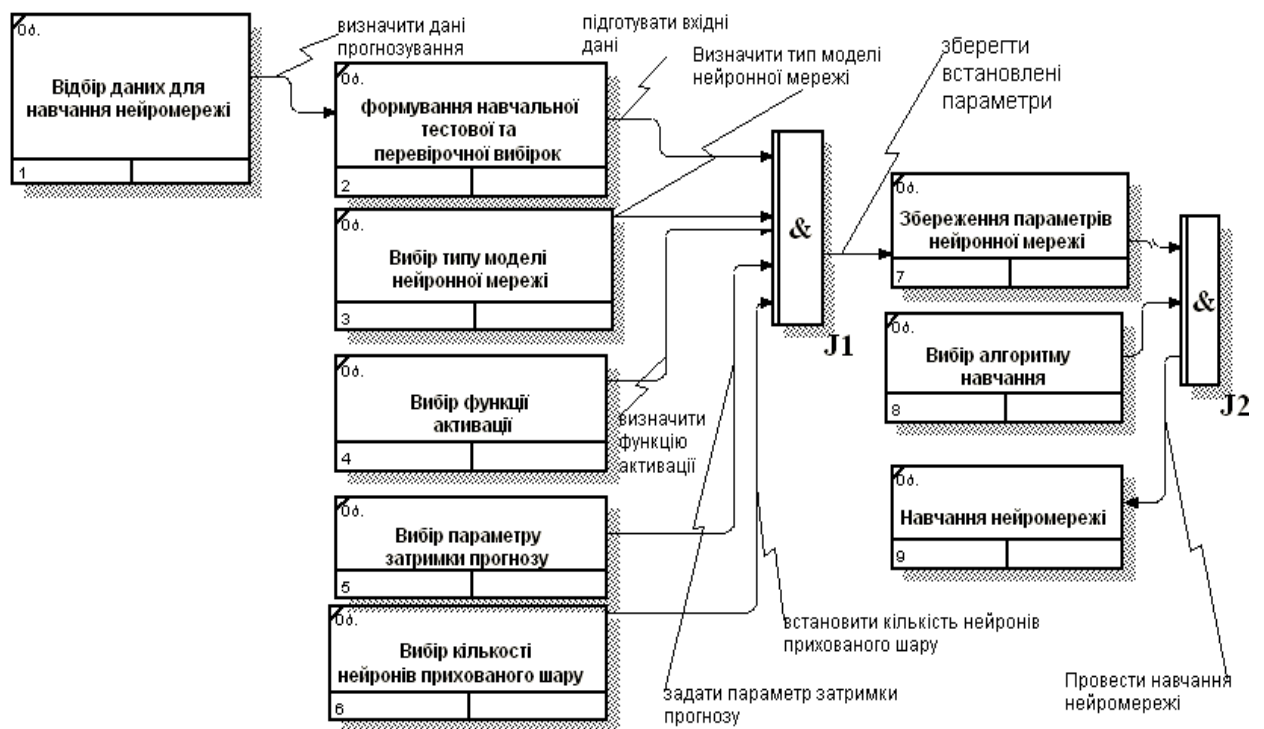


Рисунок 3.16 – Діаграма декомпозиції «Побудова моделі прогнозування»

У результаті одержуємо модель прогнозування теплоспоживання будівель соціально-бюджетної сфери з урахуванням соціального та кліматичного факторів.

Компонент функціонального наповнення «Побудова моделі прогнозування» викликається компонентом «Визначення прогнозованого значення», який реалізує виклик нейронної мережі зі встановленими в процесі навчання ваговими коефіцієнтами.

Компонент «Визначення прогнозованого значення» викликається енергоменеджером при необхідності розрахунку прогнозованого значення спожитої теплової енергії будівлею для впровадження заходів з коригування режиму теплозабезпечення.

Алгоритм визначення прогнозованого значення зображено на рис. 3.17.



Рисунок 17 – Алгоритм визначення прогнозованого значення

Згідно з ним спочатку виконується запит на розрахунок прогнозованого значення. Потім запускається на виконання файл програмного додатку Matlab, у якому зберігається побудована та попереднього навчена модель нейромережевого прогнозування, для здійснення розрахунку прогнозованого значення.

Результати прогнозування відображаються на web-сторінці підсистеми прогнозування ІАС «HeatCAM». Таким чином модель короткострокового прогнозування теплоспоживання будівель закладів соціально-бюджетної сфери дозволяє визначити прогнозоване значення теплоспоживання будівель на наступну добу за умов невизначеності факторів впливу. У результаті прогнозування одержуємо кількість теплової енергії, яку має споживати будівля при певних значеннях факторів впливу. На основі цих даних можна здійснювати регулювання відпуску теплової енергії згідно з прогнозованими потребами.

### **3.4 Модель підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери з централізованим опаленням**

Прийняття рішення щодо управління теплозабезпеченням базується на відомостях про поточний режим теплозабезпечення в залежності від погодних умов, а також прогнозне значення теплоспоживання. Для визначення погодних умов та режиму теплозабезпечення експертами була надана наступна інформація про їх діапазони:

– в системі є 4 наступні погодні умови: дуже холодно, холодно, помірно, тепло;

– в системі є 4 наступні режими теплозабезпечення: недостатній, допустимий, оптимальний, надлишковий.

На основі експертних даних інформації було розроблено моделі підтримки прийняття рішень [55]:

– модель для визначення погодних умов за температурою навколишнього середовища;

– модель для визначення режиму теплозабезпечення за кількістю спожитого тепла та температурою навколишнього середовища.

Модель нечіткого логічного виведення значення режиму теплозабезпечення представлено у вигляді формули 3.3:

$$R_c = \begin{cases} f(ZY1), \text{ if } Z_w \text{ is } Z_{w1} \\ f(ZY2), \text{ if } Z_w \text{ is } Z_{w2} \\ f(ZY3), \text{ if } Z_w \text{ is } Z_{w3} \\ f(ZY4), \text{ if } Z_w \text{ is } Z_{w4} \end{cases} \quad (3.3)$$

де  $R_c$  – режим теплозабезпечення;

$ZY1, ZY2, ZY3, ZY4$  – лінгвістичні змінні, що визначають кількість спожитої теплової енергії при різних температурних умовах навколишнього середовища,

$Z_w$  – лінгвістична змінна, яка характеризує стан температурних умов навколишнього середовища;

$Z_{w1}, Z_{w2}, Z_{w3}, Z_{w4}$  – терми лінгвістичної змінної  $Z_w$ .

Згідно з даною моделлю спочатку визначається стан температурних умов навколишнього середовища як функція від середньодобового значення температури повітря, формула 3.4:

$$Z_w = F(X_w), \quad (3.4)$$

де  $Z_w$  – вихідна змінна, що задає приналежність температури повітря навколишнього середовища до певного стану,

$X_w$  – температура повітря навколишнього середовища, °C.

На рис. 3.18 наведено структуру нечіткого логічного виведення стану температурних умов навколишнього середовища у вигляді дерева.

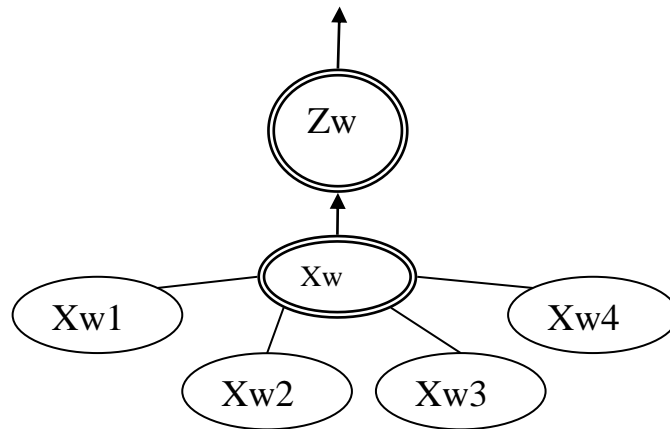


Рисунок 3.18 – Структура моделі нечіткого логічного виведення стану температурних умов навколишнього середовища у вигляді дерева

Визначено лінгвістичну змінну  $X_w$  – «температура повітря навколишнього середовища» на універсальній множині  $U(X_w) = [-30, 20]$  (C°). Терм-множина лінгвістичної змінної  $T(X_w) = \langle X_{w1} - \text{дуже холодно}, X_{w2} - \text{холодно}, X_{w3} - \text{помірно}, X_{w4} - \text{тепло} \rangle$ .

Вихідна змінна  $Z_w$  – «стан температурних умови навколишнього середовища» характеризується оцінками 1 – дуже холодно, 2 – холодно, 3 – помірно, 4 – тепло.

Дані про усі лінгвістичні змінні запропонованої моделі визначення стану температурних умов навколишнього середовища, терми та умовні позначення термів наведено в табл. 3.6.

У залежності від одержаного значення змінної  $Z_w$  значення режиму теплозабезпечення  $R_c$  визначається із формули (3.3) за однією із чотирьох моделей нечіткого логічного виведення, побудованих з використанням лінгвістичних змінних  $Z_{Y1}$ ,  $Z_{Y2}$ ,  $Z_{Y3}$ ,  $Z_{Y4}$  відповідно. Ці моделі мають однакову структуру, яка зображена на рис. 3.19, та відрізняються лише

параметрами для побудови функцій належності термів, кількість термів та тип функцій належності у побудованих моделях співпадають.

Таблиця 3.6 – Вхідні та вихідні змінні моделі визначення стану температурних умов та їх лінгвістична оцінка

Змінна	Назва	Діапазони зміни	Терми (позначення)
$X_w$	температура на вулиці	-30 - 20 C°	дуже холодно ( $X_{w1}$ ) холодно ( $X_{w2}$ ) помірно ( $X_{w3}$ ) тепло ( $X_{w4}$ )
$Z_w$	Стан температурних умов навколишнього середовища	1,2,3,4 const	1 – дуже холодно ( $Z_{w1}$ ) 2 – холодно ( $Z_{w2}$ ) 3 – помірно ( $Z_{w3}$ ) 4 – тепло ( $Z_{w4}$ )

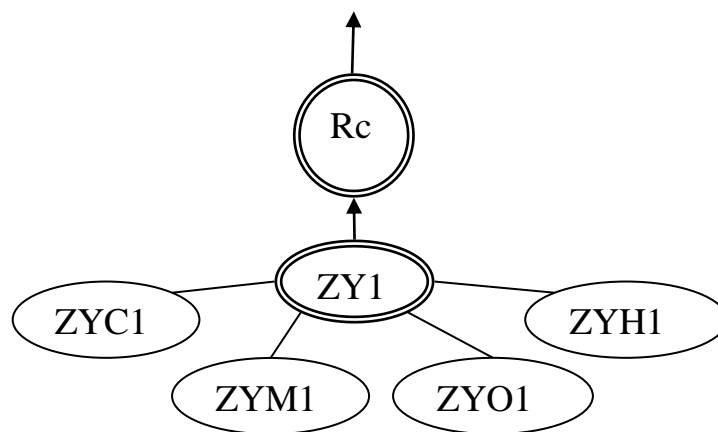


Рисунок 3.19 – Структура моделі нечіткого логічного виведення режиму теплозабезпечення

Визначено лінгвістичну змінну  $ZY1$  – «Кількість теплової енергії» на універсальній множині  $U(ZY1) = [0, 50]$  (Гкал). Терм-множина лінгвістичної змінної  $T(ZY1) = \langle \text{нижче за необхідний, допустимий, оптимальний, перевищує оптимальний} \rangle$ . Ця лінгвістична змінна характеризує теплоспоживання будівлі закладу соціально-бюджетної сфери за умов, коли температурні умови навколишнього середовища визначаються як «дуже холодно». Аналогічно визначено лінгвістичні змінні  $ZY2$ ,  $ZY3$ ,  $ZY4$ , які

характеризують теплоспоживання будівлі, коли температурні умови навколишнього середовища визначаються як «холодно», «помірно» та «тепло» відповідно. У таблиці наведені діапазони та терми лінгвістичних змінних ZY1, ZY2, ZY3, ZY4.

Вихідна змінна Rc – «режим теплозабезпечення» характеризується оцінками 1 – недостатній, 2 – допустимий, 3 – оптимальний, 4 – надлишковий.

Таблиця 3.7 – Вхідні змінні теплоспоживання будівлі та їх лінгвістична оцінка

Змінна	Назва	Діапазон	Терми (позначення)
ZY1	теплозабезпечення (за умов «дуже холодно»)	0 - 50 Гкал	нижче за необхідний (ZYC1); допустимий (ZYM1); оптимальний (ZYO1); перевищує оптимальний (ZYH1);
ZY2	теплозабезпечення (за умов «холодно»)	0 - 45 Гкал	нижче за необхідний (ZYC2); допустимий (ZYM2); оптимальний (ZYO2); перевищує оптимальний (ZYH2);
ZY3	теплозабезпечення (за умов «помірно»)	0 - 35 Гкал	нижче за необхідний (ZYC3); допустимий (ZYM3); оптимальний (ZYO3); перевищує оптимальний (ZYH3);
ZY4	теплозабезпечення (за умов «тепло»)	0 - 25 Гкал	нижче за необхідний (ZYC4); допустимий (ZYM4); оптимальний (ZYO4); перевищує оптимальний (ZYH4);
Rc	Режим теплозабезпечення	1,2,3,4 const	1 – недостатній (ZYC) 2 – допустимий (ZYM) 3 – оптимальний (ZYO) 4 – надлишковий (ZYH)

Після визначення лінгвістичних змінних було формалізовано належність можливих значень кожної нечіткої множини у вигляді функції належності, що у загальному випадку представляє собою відображення:

$$\mu_{\bar{A}}(x) \rightarrow [0,1], \text{ де } x \in X. \quad (3.5)$$

Для побудови функцій належності лінгвістичних змінних обрано метод [56], в основу якого закладено ідею розподілу ступеня належності елементів універсальної множини згідно з їх рангами. За цією методикою було розраховано усі функції належності для лінгвістичних змінних.

На основі побудованих функцій належності для одержання результуючих значень стану температурних умов навколишнього середовища та режиму теплозабезпечення проводиться операція нечіткого логічного висновку. Механізм логічного висновку включає чотири етапи: введення нечіткості (фазифікація), нечіткий логічний висновок, композиція і приведення до чіткості, або дефазифікація [57], рис. 3.20.

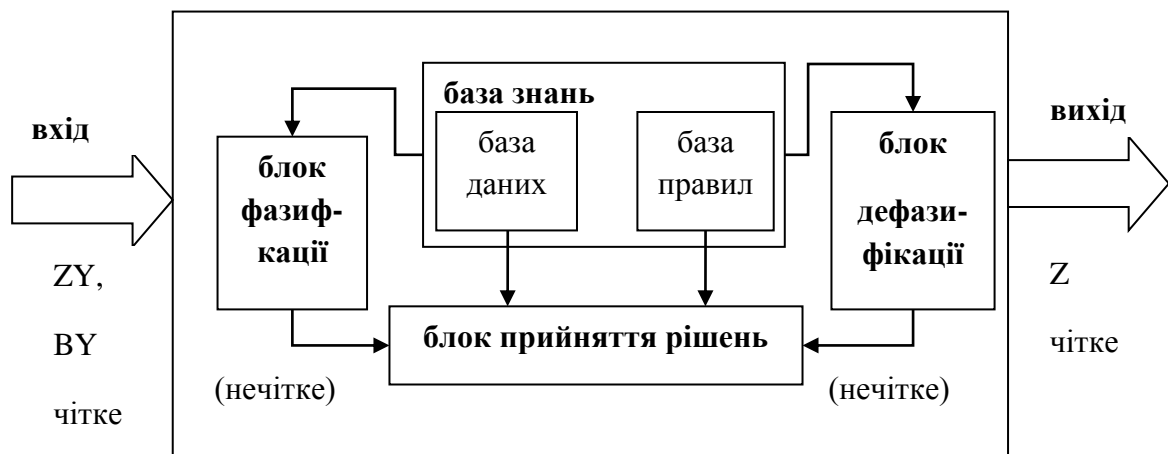


Рисунок 3.20 – Схему нечіткого логічного висновку

Основою для проведення операції нечіткого логічного висновку є база правил, що містить нечіткі логічні висловлювання у формі «Якщо-то» і функції приналежності для відповідних лінгвістичних термів (тобто, нечітких множин, які визначають лінгвістичну змінну).

На основі знань експертів було побудовано бази знань для визначення стану температурних умов навколишнього середовища (табл.3) та режиму теплозабезпечення будівель (табл.3.8) за правилами «Якщо-то».



Таблиця 3.8 – База знань для визначення стану температурних умов

№ правила	вхідні змінні	вихідні змінні
	Xw	Zw
1	Xw1	Zw1
2	Xw2	Zw2
3	Xw3	Zw3
4	Xw4	Zw4

Таблиця 3.9 – База знань для визначення режиму теплозабезпечення

№ правила	вхідні змінні	вихідні змінні
	терми	Rc
вхідна змінна ZY1		
1	ZYC1	ZYC
2	ZYM1	ZYM
3	ZYO1	ZYO
4	ZYH1	ZYH
вхідна змінна ZY2		
1	ZYC2	ZYC
2	ZYM2	ZYM
3	ZYO2	ZYO
4	ZYH2	ZYH
вхідна змінна ZY3		
1	ZYC3	ZYC
2	ZYM3	ZYM
3	ZYO3	ZYO
4	ZYH3	ZYH
вхідна змінна ZY4		
1	ZYC4	ZYC
2	ZYM4	ZYM
3	ZYO4	ZYO
4	ZYH4	ZYH

Результатом вирішення задачі визначення стану температурних умов навколишнього середовища є встановлення приналежності температури

повітря навколишнього середовища до одного із станів – «дуже холодно», «холодно», «помірно», «тепло».

Нижче в таблиці 3.9 наведена база знань побудована для визначення режиму теплозабезпечення.

Результатом вирішення задачі визначення режиму теплозабезпечення є встановлення відповідності спожитої кількості теплової енергії закладом соціально-бюджетної сфери одному із режимів – «недостатній», «допустимий», «оптимальний», «надлишковий».

Побудовані моделі реалізовано в Matlab. Функції приналежності в редакторі Matlab для визначення стану температурних умов навколишнього середовища та режиму теплозабезпечення показані на рисунках 3.21-3.22 відповідно.

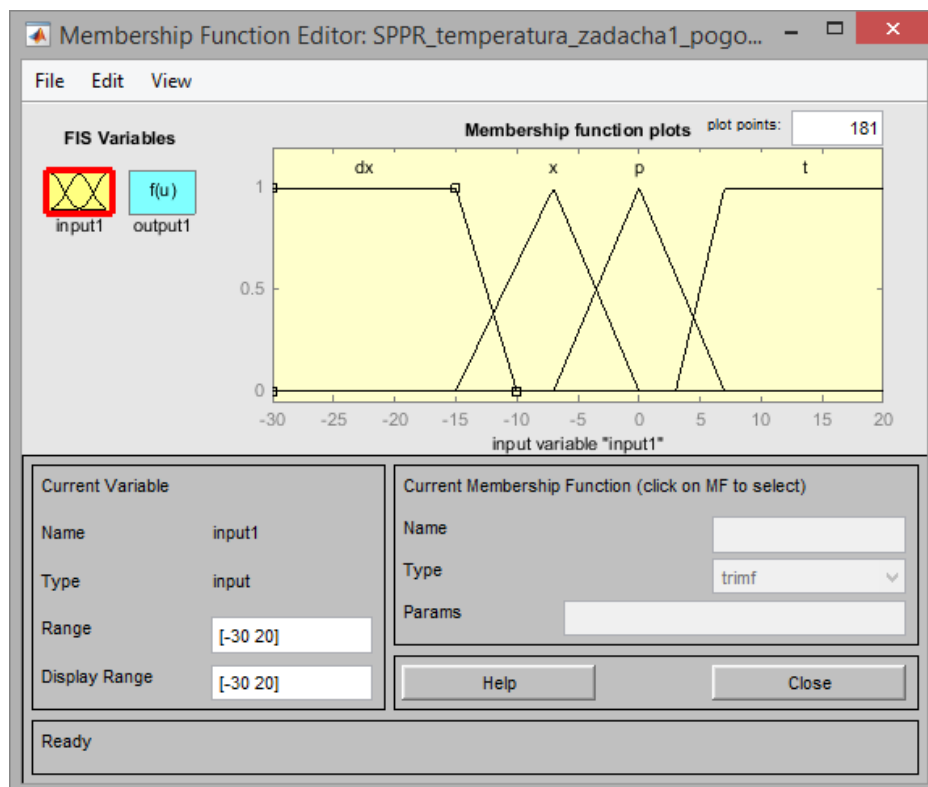


Рисунок 3.21 – Загальний вигляд редактора функцій приналежності для визначення стану температурних умов навколишнього середовища

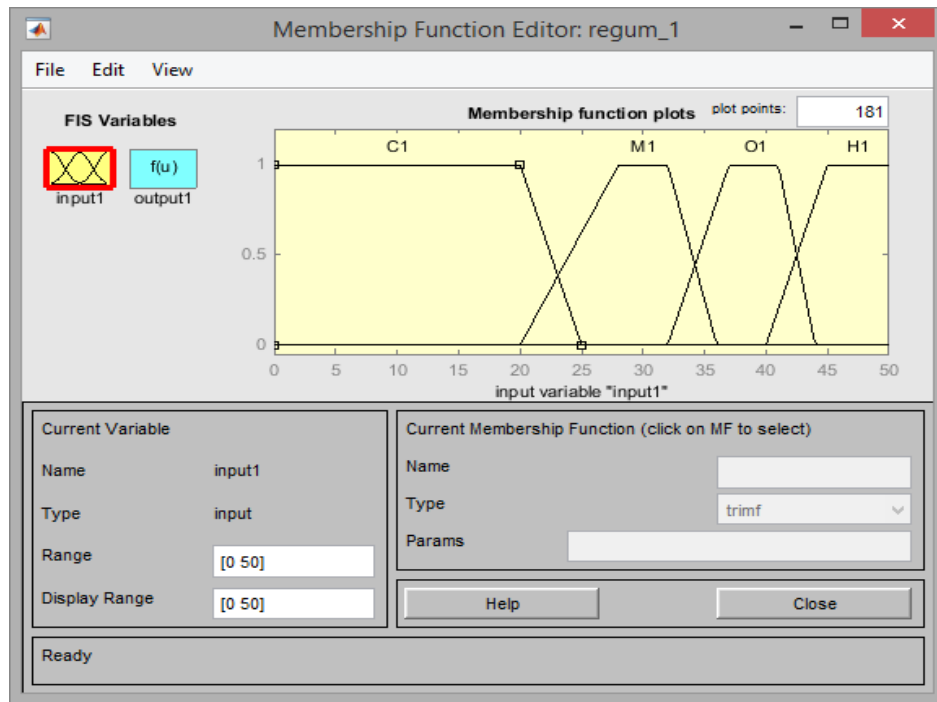


Рисунок 3.22 – Загальний вигляд редактора функцій приналежності для визначення режиму теплозабезпечення

Розроблений скрипт Matlab запускається планувальником за встановленим розкладом. Основні етапи визначення режиму теплозабезпечення показані на рис. 6 у вигляді діаграми послідовності.

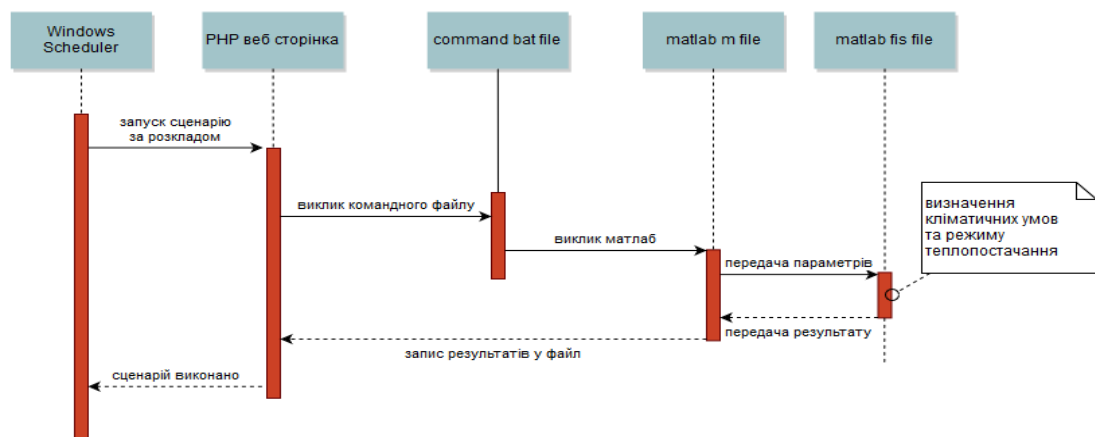


Рисунок 3.23 – Діаграма послідовності для визначення режиму теплозабезпечення

Визначення режиму теплозабезпечення виконується за таким алгоритмом:

- Планувальник подій Windows викликає веб форму;
- PHP на основі вхідних даних з БД та веб форми записує дані в файл та викликає командний bat file, очікує завершення розрахунку;
- bat file викликає старт додатку MATLAB з необхідні параметрами та виконання скрипту m file;
- m file в своїй роботі зчитує дані з файлів, звертається до fis file, з описом нечіткої системи, з необхідними параметрами;
- fis file виконує розрахунок результуючого параметру та передає його в m file;
- m file записує результат до текстового файлу;
- PHP зчитує результат з файлу, виводить результат користувачу та робить запис в БД.

Результат нечіткого логічного висновку щодо визначення режиму теплозабезпечення використовується особою, що приймає рішення, щодо необхідності регулювання встановленого режиму теплозабезпечення.

### **3.5 Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням**

Розроблені моделі прогнозування та підтримки прийняття рішень було поєднано в створеній інформаційній технології підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери, функціональну модель якої зображено на рис. 3.23 [58].

Інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери складається з шести взаємопов'язаних етапів [59].

Етап 1 Проведення моніторингу. На цьому етапі виконуються збирання даних, використовуваних при управлінні теплозабезпеченням, їх перевірка на коректність та збереження у базі даних. Множини даних моніторингу

складаються із погодинних даних, що збираються в оперативному режимі, та даних щодобових показників моніторингу, які обчислюються на основі зібраних в оперативному режимі даних.

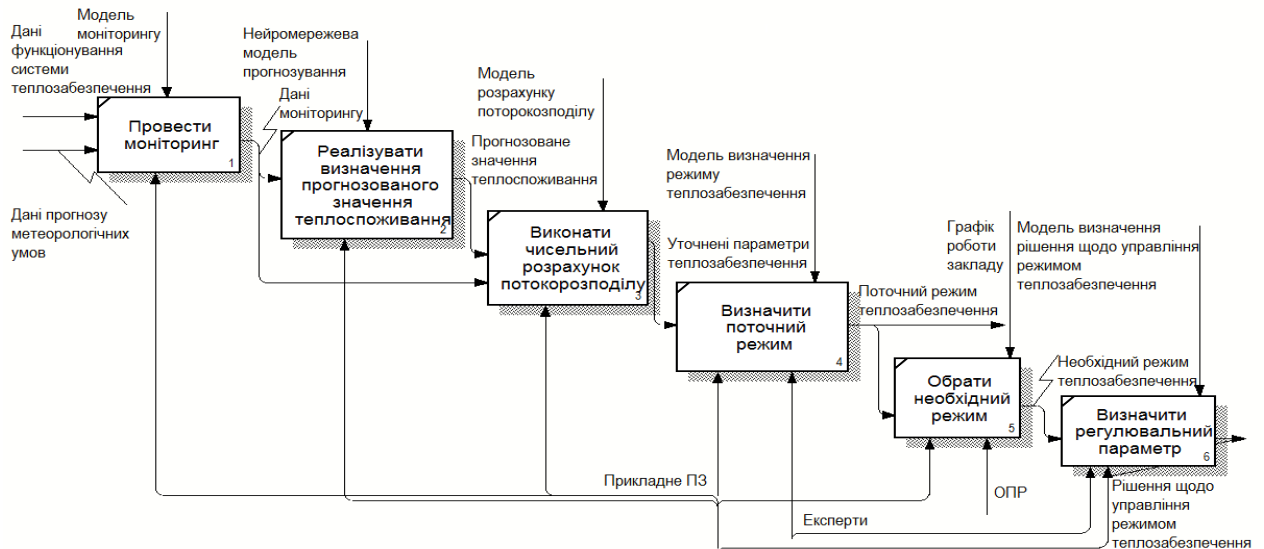


Рисунок 3.23 – Функціональна модель інформаційної технології підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери

У результаті проведення моніторингу у базу даних заносяться записи про параметри функціонування теплозабезпечення об'єкта соціально-бюджетної сфери за певних метеорологічних умов навколишнього середовища та графіка роботи закладу, а також дані прогнозу метеорологічних умов навколишнього середовища.

Етап 2. Визначення прогнозованого значення теплоспоживання. Прогнозування потреби будівлі закладу соціально-бюджетної сфери у тепловій енергії здійснюється з використанням попередньо навченої нейронної мережі. Для навчання нейронної мережі використовуються архівні дані моніторингу. Модель прогнозування встановлює залежність між потребою будівлі у тепловій енергії та факторами впливу на дану потребу, такими як метеорологічні умови навколишнього середовища та графік

роботи закладу соціально-бюджетної сфери. В результаті виконання етапу 2 визначаємо прогнозовану кількість теплової енергії, що дозволить забезпечити необхідні умови в опалюваних приміщеннях за певних значень факторів впливу на процес теплозабезпечення.

Етап 3. Чисельний розрахунок параметрів потокозподілу. Цей етап є обов'язковим у разі, якщо необхідно проводити уточнення одержаних показників моніторингу та визначеного прогнозованого значення теплоспоживання для врахування втрат теплової енергії теплоносія під час його транспортування.

Етап 4. Визначення поточного режиму теплозабезпечення. На цьому етапі на основі побудованої моделі нечіткого логічного виведення рішення здійснюється встановлення належності теплоспоживання об'єкта соціально-бюджетної сфери при певному стані погодних умов одному з можливих режимів.

Виконується порівняння визначеного режиму із запланованим значенням, на підставі якого можна оцінювати ефективність рішень щодо управління режимами теплозабезпечення.

Етап 5. Вибір необхідного режиму. ОПР здійснює вибір режиму теплозабезпечення, який необхідно встановити на наступну добу, та запускає на виконання модель визначення регульовального параметра, після чого виконується етап 6.

Етап 6. Визначення регульовального параметра. ОПР одержує дані про відповідність поточного режиму теплозабезпечення одному з можливих значень та рекомендації щодо управління теплозабезпеченням об'єкта соціально-бюджетної сфери для встановлення необхідного режиму, на основі яких дає вказівки щодо регулювання функціонування системи теплозабезпечення на стороні споживача.

Розроблена інформаційна технологія дозволяє проводити збирання, обробку та зберігання даних, необхідних для управління теплозабезпеченням, внаслідок чого приймаються обґрунтовані рішення

щодо регулювання теплозабезпечення об'єктів соціально-бюджетної сфери, що дозволяє забезпечити необхідний режим теплозабезпечення.

### 3.6 Система підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням

Для підтримки прийняття рішень щодо управління теплозабезпеченням на стороні споживача було розроблено СППР «HeatCAM», узагальнену архітектуру якої зображено на рис. 3.24 [60].

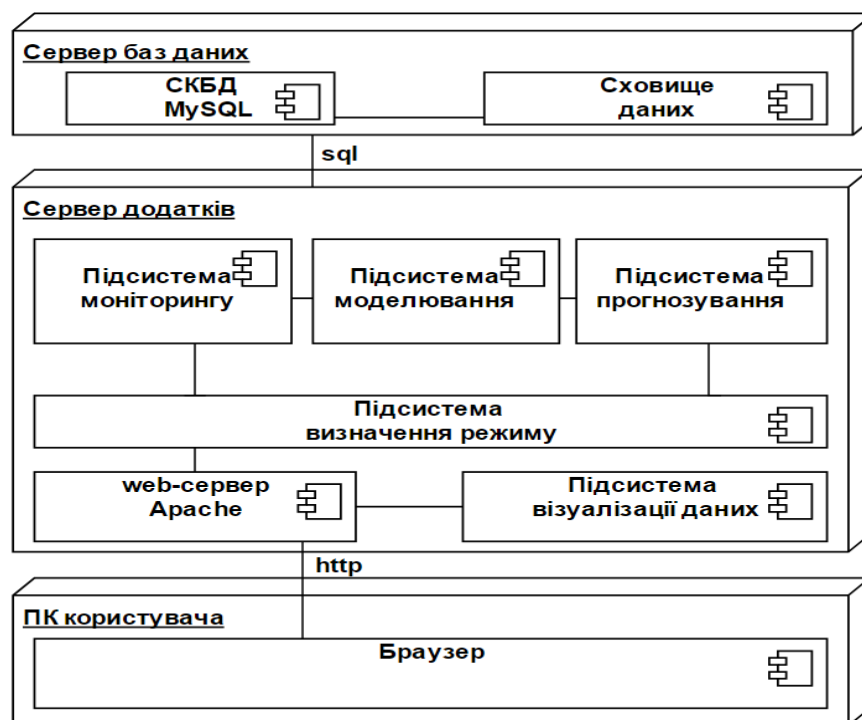


Рисунок 3.24 – Загальна архітектура СППР «HeatCAM»

СППР «HeatCAM» є web-системою з тривірневою архітектурою. Вона включає в себе засоби збереження даних та маніпулювання даними, web-сервер, браузер клієнта, а також сукупність програмних модулів, що реалізують обробку даних.

Програмні модулі СППР «HeatCAM» об'єднані у підсистеми, функціональні можливості яких наведено в табл. 3.10.

Таблиця 3.10 – Підсистеми СППР «HeatCAM»

Підсистема	Короткий опис	Вхідні дані підсистеми	Вихідні дані підсистеми
Моніторингу	Збирання даних із лічильників теплової енергії, датчиків та сайту прогнозу погоди, їх перевірка та занесення до бази даних. Обчислення щодобових показників моніторингу на основі зібраних погодинних даних	Дані моніторингу, які збираються з датчиків, лічильників та сайту прогнозу погоди	Погодинні та щодобові дані моніторингу теплозабезпечення та дані прогнозу метеорологічних умов
Прогнозування	Визначення прогнозованого значення теплоспоживання	Дані прогнозу метеорологічних умов та графіку роботи закладу на завтрашній день, архівні дані теплоспоживання	Прогнозоване значення кількості теплової енергії
Моделювання	Проведення чисельного розрахунку поточного розподілу в мережі тепlopостачання для визначення втрат теплової енергії та коригування даних моніторингу та прогнозування з урахуванням втрат	Дані моніторингу та прогнозу теплоспоживання	Уточнені дані моніторингу та прогнозу теплоспоживання
Визначення режиму	Визначення поточного режиму тепло забезпечення та надання рекомендацій щодо управління режимом теплозабезпечення	Дані температури повітря навколишнього середовища, кількості теплової енергії, спожитої за поточну добу, прогнозована кількість теплової енергії,	Поточний режим теплозабезпечення та значення параметру для управління режимом теплозабезпечення
Візуалізації	Реалізує відображення даних у web-інтерфейсі СППР	дані із бази даних, які запитує користувач	Таблиці та графіки на web-сторінці

Основні функції користувачів СППР «HeatCAM» представлено на рис. 3.24 у вигляді UML діаграми варіантів використання.

Адміністратор має повні права управління web-ресурсом. Він здійснює розподіл прав доступу до web-системи між користувачами, має право на внесення та редагування усіх даних моніторингу та коригування всіх вихідних даних. Також адміністратор є відповідальним за інформаційне наповнення сторінок web-сайту, адміністрування бази даних та створення її резервних копій.



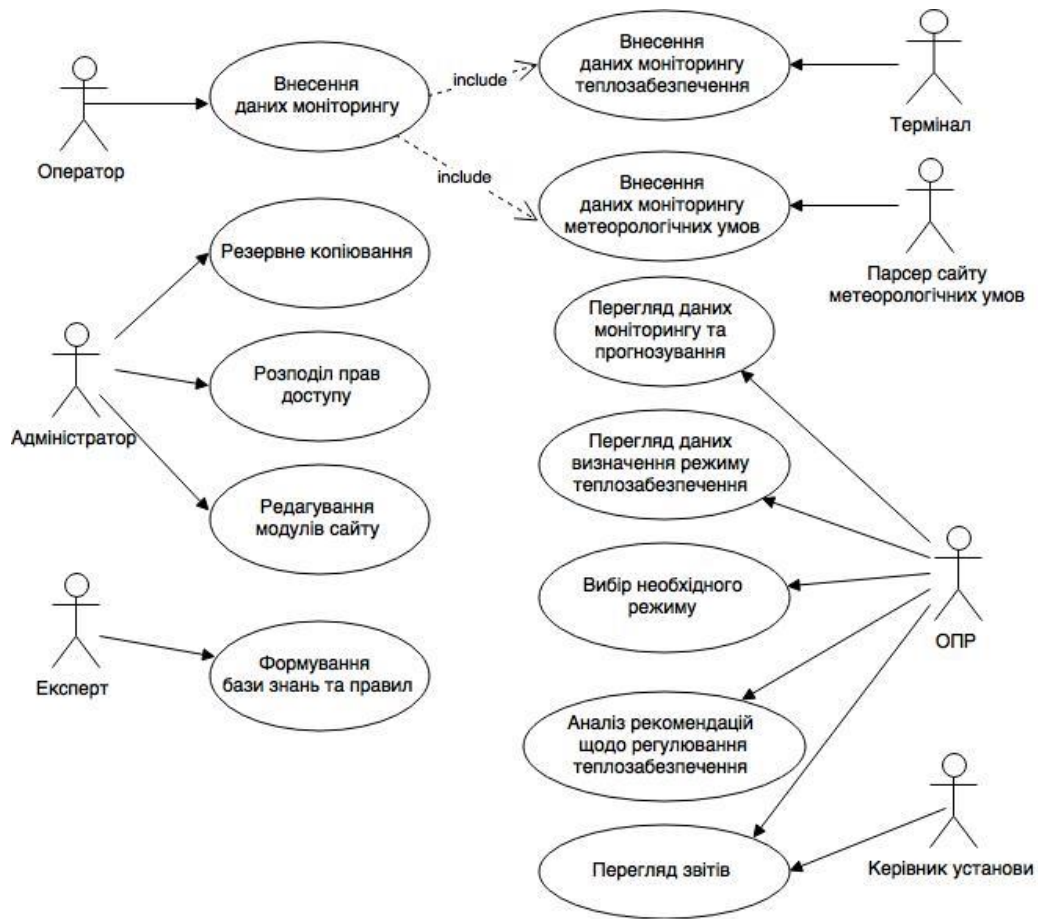


Рисунок 3.24 – Діаграма варіантів використання СППР «HeatSAM»

Оператор є відповідальним за збір даних зі встановлених датчиків, з лічильників споживання теплової енергії та інформаційних ресурсів про погодні умови, а також занесення зібраних даних до єдиної бази даних. В СППР «HeatSAM» роль оператора виконують програмні модулі підсистеми моніторингу, таким чином моніторинг здійснюється автоматизовано в режимі реального часу. Збирання даних моніторингу теплозабезпечення здійснюється спеціалізованим терміналом [61]. Збирання даних моніторингу метеорологічних умов навколишнього середовища здійснюється за допомогою спеціалізованого програмного забезпечення – парсера, який забезпечує витяг даних із web-сайту прогнозу погоди.

У ролі особи, що приймає рішення, як правило виступає фахівець, відповідальний за енергоаудит та енергозбереження. Він виконує аналіз

фактичного рівня тепло споживання та інших показників функціонування системи теплозабезпечення, порівняльний аналіз фактичного та прогнозованого теплоспоживання.

Експерт з енергозбереження формує базу знань та правил, за допомогою яких здійснюється визначення поточного режиму теплозабезпечення та надаються рекомендації щодо встановлення необхідного режиму.

Особа, що приймає рішення, відслідковує поточний встановлений режим теплозабезпечення та на основі рекомендацій, наданих СППР, приймає рішення щодо коригування режиму теплозабезпечення.

Керівник закладу соціально-бюджетної сфери має можливість перегляду звітів про стан та обсяги споживання теплової енергії закладом соціально-бюджетної сфери, заплановані та фактичні обсяги теплопоживання, стан оплати за спожиту теплову енергію.

Компоненти СППР «HeatCAM» можна представити у вигляді сукупності множин [62]:

$$DS = (H_c, H_m, S_c, C_{ch}, C_s, D_s), \quad (3.6)$$

де  $H_c$  – множина апаратного забезпечення,

$H_m$  – множина приладів обліку, з яких знімаються показники,

$S_c$  – множина програмного забезпечення,

$C_{ch}$  – множина каналів зв'язку,

$C_s$  – множина сигналів зв'язку,

$D_s$  – множина даних, на основі яких приймаються рішення.

Процес роботи СППР «HeatCAM» може бути представлений у вигляді відображення:

$$\text{Proc} \rightarrow O \times H_c \times H_m \times S_c \times C_{ch} \times C_s \times D_s \times Z, \quad (3.7)$$

де  $O$  – множина осіб, що приймають рішення;

$Z$  - множина завдань які має виконувати СППР «HeatCAM», яка представлена у вигляді:

$$Z = Z_m \cup Z_s \cup Z_p \cup Z_f \quad (3.8)$$

де  $Z_m$  – множина завдань моніторингу,

$Z_s$  – множина завдань моделювання теплової мережі,

$Z_p$  – множина завдань прогнозування теплоспоживання,

$Z_f$  – множина завдань формування рішень.

Розв'язання СППР «HeatCAM» перелічених вище завдань забезпечує аналіз поточного стану теплозабезпечення закладу соціально-бюджетної сфери та підтримку прийняття рішень щодо його регулювання.

СППР «HeatCAM» є системою з авторизованим доступом, що реалізовано через web-інтерфейс з будь-якого комп'ютеризованого робочого місця, що має вихід у мережу Інтернет.

Обробка запитів користувача, які передаються по протоколу http, здійснюється web-сервером Apache.

Дані, обробка яких здійснюється підсистемами СППР «HeatCAM», зберігаються в базі даних під управлінням СКБД MySQL.

Інтерфейс головної сторінки СППР «HeatCAM» зображено на рис. 3.25.

Після авторизації відкривається сторінка системи з меню (рис. 3.26), за допомогою якого здійснюється перехід до сторінок системи з даними моніторингу, прогнозування, а також визначення режиму теплозабезпечення.

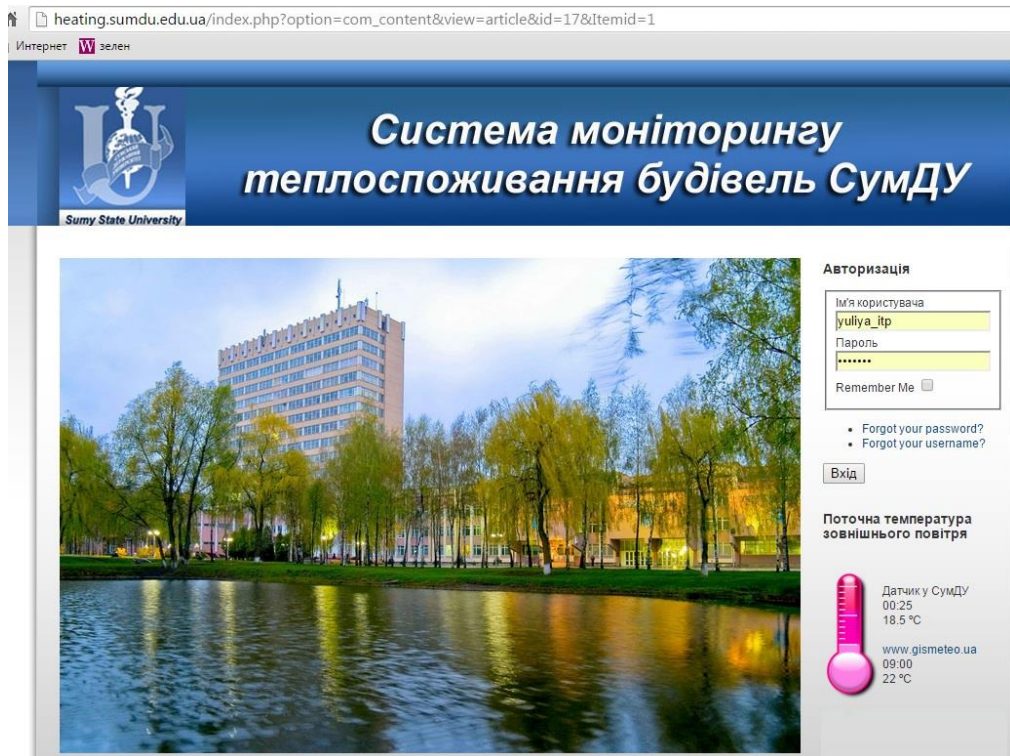


Рисунок 3.25 – Головна сторінка СППР «HeatSAM»

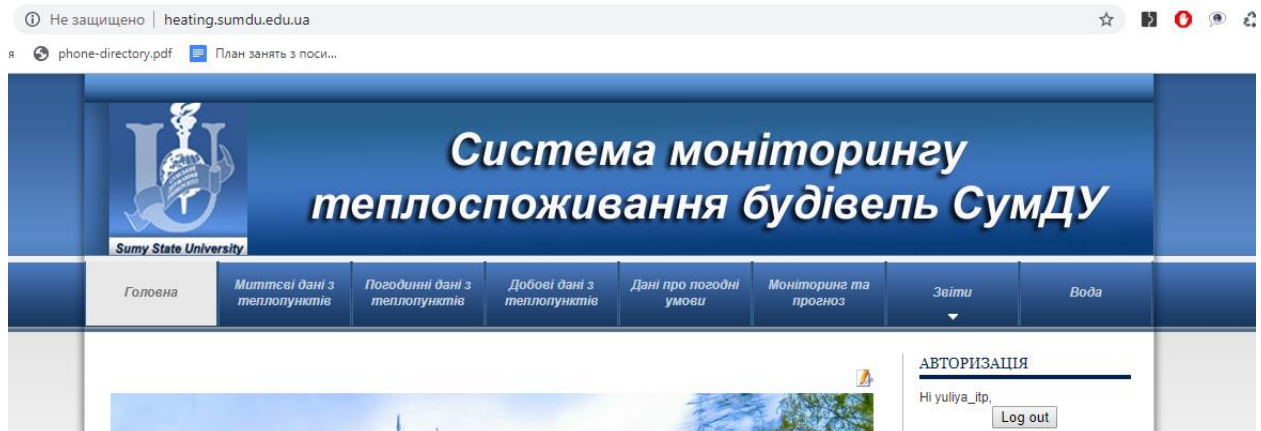


Рисунок 3.26 – Меню СППР «HeatSAM»

Дані моніторингу відображаються на web-сторінці у вигляді таблиць та графіків.

На рисунках 3.27-3.28 зображено приклад відображення погодинних та середньодобових даних моніторингу на web-сторінці у вигляді таблиці.

Дата:  Корпус:

Час	A	q	V <sub>1</sub>	v <sub>1</sub>	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>	T <sub>відкл</sub>	t <sub>вн</sub>
00:02	5624.587658	1.288	293058.4	52.849	57.19	32.53		5.9	5.1	372.987	1.6
01:02	5625.67715	0.971	293110.1	51.642	57.05	38.05		5.8	5.1	372.987	1.2
02:02	5626.627546	0.918	293163.9	54.237	57.14	40.00		5.8	5.1	372.987	0.9
03:02	5627.511709	0.903	293217.5	55.253	57.31	40.73		5.9	5.1	372.987	0.8
04:02	5628.38645	0.877	293271.2	53.966	57.57	41.08		5.8	5.1	372.987	0.6
05:02	5629.265226	0.849	293325.2	52.435	57.77	41.34		5.8	5.1	372.987	-0.1
06:02	5630.121692	0.853	293377.8	52.403	57.92	41.42		5.9	5.1	372.987	-0.6
07:02	5630.931315	0.767	293427.3	46.907	57.70	41.18		5.9	5.2	372.987	-0.9
08:02	5631.705939	0.785	293473.5	46.047	58.01	40.74		5.8	5.2	372.987	-0.9
09:02	5632.500083	0.791	293519.9	46.355	57.95	40.56		5.8	5.1	372.987	-0.8
10:02	5633.268494	0.797	293565.0	46.663	57.85	40.49		5.9	5.1	372.987	0.2

Рисунок 3.27 – Погодинні дані моніторингу теплозабезпечення

Дата з:  Дата до:  Корпус:

Дата	A	Q	q	v	t <sub>1</sub>	t <sub>2</sub>	t <sub>3</sub>	P <sub>1</sub>	P <sub>2</sub>
2019-12-01	5562.40277	14.904	0.612	32.416	54.71	36.40		6.0	5.0
2019-12-02	5575.84344	13.441	0.555	28.226	54.51	35.75		6.0	4.9
2019-12-03	5591.57549	15.732	0.651	34.12	55.06	36.58		6.0	5.0
2019-12-04	5607.96809	16.393	0.681	37.675	55.66	38.02		6.0	5.1
2019-12-05	5624.37882	16.411	0.688	39.337	55.08	38.17		5.9	5.1

Рисунок 3.28 – Середньодобові дані моніторингу теплозабезпечення

На рис. 3.29 та рис. 3.30 зображено приклад відображення даних моніторингу у вигляді графіків.

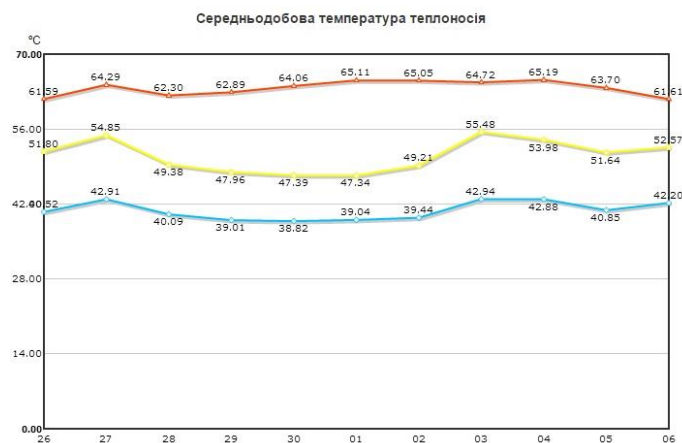


Рисунок 3.29 – Графік зміни температури теплоносія впродовж доби



Рисунок 3.30 – Графік зміни середньодобової витрати теплоносія

Прогнозована середньодобова кількість теплової енергії, яку споживає будівля при забезпеченні належних умов в опалюваному приміщенні, відображається у вигляді таблиці (рис. 3.31). Для визначення прогнозованого значення використовується побудована модель нейромережевого прогнозування. Система виконує порівняння прогнозованої та фактично спожитої кількості теплової енергії будівлею, яке наочно відображається на графіку (рис. 3.32).

Дата	Температура (°C)	Шв. вітру (м/с)	Тиск (мм. рт. ст.)	Вологість (%)	День тижня	Кількість тепла (Гкал)	Кількість тепла (Прогноз)(Гкал)
2014-01-20	-17	2	755	83	Робочий	32.70	30.85
2014-01-19	-13	3	749	83	Переддень (післядень) вихідного	27.13	26.59
2014-01-18	-6	4	746	88	Вихідний	24.72	26.56
2014-01-17	-6	5	744	82	Вихідний	24.37	24.76
2014-01-16	1	5	746	89	Робочий	23.78	24.48

Рисунок 3.31 – Дані прогнозу середньодобової витрати теплоносія



Рисунок 3.32 – Графік порівняння фактичного значення теплоспоживання з прогнозованим

Окрім моніторингу та прогнозування система дозволяє встановити відповідність між спожитою кількістю теплової енергії та режимом теплозабезпечення. Приклад результату визначення режиму теплозабезпечення зображено на рис. 3.33. Для визначення режиму теплозабезпечення використовується розроблена модель нечіткого логічного висновку.

№	Дата	Q фактичне, Гкал	Погодні умови	Режим теплопостачання	Відповідність плану
7	2013-11-27				
6	2013-11-26	18	помірно	оптимально	+
5	2013-11-23	20	помірно	оптимально	+
4	2013-11-22	20	помірно	оптимально	+
3	2013-11-21	20	помірно	оптимально	+
2	2013-11-20	21	помірно	оптимально	+
1	2013-11-19	19	помірно	оптимально	+

Рисунок 3.33 – Визначення поточного режиму теплозабезпечення



Таким чином застосування СППР «HeatCAM» забезпечує оперативне відслідковування поточного стану теплозабезпечення, а також інформаційну підтримку прийняття рішень щодо управління теплозабезпеченням закладів соціально-бюджетної сфери.

### **3.7 Інформаційна технологія планування енергозабезпечення будівель з відновлювальними джерелами енергії**

Інформаційна технологія представляє собою технологічний процес, предметом перероблення й результатом якого є інформація [63]. Інформаційна технологія процесу планування енергозабезпечення будівель з відновлювальними джерелами енергії поєднує в собі моделі та алгоритмічне забезпечення наступних процесів: збору та обробки інформації, синтезу можливих альтернативних структур гібридної енергосистеми, розрахунку їх техніко-економічних параметрів, визначення оціночних критеріїв, та формування рішень про вибір оптимальної конфігурації ГЕСВДЕ.

Запропонована інформаційна технологія буде поєднанням існуючих моделей, методів, технологій та програмних реалізацій. Інформаційна технологія планування енергозабезпечення будівель з використанням ВДЕ має бути реалізована у відповідній інформаційній системі.

Основними діями, які повинна забезпечувати інформаційна система, є - збір, передача і зберігання інформації, аналіз даних, моделювання процесів, прогнозування параметрів, оптимізація споживання, надання рекомендацій для прийняття рішень, відображення характеристик поточного стану, аналізу і прогнозу в зручній та зрозумілій формі для користувача.

Було вирішено проводити планування структури енергетичної системи на основі її моделювання у середовищі Matlab з використанням даних про поточні технічні характеристик обладнання та погодні дані у місцевості, яку отримують з сайту прогнозу погоди. Оптимізацію рішення щодо вибору структури ГЕСВДЕ проводити на основі багатокритеріальної моделі у середовищі Matlab. Всю вихідну інформацію виводити для перегляду на сайті



для інтерактивності та зручного перегляду інформації у зрозумілому вигляді. Накопичені та оброблені дані зберігати в БД.

Контекстна діаграма процесу планування енергозабезпечення будівель з використанням відновлювальних джерел енергії представлена в нотації IDEF0 на рис. 3.34.

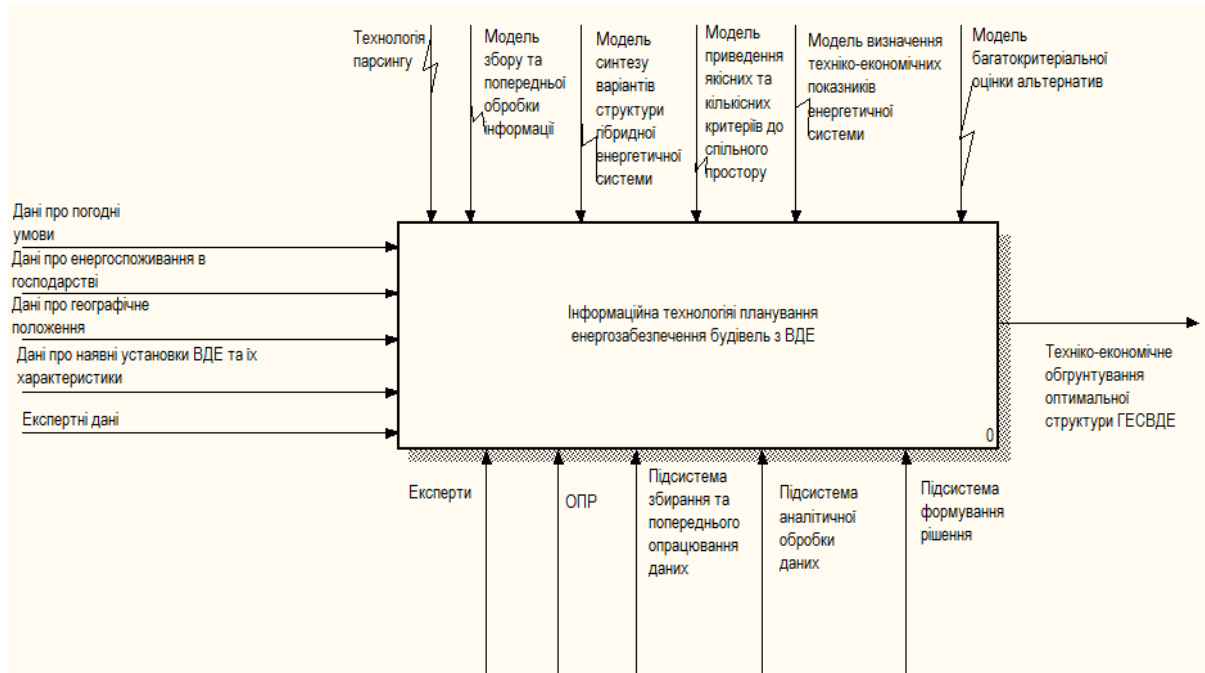


Рисунок 3.34 – Контекстна діаграма інформаційної технології планування енергозабезпечення будівель з відновлювальними джерелами енергії

Інформаційна технологія планування енергозабезпечення будівель з ВДЕ складається із п'яти взаємозв'язаних етапів. Функціональна модель запропонованої інформаційної технології у нотації IDEF0 представлена на рис. 3.35.

Етап 1. Проведення збору та обробки інформації. На цьому етапі виконуються збирання даних, використовуваних при плануванні структури ГЕСВДЕ, їх перевірка на коректність та збереження у базі даних. Множини даних складаються із даних про погодні умови в місцевості, споживання електроенергії в господарстві, наявні на ринку установки ВДЕ, дані про

географічне положення, експертна інформація. Знання експертів використовуються для формування бази знань.

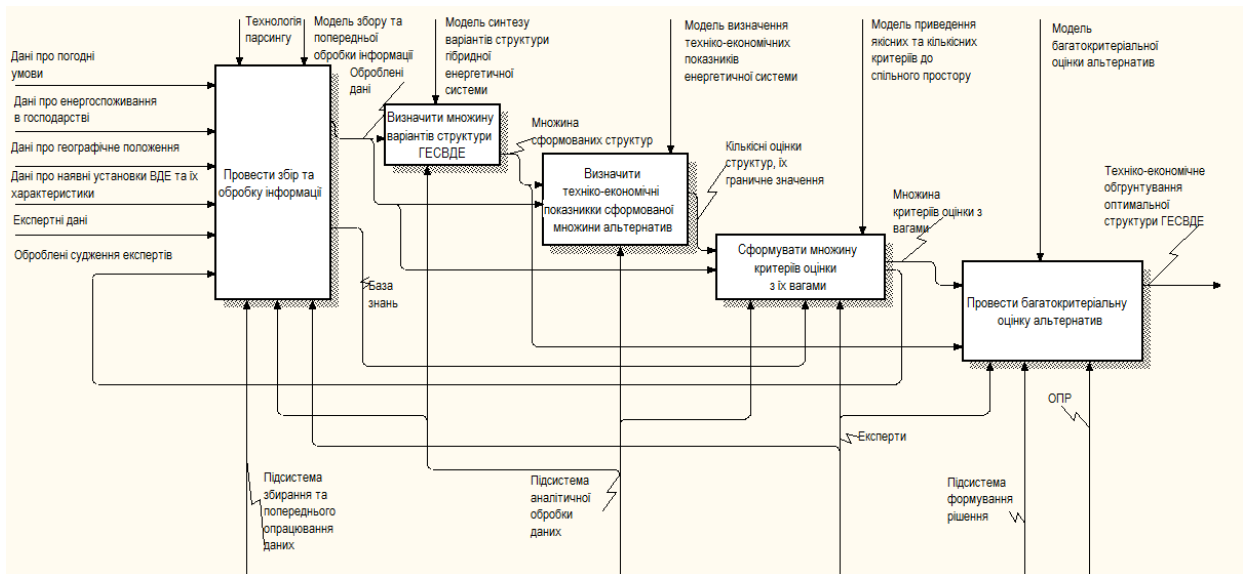


Рисунок 3.35 – Функціональна модель інформаційної технології планування енергозабезпечення будівель з використанням ВДЕ

Етап 2. Формування множини варіантів структури енергетичної системи. На основі отриманих на етапі 1 даних проводиться розрахунок усіх можливих комбінацій енергетичної системи згідно відповідної моделі, зазначеної у розділі 1.8.

Етап 3. Визначення техніко-економічних параметрів сформованої множини структур. Розрахунок енергетичних та економічних показників для кожної конфігурації здійснюється згідно відповідних моделей наведених у попередньому розділі. На виході отримані дані інтерпретуються у кількісні критерії із зазначенням граничних умов.

Етап 4. Формування множини критеріїв оцінки з їх вагами. На цьому етапі для кожної альтернативної структури згідно бази знань, сформованої експертами, розраховуються значення якісних критеріїв, кількісні критерії приводяться до одного простору з якісними, визначають ваги критеріїв.

Етап 5. Багатокритеріальна оцінка альтернатив. На цьому етапі на основі побудованої відповідної моделі проводиться оцінка альтернатив згідно трьох оптимізаційних сценаріїв. Також визначається оптимальна конфігурація та формується техніко-економічне обґрунтування щодо вибору оптимальної структури енергосистеми.

Таким чином, ОПР одержує рекомендації щодо оптимальної структури мережі.

Таблиця 3.11 – Етапи інформаційної технології підтримки прийняття рішень при плануванні структури ГЕСВДЕ

	Збір даних	Зберігання даних	Оброблення даних	Передача даних
Моделі	Модель збору попередньої обробки інформації	Стандартні технології баз даних	Модель синтезу варіантів структури гібридної енергетичної системи з ВДЕ шляхом використання методів структурного синтезу. Модель визначення техніко-економічних показників енергосистеми. Модель приведення множини якісних та кількісних критеріїв до єдиного простору. Модель багатокритеріальної оцінки альтернатив.	Стандартні технології передачі даних
Етапи інформаційної технології	Етап 1	Етапи 1-5	Етапи 1-5	Етапи 1-5

Розроблена інформаційна технологія дозволяє проводити збирання, оброблення та зберігання даних, необхідних для планування структури ГЕСВДЕ, внаслідок чого приймаються обґрунтовані рішення щодо техніко-економічного обґрунтування оптимальної конфігурації системи.

У таблиці 3.11 наведено основні етапи прикладної інформаційної технології підтримки прийняття рішень при плануванні структури ГЕСВДЕ у відповідності до розроблених моделей.

Етапи розробленої інформаційної технології передбачають реалізацію функцій збирання, зберігання, оброблення, передавання, відображення та використання інформації, що відповідає етапам інформаційної технології згідно стандарту.

### 3.8 Система підтримки вибору компонентів гібридної енергетичної системи з відновлювальними джерелами енергії

Інформаційна система підтримки вибору компонентів гібридної енергетичної системи з відновлюваними (ГЕСВДЕ) побудована як web-додаток на основі трирівневої архітектури.

Архітектура інформаційної системи складається з рівня користувача, серверу додатку, де розміщено всі підсистеми та серверу бази даних (рис. 3.36).

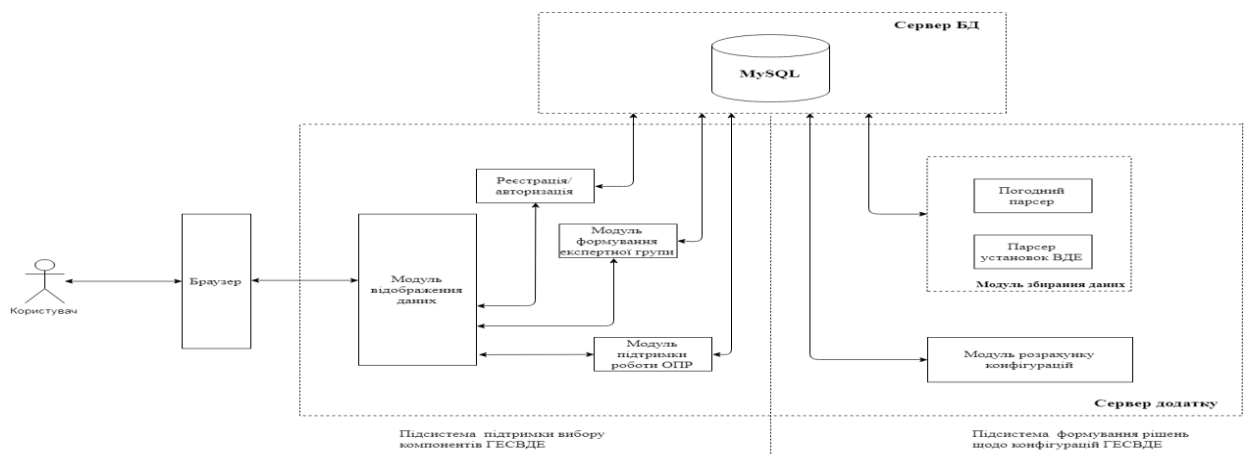


Рисунок 3.36 – Архітектура інформаційної системи підтримки вибору компонентів ГЕСВДЕ

Інформаційна система складається з двох підсистем – підтримки вибору компонентів та формування рішень щодо конфігурації гібридної енергетичної системи.

Діаграма варіантів використання інформаційної системи підтримки вибору компонентів ГЕСВДЕ зображена на рис. 3.37.

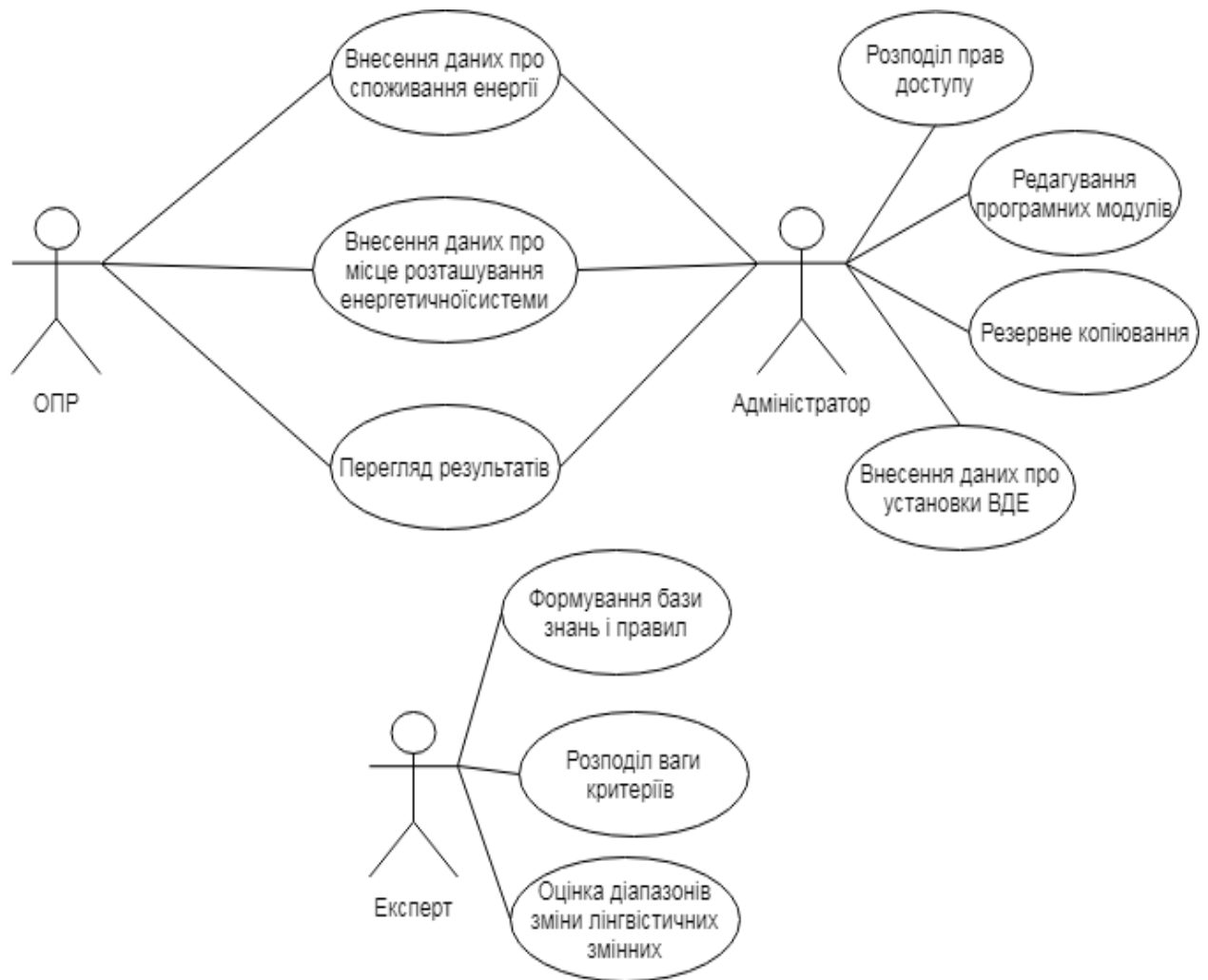


Рисунок 3.37 – Діаграма варіантів використання інформаційної системи підтримки вибору компонентів ГЕСВДЕ

В інформаційній системі існує три типи акторів: ОПР(особа, що приймає рішення) – користувач системи, якому необхідно підібрати компоненти ГЕСВДЕ; Адміністратор, який підтримує роботу системи; Експерт, що проводить оцінювання критеріїв, що впливають на підбір компонентів ГЕСВДЕ.

На рис. 3.38 представлено інтерфейс головної сторінки інформаційної системи. Вона доступна для всіх користувачів системи не залежно від реєстрації чи авторизації.

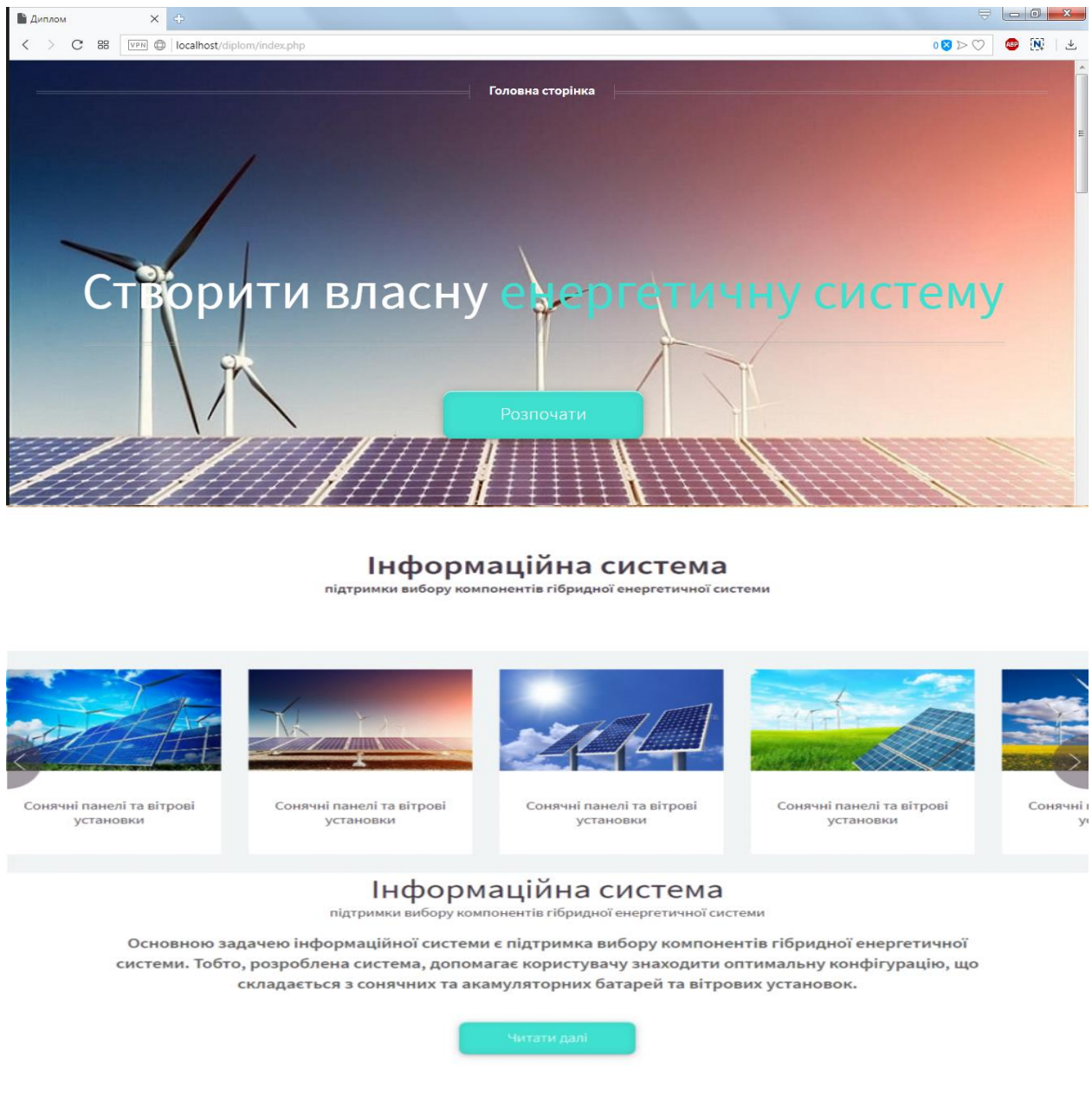


Рисунок 3.38 – Головна сторінка інформаційної системи підтримки вибору компонентів ГЕСВДЕ

Щоб продовжити роботу в системі далі, користувачу необхідно зареєструватися, заповнивши відповідну форму, а потім авторизуватися.

Інтерфейс сторінки авторизованого користувача зображено на рис 3.39. Перед тим, як вводити дані для підбору оптимальних компонентів ГЕСВДЕ, користувач може на слайдері обрати одного з найпопулярніших виробників сонячних батарей та вітрових установок та перейти на їх сайти для детального ознайомлення.

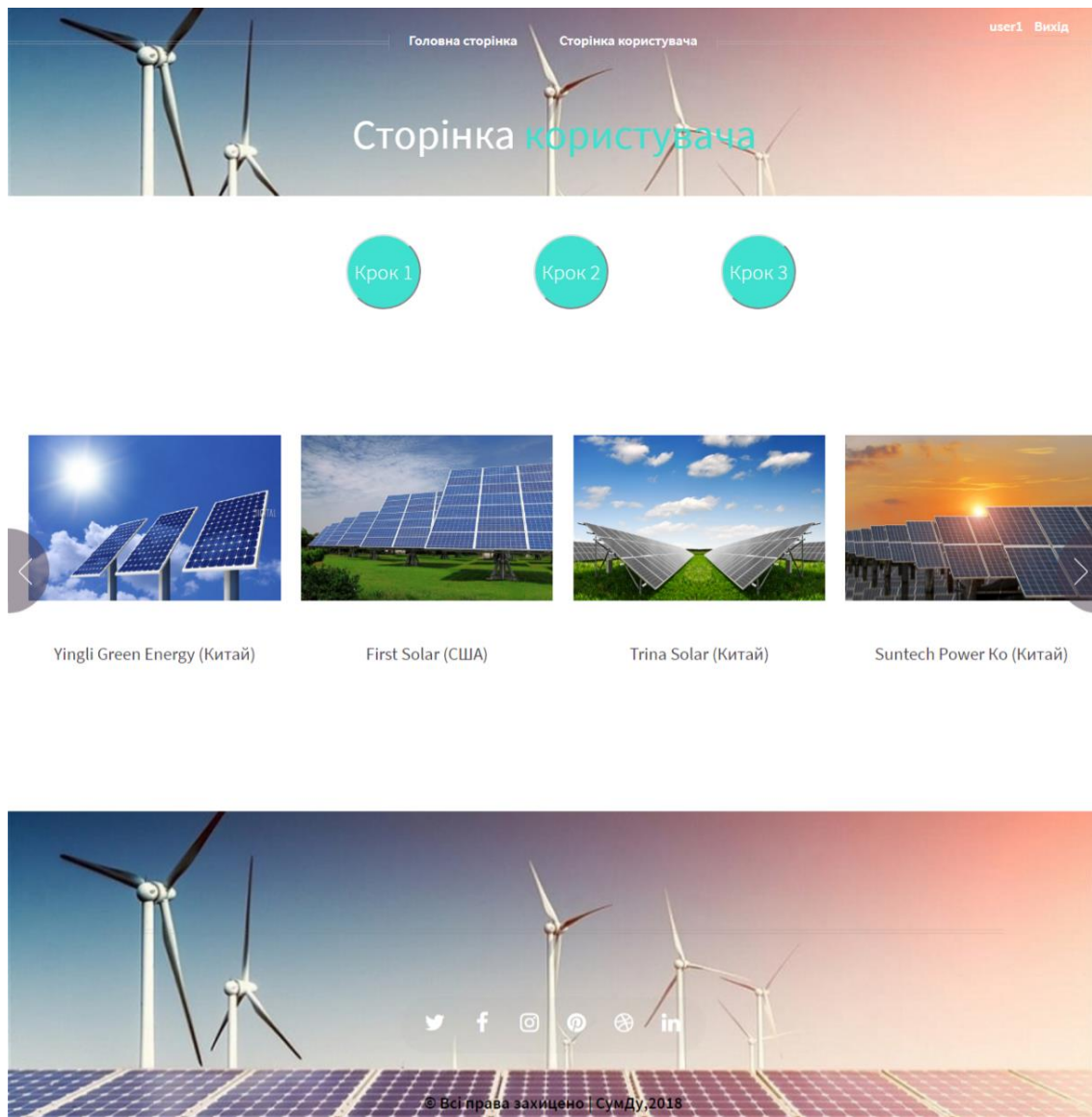


Рисунок 3.39 – Інтерфейс сторінки користувача системи підтримки вибору компонентів ГЕСВДЕ

Для того, щоб підібрати оптимальні компоненти ГЕСВДЕ, користувачу потрібно ввести дані про добове споживання електроенергії у господарстві, відстань вітрогенератора від дому та площу монтажу сонячних панелей. Зробити це можна за допомогою форми зображеної на рис. 3.40.





Крок 1      Крок 2      Крок 3

**Введіть вхідні дані для розрахунків**

Добове споживання електроенергії в господарстві, (кВт)	20
Відстань вітрогенератора від дому, (м)	33
Площа монтажу сонячних панелей, (м2)	250

[Зберегти](#)

Рисунок 3.40 – Форма введення даних користувача

Далі користувачу необхідно обрати місце на карті, де буде розташовуватися майбутня енергетична мережа (рис 3.41).

Крок 1      Крок 2      Крок 3

**Оберіть на карті місцезоташування майбутньої енергетичної системи**

[Зберегти](#)

Рисунок 3.41 – Вибір місця розташування майбутньої енергосистеми



Після введення всіх даних користувачу необхідно натиснути кнопку «Крок 3» та обрати за яким із трьох сценаріїв відбуватиметься підбір конфігурацій ГЕСВДЕ (рис. 3.42).

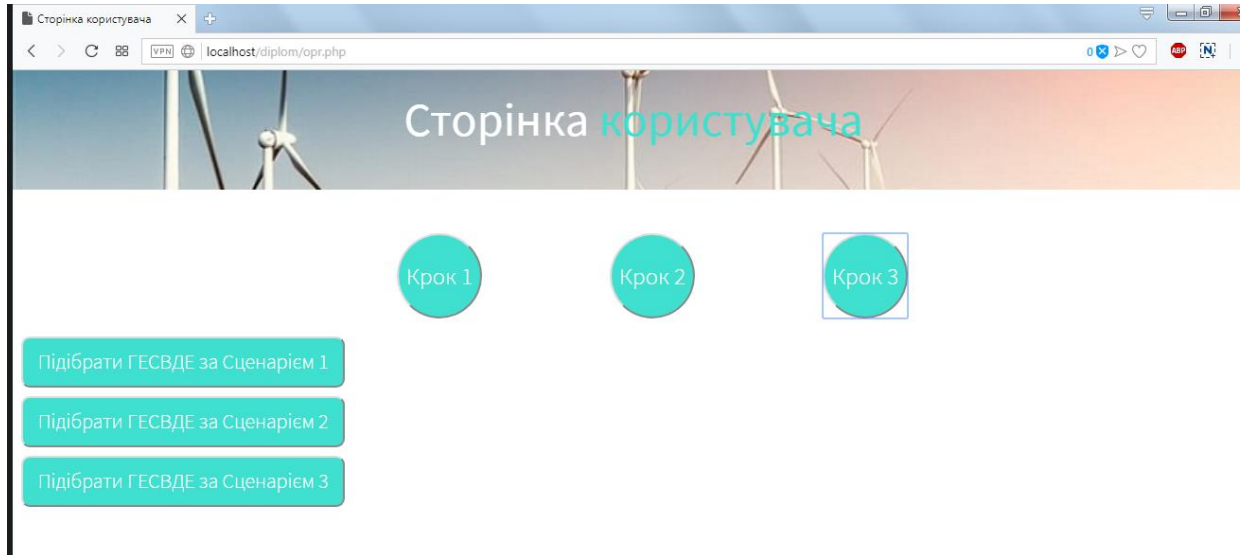


Рисунок 3.42 – Вибір сценарію для підбору конфігурацій ГЕСВДЕ

Натиснувши кнопку, наприклад, «Підібрати ГДЕСВДЕ за Сценарієм 1» відбудеться підбір компонентів ГЕСВДЕ (рис. 3.43).

ID	Сонячна панель	Кількість сонячних панелей,шт	Потужність сонячної панелі,Вт	Вітрогенератор	Кількість вітрогенераторів,шт	Потужність вітрогенератору,Вт	Акумуляторна батарея	Кількість акумуляторних батарей,шт	Потужність акумуляторної батареї,Вт
22197	KV 180W/24V	154	10	EuroWind 100	1	8500	VR4-6	583	2
22235	KV 180W/24V	160	10	EuroWind 100	1	8500	VR3-12	389	2

Рисунок 3.43 – Підбір оптимальних конфігурацій ГЕСВДЕ за сценарієм 1

### **3.9 Стратегія управління режимами роботи Smart Grid на основі відновлюваних джерел енергії**

Метою поточного дослідження є визначення стратегії управління, яка впливає на вибір оптимального режиму роботи, а також схеми процесу збору та обробки інформації, яка зможе гарантувати відповідний рівень надійності та якості забезпечення потреб користувачів.

Об'єктом досліджень є типова невелика розподілена енергосистема, що складається з масиву будівель, обладнаних фотогальванічними панелями, спільними вітряними турбінами і накопичувачем енергії, а також має зв'язок із зовнішньою мережею. Системний контролер управляє мережею, використовуючи поточну інформацію про цілісність внутрішньої мережі та ефективне використання генеруючих пристроїв.

В Smart Grid необхідно контролювати два потоки: електричний і інформаційний. Згідно з основною ідеєю про стабільну надійність системи, в першу чергу важливо побудувати адекватний розподіл між джерелами електричного струму. Крім того, важливо відзначити, що управління потоком інформації допомагає контролювати електричний струм.

Для вирішення завдань підтримки прийняття рішень для управління енергоспоживанням Smart Grid, в першу чергу, необхідно проаналізувати інформаційні потоки. Для їх контролю необхідно використовувати різні стратегії управління енергоспоживанням.

Планування, моделювання, експлуатація та управління системами електричної енергії пов'язані з інформацією та явищами, які, природно, пов'язані з тимчасовими, просторовими і сценарістськими вимірами. Кожен з цих вимірів має конкретні шкали і вимоги до деталізації, пов'язані з відповідною поведінкою системи. Планування, безпечна і оптимальна робота, управління Smart Grid – це багатовимірна і великомасштабна проблема.

Зазвичай взаємодії у всіх масштабах впливають на кінцеву поведінку всієї системи. У багатомасштабному моделюванні і аналізі розглядаються такі підрозділи [64]:

- Набір моделей, які забезпечують послідовний опис явищ.
- Методи моделювання, в яких поєднуються стійкий стан і динамічні масштабні взаємодії в моделі.
- Ефективний обчислювальний аналіз, оптимізація та методи контролю.
- Подолання невизначеності.

Першим завданням і необхідністю багатомасштабного аналізу Smart Grid є визначення того, як створюються нові відповідні моделі, наскільки ймовірно, що ці нові моделі адекватно будуть відображуватися справжні явища в майбутньому і їх важливі характеристики.

Багатомасштабне прийняття рішень – це зростаюча область в багатомасштабній оптимізації. Його метою є розкриття узагальненого статистичного формалізму, який ефективно описує велику різноманітність складних систем. В результаті вся система оптимізується при розгляді взаємодії між шкалами за допомогою скоординованої інформації.

Користувачі Smart Grid стикаються з проблемою багатозадачності прийняття рішень принаймні у двох напрямках:

- планування енергії
- управління енергією на основі набору критеріїв.

На рисунку 3.44 показані типові стратегії управління режимами Smart Grid з поновлюваними джерелами енергії.

На рисунку 3.45 представлена схема процесу збору та обробки інформації, який здійснюється при вирішенні завдань управління режимами Smart Grid з відновлюваними джерелами енергії. Грунтуючись на даних рисунка 3.44, ця схема відповідає стратегії управління енергоспоживанням на основі правил [65].



Рисунок 3.44 – Стратегії управління

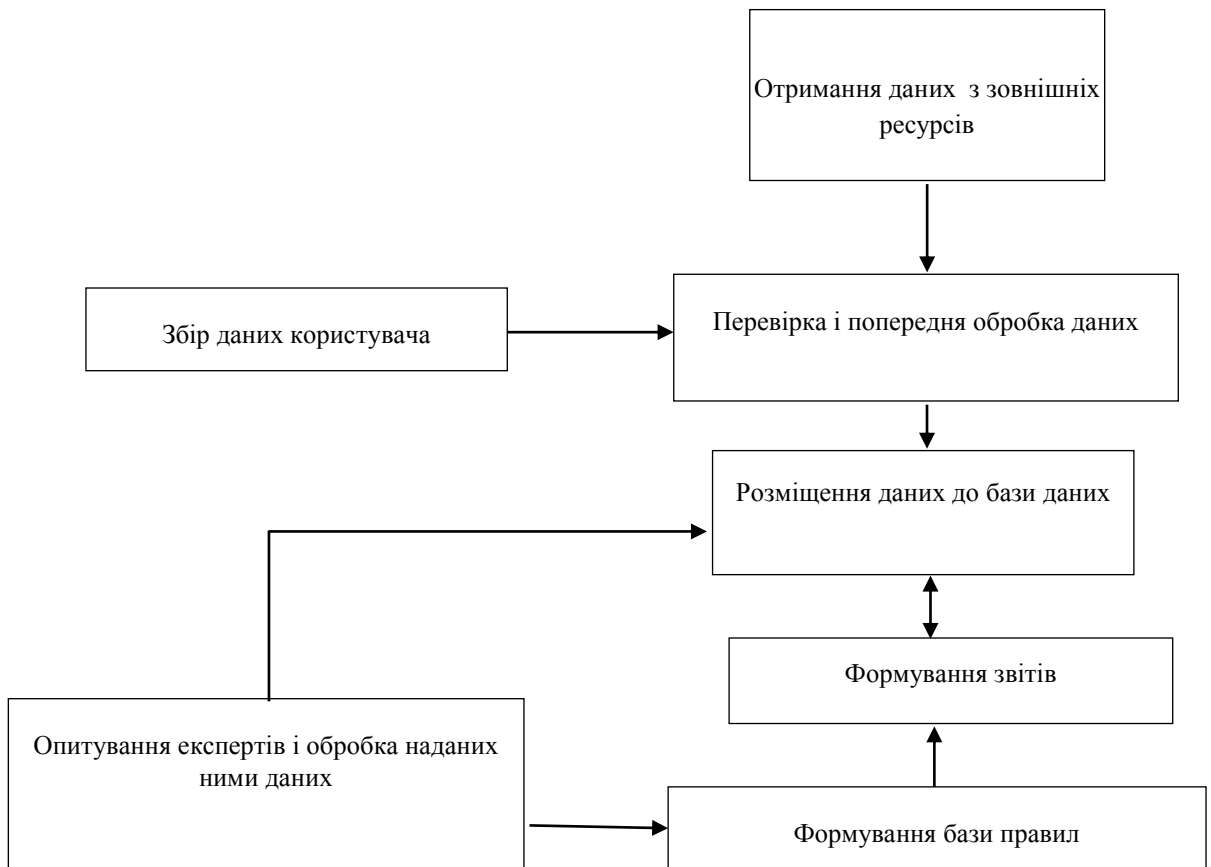


Рисунок 3.45 – Схема процесу збору та обробки інформації

### **3.10 Нечітка математична модель потужності сонячної батареї для системи підтримки прийняття рішень при керуванні гібридною електромережею**

Традиційно моделювання потужності СБ здійснюється на основі детермінованого підходу. Здебільшого в основі побудови математичної моделі потужності СБ лежить модель вольт-амперної характеристики окремого фотоелемента [66], отримана теоретично, або на основі обробки експериментальних даних. Це пояснюється відносною простотою дослідження характеристик фотоелементів. Однак при розрахунку характеристик СБ великої площини виникають труднощі у визначенні різноманітних втрат внаслідок неідентичності фотоелементів, комутації, нерівномірності температури та освітленості по площині СБ. Введення відповідних коефіцієнтів [67] не вирішують вказані проблеми, а намагання вдосконалити детерміновану математичну модель СБ приводить до суттєвого її ускладнення [68]. Також в ряді робіт пропонується враховувати інтегрально означені витрати за рахунок експериментальних досліджень не фотоелементів, а невеликих СБ з подальшим розповсюдженням результату на параметри СБ будь-якої площини [69]. Однак і такий підхід виправдовує себе в певних межах. До того ж додаються похибки внаслідок застосування регресійного аналізу для побудови моделі вольт-амперної характеристики в умовах невеликих виборок експериментальних даних. Здається більш доцільним в цьому випадку застосувати нечіткий регресійний аналіз, наприклад як в [70].

Метою цієї роботи є побудова нечіткої математичної моделі, що описує залежність потужності сонячних батарей від зовнішніх та конструктивних факторів для системи підтримки прийняття рішень при керуванні гібридною електромережею.

В даному дослідженні пропонується визначати оптимальну (максимальну) потужність СБ у вигляді трикутного нечіткого числа, тобто представити кортежем

$$P_{opt} = \langle P_{opt\ m}, P_{opt\ -}, P_{opt\ +} \rangle, \quad (3.9)$$

де  $P_{opt\ m}$  – модальне значення,

$P_{opt\ -}, P_{opt\ +}$  – ліва та права межа інтервалу невизначеності.

В межі невизначеності інтегрально потрапляють всі згадані вище параметри, які напряду не можуть бути визначені і навіть ті, що невідомі.

Для врахування залежності  $P_{opt\ m}, P_{opt\ -}, P_{opt\ +}$  від зовнішніх та конструктивних факторів було оброблено експериментальні дані, що наведено в [47] оскільки ці експерименти було проведено саме з метою виявлення впливу невизначених факторів на електричні характеристики СБ. Досліджувались 16 груп сонячних елементів площею 0,0403 м<sup>2</sup> в діапазоні температури (12 – 70)°С та освітленості (550 – 1260) Вт/м<sup>2</sup>. У складі груп скомутовано фотоелементи різних розмірів для врахування цього роду невизначеності. Нерівномірність температури по площині груп встановлювалась на рівні ±1°С від середньої, а освітленості – в межах ±3%. Поблизу оптимальної точки реєструвалося декілька режимних точок вольт-амперної характеристики для врахування похибки контролера, що регулює максимальний відбір потужності від СБ.

Для обробки застосовано нечіткий регресійний аналіз з двома критеріями якості: ступінь співпадіння та ступінь невизначеності, суть якого наведено в [71].

В результаті обробки експериментальних даних отримано залежності, що входять в нечітку модель (3.9) (рис. 3.45):

$$P_{opt\ m} = (0,00363 * E + 0,00352 * t - 0,000013 * E * t) / (0,0403 * S),$$

$$P_{opt\ -} = (0,00353 * E + 0,00214 * t - 0,000011 * E * t) / (0,0403 * S), \quad (3.10)$$

$$P_{opt\ +} = (0,0037 * E + 0,00425 * t - 0,000014 * E * t) / (0,0403 * S).$$

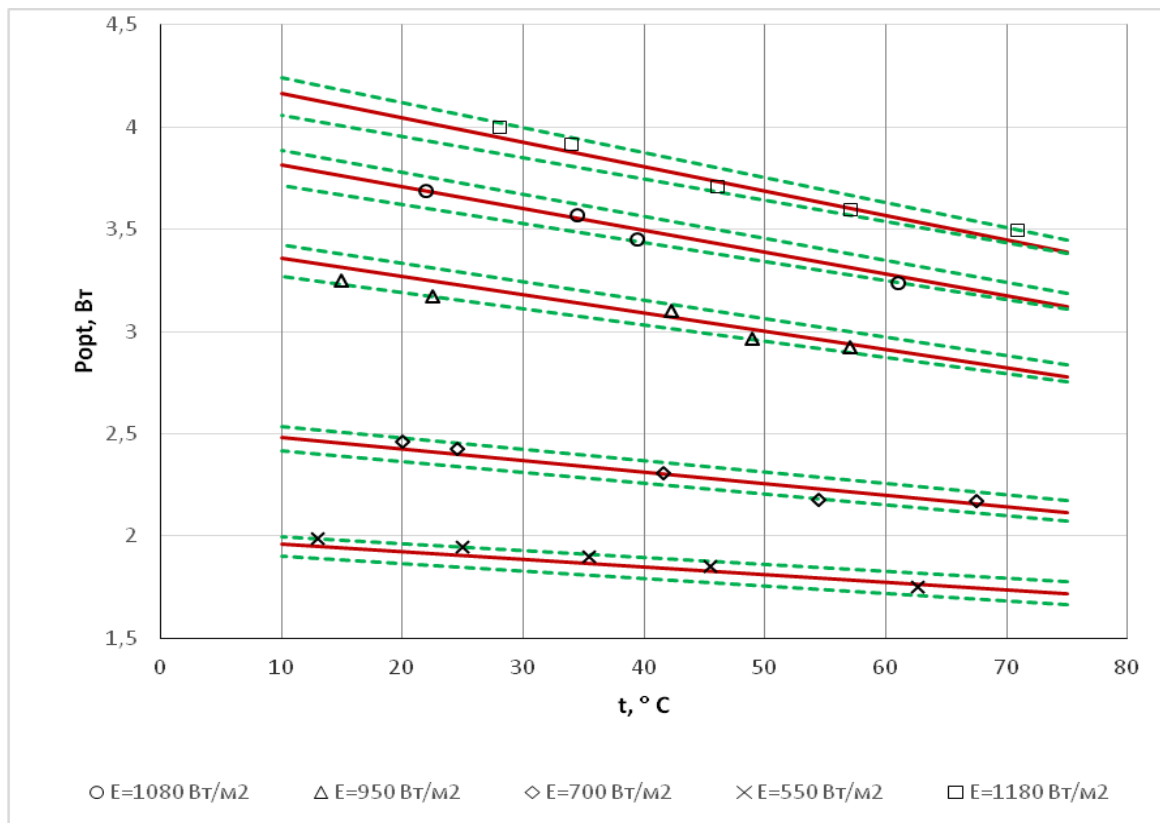


Рисунок 3.46 – Результати обробки експериментальних даних нечітким регресійним аналізом

Середня ступінь співпадіння залежностей (3.10) складає 0,32, а середня ступінь невизначеності не перевищує 0,11. Ці параметри відповідають середньомодульній відносній похибці 1,1% при влучанні всіх експериментальних даних в межі інтервалу нечіткості.

В залежностях (3.10)  $S$  – загальна площа сонячних батарей, що входять до гібридної системи електропостачання. Якщо у виразах (3.10) використовуються не результати оперативних вимірів  $E$  – освітленості,  $t$  – температури, а прогнозовані дані, то залежності (3.10) мають бути скориговані згідно принципу узагальнення Заде з урахуванням похибки прогнозу.

### **3.11 Інтегральна нечіткість оцінки якості енергії для системи підтримки прийняття рішень при управлінні енергетичною мережею з розподіленою генерацією**

Критерієм ефективності функціонування розподіленої мережі в значній мірі можна вважати якість електричної енергії.

З метою оцінки якості електроенергії введено систему показників і норм, яким вони повинні відповідати. Існуючі норми показників якості представлені у вигляді інтервалів, а самі показники якості розраховуються за складними методиками на основі багаторазових вимірювань. При такому підході помітно, що існує невизначеність як при визначенні показника, так і при оцінці його відповідності нормі. У нормативних документах ця невизначеність штучно детермінізується за рахунок залучення апарату математичної статистики і нерівностей складного виду. Такий підхід не дозволяє оцінити ступінь порушення норм якості, відстежити тенденції зміни значень показників якості і дати інтегральну оцінку якості електроенергії.

На даному етапі при оцінці показники якості електроенергії (ПЯЕ) та розкриття невизначеності інформації при аналізі ПЯЕ розглядаються як такі завдання, що не пов'язані між собою. Для вирішення зазначеної задачі зазвичай використовується детермінований підхід. Однак, відповідно до міжнародних вимог у галузі метрології і стандартизації, основною оцінкою якості результату вимірів рекомендовано вважати його невизначеність [72].

Існує два шляхи подолання невизначеності, частку якої містить процес вимірювання ПЯЕ. По-перше, приймати рішення у невизначених умовах необхідно з використанням експертних знань. По-друге, з метою розкриття невизначеності вимірювань необхідно використовувати теорію нечітких множин [73]. Так, невизначеність режимних параметрів можливо описувати симетричними межами або середнім квадратичним відхиленням. У останньому випадку застосовується ймовірнісні оцінки ряду вимірювань, а при використанні симетричних меж можливо застосовувати суб'єктивні



знання, що зручно формалізуються за допомогою теорії нечітких множин [74].

При оцінці показників якості електроенергії у СППР рекомендовано застосовувати теорію нечітких множин у зв'язку з тим, що нечітке уявлення дозволяє зробити більш простий опис об'єкту. А це, у свою чергу, пришвидшує процес прийняття рішень [75]. У випадку, коли розподіл результатів вимірів береться унімодальним та симетричним, то їх можливо представити у вигляді трикутних нечітких чисел [76].

Апарат нечітких чисел запропоновано використовувати також у випадках розрахунків невизначеності непрямого вимірювання з рівнем довіри, коли неможлива лінеаризація рівняння похибки [77]. Однак, у цьому випадку, результати будуть незадовільними, якщо розподіли є несиметричними. У відповідальних випадках рекомендовано проводити оцінювання розподілів.

Також, для оцінки ПЯЕ пропонується використовувати нечітке число з трикутної функцією приналежності [78]. Даний підхід справедливий для випадків, коли безліч результатів вимірювань мають ознаки унімодальності та симетрії.

У всіх вищерозглянутих підходах припускається попередній аналіз результатів вимірювань щодо коректності використання того чи іншого апарату розкриття невизначеності. Зазначене призводить до складностей у апаратній реалізації. Однак, ряд приладів, призначених для вимірювань ПЯЕ, можуть представляти результати безпосередньо у вигляді гістограм. Виконавши нормалізацію, таку гістограму можливо розглядати як нечітке уявлення ПЯЕ у вигляді нечіткої множини, що може бути представлена ступінчастою функцією приналежності, яка огинає гістограму. Звісно, при цьому відсутня необхідність накладення обмежень на симетричність та унімодальність і, відповідно, можливо не виконувати попередній аналіз даних.

Дослідження проведено з метою визначення ПЯЕ в умовах невизначеності інформації, що має нечітку форму, який є критерієм ефективності функціонування розподіленої мережі, для застосування в СППР. Для досягнення поставленої мети необхідно:

- перетворити результати вимірювання ПЯЕ у нечіткий вигляд;
- здійснити нечітке уявлення норм якості електроенергії (НЯЕ);
- провести нечітку оцінку відповідності ПЯЕ відповідним нормам;
- сформулювати інтегральне нечітке поняття якості електроенергії.

Для таких ПЯЕ, як відхилення напруги, несинусоїдальність напруги, несиметрія напруг, відхилення частоти і т.п. виміри здійснюються протягом 24 годин. За цей час утворюється безліч значень  $\Delta$ ПЯЕ розмірності  $N\Delta$  (рис. 3.47).

На даній множині вимірів прилад формує гістограму. Діапазон  $\{\text{ПЯЕ}_{\min}, \text{ПЯЕ}_{\max}\}$  розбивається на  $n$  рівних інтервалів  $\Delta i$  і будується гістограма частот попадання результатів вимірювань ПЯЕ до зазначених інтервалів. Після нормування отримаємо гістограму (рис. 3.48).

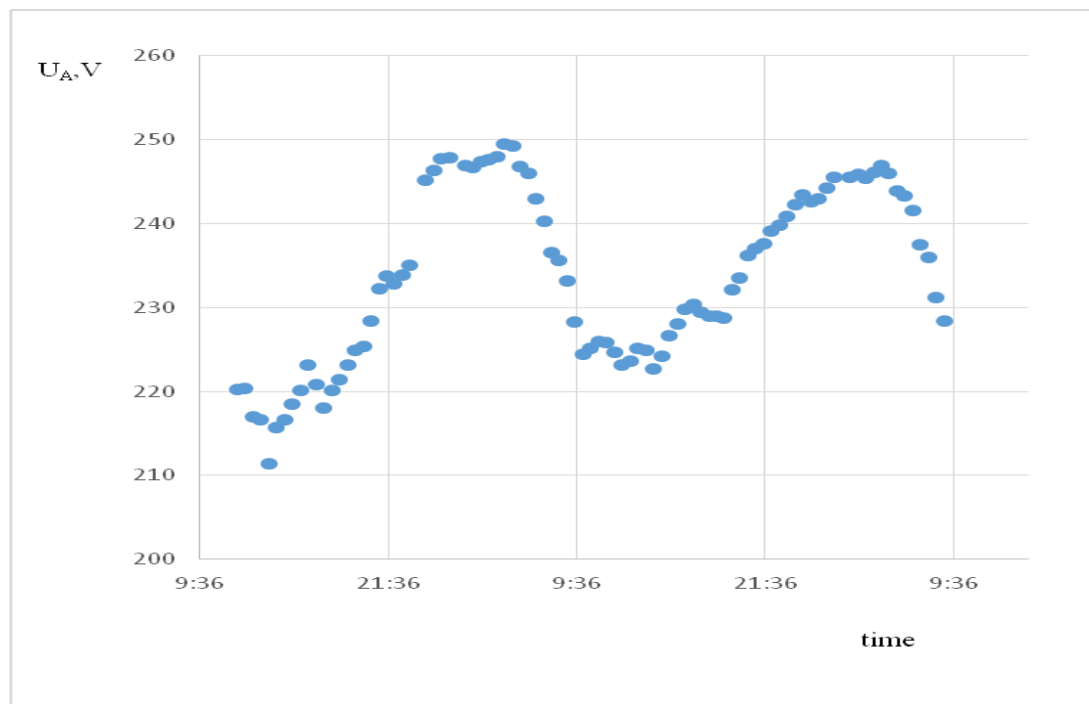


Рисунок 3.47 – Часовий ряд вимірювань (на прикладі напруг фази А)

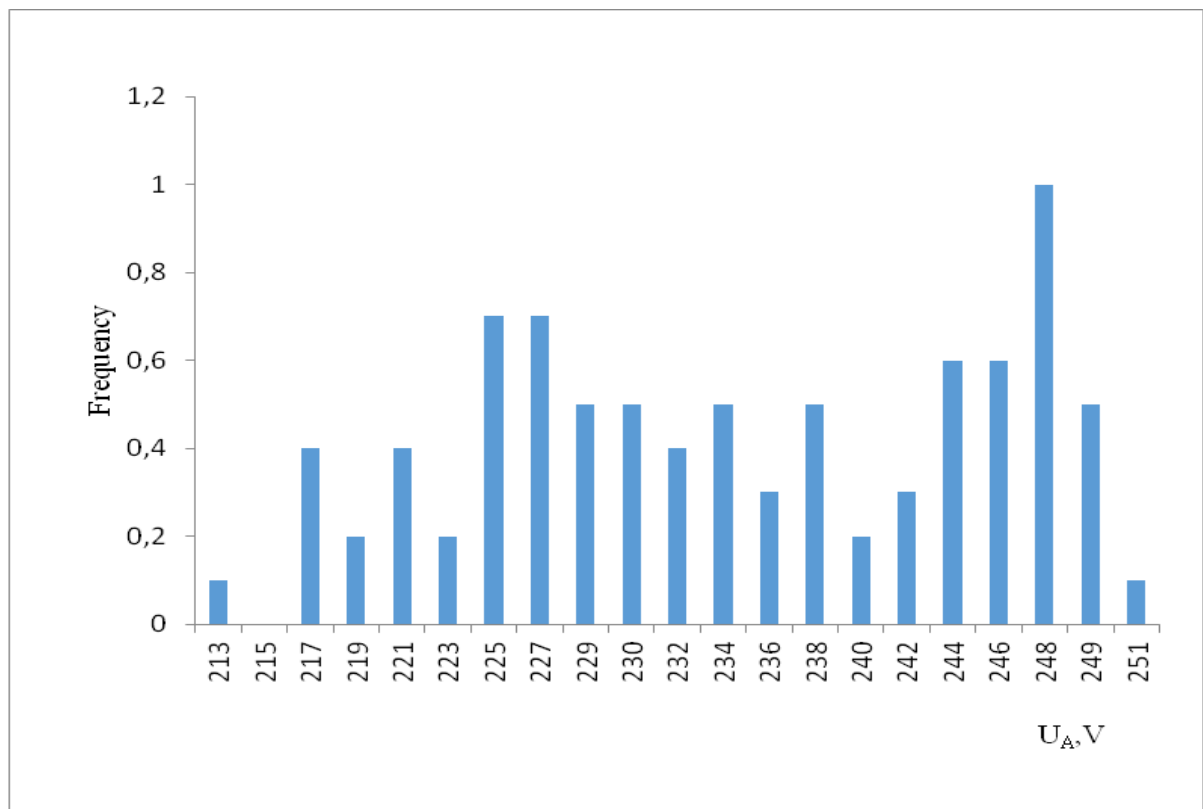


Рисунок 3.48 – Нормована гістограма вимірювань  
(на прикладі напруг фази А)

На підставі отриманої гістограми сформуємо нечітку множину ПЯЕ. Носієм цієї множини є інтервал  $\{\text{ПЯЕ}_{\min}, \text{ПЯЕ}_{\max}\}$ . Функцією приналежності є ступінчаста функція ( $\mu$ ), яка огинає гістограму (рис. 3.49).

Як можна побачити, таке представлення показника якості не вимагає перетворення нечіткої множини до будь-якого окремого випадку добре вивчених видів нечітких множин. Відповідно, не потребується істотна модернізація програмного забезпечення вимірювальних приладів. При цьому зберігається особливість вимірювання показників якості в конкретній мережі електропостачання.

Норми якості електроенергії (НЯЕ) визначаються у вигляді інтервалів нормально допустимих та гранично допустимих значень. Тобто в самому визначенні норми закладений елемент невизначеності, пов'язаний з відповідністю ПЯЕ нормі якості в проміжку між допустимими і гранично допустимими значеннями.

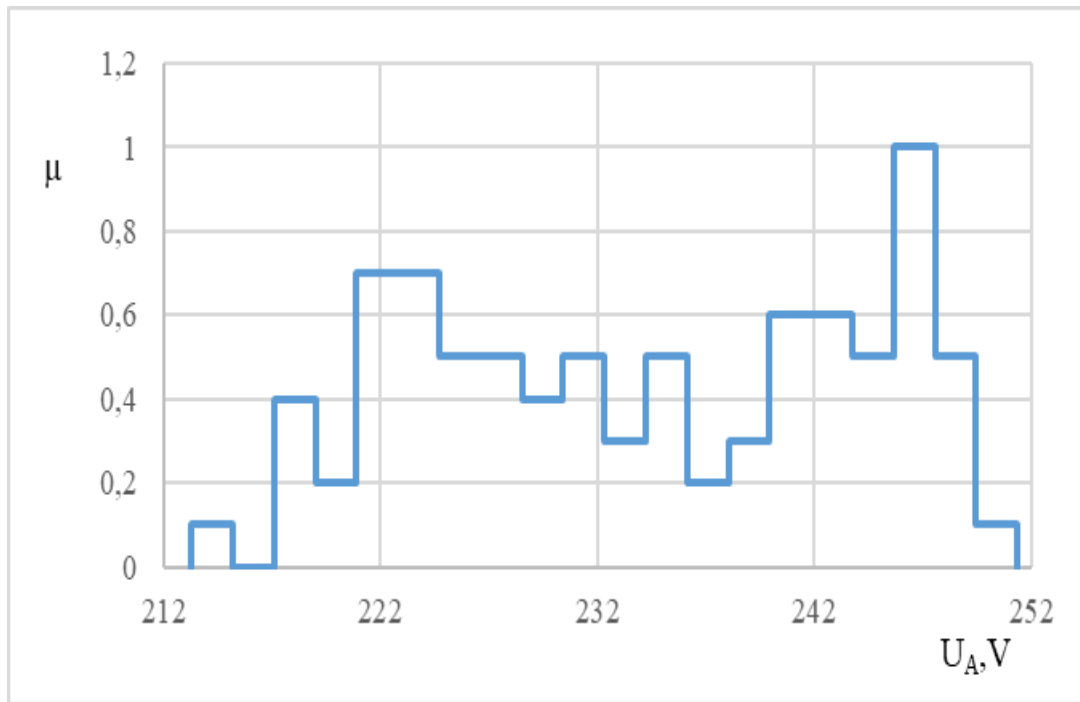


Рисунок 3.49 – Показник якості електроенергії в нечіткій формі

Дані норми можуть бути представлені нечіткою множиною, а саме – нечітким інтервалом з трапецієподібною функцією приналежності

$$\mu_{НЯЕ} = \max \left\{ 0, \min \left\{ 1, \frac{НЯЕ - НЯЕ_{\min}}{НЯЕ_{m1} - НЯЕ_{\min}}, \frac{НЯЕ_{\max} - НЯЕ}{НЯЕ_{\max} - НЯЕ_{m2}} \right\} \right\} \quad (3.11)$$

Такий вигляд функції приналежності дозволяє ввести деяке відношення порядку в оцінці ПЯЕ, оскільки в міру наближення до гранично допустимих значень функція приналежності наближається до нуля.

Для деяких норм критеріїв якості електричної енергії визначено лише максимальні нормально і гранично допустимі межі. В цьому випадку вираз (3.3) дещо спрощується ( $НЯЕ_{\min} = НЯЕ_{m1} = 0$ ).

Ступінь відповідності нечітких значень ПЯЕ нечітким НЯЕ можна оцінити за функцією приналежності їх перетину.

$$\mu_{ЯЕ} = \min(\mu_{НЯЕ}, \mu_{ПЯЕ}) \quad (3.12)$$

Чисельно перетин нечітких множин можна оцінити за площею перетину двох фігур ( $S$ ). Перша – це фігура, обмежена віссю абсцис і функцією приналежності ПЯЕ ( $S_{ПЯЕ}$ ), друга – фігура, обмежена віссю абсцис і функцією приналежності НЯЕ ( $S_{НЯЕ}$ ) (рис. 3.49).

Тоді функція приналежності відповідності нечіткого ПЯЕ нечітким нормам якості електроенергії ( $\mu_{ЯЕ}$ ) може бути представлена у вигляді

$$\mu_{ЯЕ} = S / S_{ПЯЕ}, \quad (3.13)$$

де

$$S_{ПЯЕ} = \sum_{i=1}^n d_i \mu_i,$$

$$S = \sum_{i=1}^n d_i \min(\mu_i, \mu_{НЯЕ}) \quad (3.14)$$

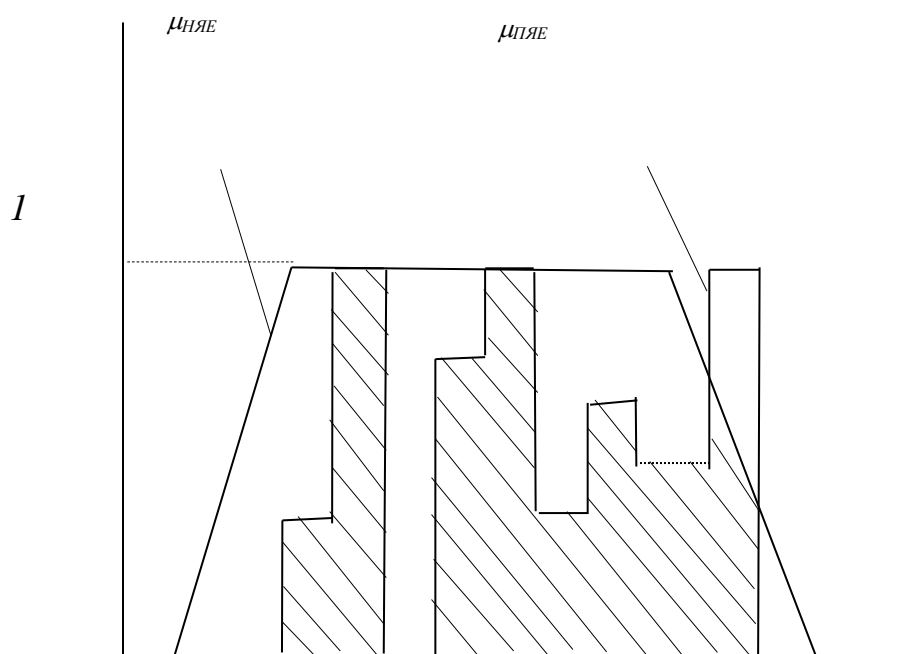


Рисунок 3.49 – Перетин нечітких множин

Існує ряд показників, які характеризують різні аспекти якості електроенергії. Велика їх частина може бути представлена в нечіткій формі згідно запропонованого методу. Але для деяких показників існують особливості. Наприклад, оскільки в нормативному документі не вказано кількість замірів розмаху зміни напруги  $\delta U_t$  то одиничний замір можна вважати сінглтоном. Аналогічно, кожне значення дози флікера має самостійне значення і може бути представлене у вигляді сінглтона. Їх функції приналежності мають вигляд:

$$\mu_{\delta U_t}(\delta U_t) = 1, \quad \mu_{P_{St}} = 1, \quad \mu_{P_L} = 1 \quad (3.15)$$

Нечітке уявлення відповідності показників якості прийнятим нормам дозволяє формувати інтегральні нечіткі поняття якості електроенергії. Це пояснюється тим, що операції над нечіткими множинами однозначно проектується на операції над їх функціями належності. У цьому випадку не відіграє ролі фізична природа показника якості.

Найпростіший підхід до формування інтегрального поняття якості на основі логічної операції перетину нечітких множин приведено в [79-81]. Нечітке поняття якості формується в наступному вигляді:

$$Y_E = \bigcap_{j=1}^{N_{YE}} Y_{E_j}, \quad (3.16)$$

де  $N_{YE}$  – кількість показників якості, що розглядається.

Чисельно рівень якості електроенергії в даному випадку відображає функція приналежності нечіткої множини  $Y_E$ , яка для операції перетину матиме вигляд

$$\mu_{\text{ЯЕ}} = \min(\mu_{\text{ЯЕ}j}) \quad (3.17)$$

Тоді  $\mu_{\text{ЯЕ}}$  можна вважати узагальненим показником, що оцінює якість електроенергії числом з діапазону  $[0, 1]$ .

Слід зазначити, що число врахованих показників, мабуть слід співвідносити з потребами споживачів. Різні типи навантажень критичні до різними показниками якості електроенергії. Тому, на основі описаного підходу можна сформувані інтегральні узагальнені показники якості для електричних мереж з переважанням будь-якого з типів навантаження.

Наприклад:

– для електродвигунного навантаження

$$\mu_{\text{ЯЕ}} = \min(\mu_{\delta U_y}, \mu_{K_U}, \mu_{K_{U(n)}}, \mu_{K_{2U}}, \mu_{K_{0U}}, \mu_{\Delta f}, \mu_{\Delta t_n}, \mu_{K_{pU}}); \quad (3.18)$$

– для освітлювального навантаження

$$\mu_{\text{ЯЕ}} = \min(\mu_{\delta U_y}, \mu_{\delta U_t}, \mu_{P_t}, \mu_{K_{0U}}, \mu_{\Delta t_n}, \mu_{K_{impU}}); \quad (3.19)$$

- для приладів з мікропроцесорними блоками управління

$$\mu_{\text{ЯЕ}} = \min(\mu_{\delta U_t}, \mu_{P_t}, \mu_{K_U}, \mu_{K_{U(n)}}), \quad (3.20)$$

де  $\delta U_y$  – усталене відхилення напруги;

$\delta U_t$  – розмах зміни напруги;

$P_t$  – доза флікеру;

$K_{U(n)}$  – коефіцієнт n-ої гармонійної складової напруги;

$K_{2U}$  – коефіцієнт несиметрії напруг за зворотною послідовністю;

$K_{0U}$  – коефіцієнт несиметрії напруг за нульовою послідовністю;

$\Delta f$  – відхилення частоти;

$\Delta t_n$  – інтервал провалу напруги;

$K_{pU}$  – коефіцієнт тимчасової перенапруги;

$K_{impU}$  – імпульс напруги.

Неважко помітити, що запропонована методика не містить складних математичних обчислень і може бути легко реалізована в програмному забезпеченні системи підтримки прийняття рішень.

У виразах (3.18) – (3.20) узагальнені показники якості електроенергії можуть набувати значень з діапазону  $[0, 1]$ . При цьому, якщо в точності слідувати вимогам існуючих норм оцінки якості електроенергії, то відмінні від 1 значення  $\mu_{ЯЕ}$  однозначно кваліфікуються як відсутність необхідної якості електроенергії. При більш глибокому впровадженні нечіткого підходу при оцінці якості електроенергії можна уникнути такої жорсткої диференціації, обумовленої детерміністичним підходом. Наприклад, можна для кожного виду навантаження ввести допустимі значення нечітких узагальнених показників якості. Однак це положення вимагає окремого дослідження і може послужити основою для перегляду існуючого підходу до оцінки якості електроенергії.

Розроблена методологія дозволяє відслідковувати зміну якості електроенергії навіть якщо основні показники не виходять за межі допустимих значень, проводити аналіз динаміки зміни ПЯЕ і визначати попереджувальні заходи щодо нормалізації ЯК, тобто її можна вважати основним методом управління режимом функціонування розподіленої мережі.



## ВИСНОВКИ

У сучасних складних автоматизованих одночасно зростає роль і людини-оператора і технічних засобів. Основними особливостями таких систем є наявність декількох рівнів ієрархії; велика кількість одночасно працюючих операторів різних типів; збільшення частки групової діяльності, зростання ролі оператора-керівника та необхідність моделей і засобів підтримки його рішень. Проведений аналіз методів вирішення таких завдань дозволив, виявити протиріччя між потребами практики і розробленістю необхідних моделей, що забезпечують: опис системи як людино-машинної; автоматичне оцінювання варіантів розподілу функцій; вибір з урахуванням специфічних обмежень людино-машинної взаємодії.

У результаті проведених досліджень встановлено факт приділення недостатньої уваги питанням управління при комп'ютеризації проектних робіт. Для реалізації можливості управління процесом проектування зроблено системний аналіз процесу проектування технічних об'єктів, запропоновано зв'язки системи автоматизації проектних робіт із зовнішнім середовищем, встановлена необхідність наявності трьох видів програмного забезпечення для функціонування системи, представлено обґрунтоване виконання проектних робіт за схемою «зверху-вниз», складено інформаційну модель для підтримки процесу проектування та отримано архітектурне рішення для системи автоматизації проектних робіт в організаціях, виявлено відсутність інформаційного опису процесів діяльності, який дозволяє їх супроводжувати протягом усього життєвого циклу.

Розроблений метод фазифікації показників якості на основі гістограми множини вимірів дозволяє реалізувати нечітку оцінку показників якості електроенергії.

Представлений метод нечіткої оцінки відповідності показників якості прийнятним нечітким нормам дозволяє формувати різні інтегральні показники якості, що враховують особливості навантажень в мережі електропостачання.

Запропонований метод дозволяє не тільки оцінювати ступінь відповідності показників якості прийнятим нормам, а й відслідковувати зміну якості електроенергії навіть якщо основні показники не виходять за межі допустимих значень, формувати правила для управління режимами роботи розподіленої електромережі системою підтримки прийняття рішень.

**ПЕРЕЛІК ДЖЕРЕЛ ПОСИЛАННЯ**

- 1 Захарченко В.П. Моделі та інформаційна технологія організації процесу автоматизованого проектування об'єктів машинобудування.// Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.13.06 – інформаційні технології – Харків: Харківський національний університет міського господарства імені О.М.Бекетова, – 2018. – С. 178-179.
2. Zakharchenko V. P. Model of the management program for a means complex of the design works automation as a finite-state automaton / V. P. Zakharchenko, A. V. Marchenko, V. H. Nenia // Journal of Engineering Sciences. — Sumy : Sumy State University, 2017. — Volume 4, Issue 2. — P. H1-H8.
3. Прохоров А. Ф. Конструктор и ЭВМ / А. Ф. Прохоров. – М.: Машиностроение, 1987. – 272 с.
4. Будя А. П. Справочник по САПР / А. П. Будя, А. Е. Кононюк, Г. П. Куценко, А. А. Лященко, В. И. Маньковский, Н. К. Печурин / Под ред. В. И. Скурихина. – К.: Техника, 1988. – 375 с.
5. Жук К. Д. Построение современных систем автоматизации проектирования / К. Д. Жук, А. А. Тимченко. – К.: Наукова думка. – 1983. – 248 с.
6. Карпов Ю. Г. MODEL CHECKING. Верификация параллельных и распределенных программных систем / Ю. Г. Карпов. – БХВ-Петербург, 2010. – 560 с.
7. Федотов И. Е. Модели параллельного программирования / И. Е. Федотов. – М.: Солон-Пресс, 2012. – 384 с.
8. Амосов Н. М., Артеменко И. А. Энциклопедия кибернетики / Н. М. Амосов, И. А. Артеменко / Отв. ред. В. М. Глушков. – Укр. сов. энцикл., 1974. – 624 с.
9. Гилл А. Введение в теорию конечных автоматов / А. Гилл. – М.: Наука, 1966. – 272 с.
10. Заболеева-Зотова А. В., Орлова Ю. А. Автоматизация начальных этапов проектирования программного обеспечения / А. В. Заболеева-Зотова, Ю.

- А. Орлова. // Известия Волгоградского государственного технического университета. – 2010. – Т. 6. – №. 8. – С. 121-124.
11. Филатов В. А. Модель поведения автономного сценария в задачах управления распределенными информационными ресурсами / В. А. Филатов, О.Ф. Козырь // Инженерный вестник Дона. – 2013. – Т. 26. – №. 3 (26).. – С. 24-36.
12. Козаченко В. Ф. Эффективный метод программной реализации дискретных управляющих автоматов во встроенных системах управления / В. Ф. Козаченко // Режим доступа: [http://www.motorcontrol.ru/publications/state\\_mashine.pdf](http://www.motorcontrol.ru/publications/state_mashine.pdf), свободный. Яз. рус. (дата обращения 04.04.2016). – 2010. – 16 с.
13. Новожилов Б. М. Применение графов в разработке программ для ПЛК / Б.М. Новожилов // Инженерный вестник. – 2015. – №. 2. – С. 505-514.
14. Мухопад Ю. Ф. Анализ и синтез управляющих автоматов сложных технических систем / Ю. Ф. Мухопад, А. Ю. Мухопад // XII Всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014. – Москва, 2014. – С. 7295-7306.
15. Смирнова Н. В. Применение теории конечных автоматов в разработке программных систем / Н.В. Смирнова, В.В. Смирнов // Техніка в сільськогосподарському виробництві, галузеве машинобудування, автоматизація, 2014. Вип. 27. – С. 316-320.
16. Большаков О. С. Модель распределенных программ для встраиваемых систем / О. С. Большаков, А. В. Петров, В. Г. Шаров // Вестник Рыбинской государственной авиационной технологической академии им. П.А. Соловьева. – 2015. – №1 (32). – С. 165-171.
17. Воробьев В. А. Модель параллельного автомата / В. А. Воробьев // Автометрия. – 2006. – Т. 42. – №. 3. – С. 85-93.
18. Кузьмин Е. В. Иерархическая модель автоматных программ / Е. В. Кузьмин // Моделирование и анализ информационных систем. – 2006. – Т. 13. – №. 1. – С. 27-34.

19. Аноприенко А. Я. Применение клеточных автоматов для моделирования динамических процессов: опыт ДонНТУ / А. Я. Аноприенко, А. П. Коноплёва, Д.Ю. Плотников, Е. Ф. Малёванный // Четверта міжнародна науково-технічна конференція «Модельовання та комп'ютерна графіка», матеріали доповідей, 2011. – С. 271-278.
20. Хачатрян, В. Е. Подход к решению фундаментальных проблем моделей вычислений на примере многоленточных автоматов / В. Е. Хачатрян, Я. Г. Великая // //Научные ведомости Белгородского государственного университета. Серия: Экономика. Информатика. – 2009. – Т. 11. – №. 9 (64). – С. 108-111.
21. Твардовский А. С. К минимизации автоматов с временными ограничениями / А. С. Твардовский, Н. В. Евтушенко // Вестник Томского государственного университета. Управление, вычислительная техника и информатика. – 2014. – №. 4 (29). – С. 77-83.
22. Мельников Б. Ф. Многоаспектная минимизация недетерминированных конечных автоматов (Часть I. Вспомогательные факты и алгоритмы) / Б. Ф. Мельников, А. А. Мельникова // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Физико-математические науки. Математика. – 2011. – №4 (20). – С. 59-69.
23. Орлов М. А. Основы классической ТРИЗ. Практическое руководство для изобретательного мышления / М. А. Орлов. – М.: Солон-Пресс, 2006. – 432 с.
24. Lee E. A. Structure and Interpretation of signals and Systems / E. A. Lee, P. Varaiya. – Lee & Seshia, 2011. – 725 p.
25. Карпов Ю. Г. Теория автоматов / Ю. Г. Карпов. – СПб.: Питер, 2003. – 208 с.
26. Черемисинов Д. И. Проектирование и анализ параллелизма в процессах и программах / Д.И. Черемисов. – Минск: Беларуская навука, 2011. – 300 с.
27. Назаров А. В. Нейросетевые алгоритмы прогнозирования и оптимизации систем / А. В. Назаров, А. И. Лоскутов. – Спб. : Наука и Техника, 2003. – 384 с.

28. Вороновский Г. К. / Проблемы и перспективы использования искусственных нейронных сетей в энергетике. Ч. 2. Управление / Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. А. Сергеев // Пробл. заг. энергетики. – 2007. – № 16. – С. 54-67.
29. Nielsen Henrik Aalborg. Predicting the Heat Consumption in District Heating Systems using Meteorological Forecasts/ Henrik Aalborg Nielsen, Henrik Madsen. – Technical University of Denmark, IMM, Lyngby, 2000. – 147 p.
30. Сапожніков, С.В. Аналіз споживання теплової енергії закладами управління освіти м. Сум / С.В. Сапожніков, К.А. Приходько // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2012. – № 2. – С. 161-168.
31. Komass Toms. Statistical Analysis of Municipal Heat Supply / Toms Komass, Andris Sniders, Aigars Laizans // Engineering for Rural Development : 11th International Scientific Conference, Jelgava, Latvia, 24-25 May 2012 : conference proceedings. – Jelgava : Latvia University of Agriculture, 2012. – Vol. 11. – Pp. 1–8.
32. Bacher P. Short-term heat load forecasting for single family houses / P. Bacher, H. Madsen // Energy and Buildings. – 2013. – Vol. 65. – Pp.101-112.
33. Kontu K. Forecasting district heating consumption based on customer measurements [electronic resource] /K. Kontu // International association EUROHEAT & POWER. Retrieved from: [http://www.euroheat.org/Files/Filer/Presentations/20130527\\_EHP\\_Congress/130527\\_1600\\_1730\\_Pl\\_6\\_Kaisa Kontu.pdf](http://www.euroheat.org/Files/Filer/Presentations/20130527_EHP_Congress/130527_1600_1730_Pl_6_Kaisa%20Kontu.pdf).
34. Grosswindhager S. Online Short-Term Forecast of System heat Load in District Heating Networks / S. Grosswindhager, A. Voigt, M. Kozek // ISF 2011 : the 31st International Symposium on Forecasting, Prague, Czech Republic, 26-29 June 2011 : conference proceedings. – Lancaster : International Institute of Forecasters, 2011. – Pp. 1–8.
35. Литвин В. І. Моніторинг режимів теплоспоживання об'єктів бюджетної сфери / В.І. Литвин // Енергетика. Екологія. Людина: збірник наукових праць науково-технічної конференції Інституту енергозбереження й

- енергоменеджменту НТУУ «КПІ», 28–29 квітня 2009 р. – К. : НТУУ «КПІ», 2009. – С. 151–155.
36. Schellong Wolfgang. Energy Demand Analysis and Forecast [електронний ресурс] / Wolfgang Schellong ; Edited by P. Giridhar Kini // Energy Management Systems. – 2011. – Chapter 5. – Pp. 101–122. Режим доступу: <http://www.intechopen.com/books/energy-management-systems/energy-demand-analysis-and-forecast>.
37. Buhari M. Short-Term Load Forecasting Using Artificial Neural Network / M. Buhari, S. S. Adamu // IMECS 2012 : International MultiConference of Engineers and Computer Scientist, Hong Kong, 14-16 Mar 2012 : conference proceedings. – Hong Kong, 2012.
38. Dostál P. Prediction of the heat supply daily diagram via artificial neural network / P. Dostál, B. Chramcov, Ja. Baláte // East West Fuzzy Colloquium : conference proceedings. Zittau, Germany, 2002. – Pp. 178-183.
39. Grzenda M. Consumer-oriented heat consumption prediction / M. Grzenda // Control and Cybernetics. – 2012. – Vol.41, No. 1. – Pp. 213–240.
40. Бодянский Е. В. Искусственные нейронные сети, архитектуры, обучение, применения : [Монография] / Е. В. Бодянский, О. Г. Руденко. – Харьков : ТЕЛТЕХ, 2004. – 369 с.
41. Haykin, Simon. Neural Networks – A Comprehensive Foundation / Simon Haykin. – NJ : Prentice Hal, 2005. – 823 p.
42. А. с. № 51299 Україна. Комп'ютерна програма «Інформаційно-аналітична система моніторингу та прогнозування теплозабезпечення будівель «HeatCAM»» / В. В. Шендрик, В. Г. Неня, Ю. В. Парфененко, Р. П. Окопний. – зареєстр. 18.09.2013.
43. Інформаційно-аналітична система моніторингу та прогнозування теплозабезпечення будівель [Текст] / Ю. В. Парфененко, В. В. Шендрик, В. Г. Неня, Р. П. Окопний // Вісник Східноукраїнського національного університету імені Володимира Даля. – 2013. – № 743. – Ч. 1. – С. 38–43.

44. Parfenenko Yu. Information System for Monitoring and Forecast of Building Heat Consumption / Yu. Parfenenko, V. Shendryk, V. Nenia, S. Vashchenko // Communications in Computer and Information Science. – Springer International Publishing, 2014. – Vol. 465. – pp. 1–11.
45. Парфененко Ю. В. Прогнозування теплоспоживання будівель соціально-бюджетної сфери з використанням нейронних мереж [Текст] / Ю. В. Парфененко, В. В. Шендрюк, О. С. Галіченко // Радіоелектроніка, інформатика, управління. – 2015. – № 2 (33). – С. 41–46.
46. Parfenenko Yu. The Forecasting of the Daily Heat Demand of the Public Sector Buildings with District Heating / Yu. Parfenenko, V. Shendryk, S. Vashchenko, N. Fedotova // Communications in Computer and Information Science. – Springer International Publishing, 2015. – Vol. 538. – pp. 187–198.
47. Парфененко Ю.В. Модель підтримки прийняття рішень при управлінні централізованим теплозабезпеченням на стороні споживача / Ю.В. Парфененко // Сучасний стан наукових досліджень та технологій в промисловості. – Харків : ХНУРЕ, 2017. – №1. – С. 70 – 75.
48. Ротштейн А. П. Интеллектуальные технологии идентификации: нечеткие множества, генетические алгоритмы, нейронные сети [Текст] / А. П. Ротштейн. – Винница : УНИВЕРСУМ, 1999. – 320 с.
49. Пурський О. І. Задача ідентифікації математичних моделей функціонування експертних систем управління на основі нечіткої логіки [Текст] / О. І. Пурський // Управління розвитком складних систем. – 2011. – Вип. 6. – С. 120–123.
50. Парфененко Ю. В. Моделі та інформаційна технологія підтримки прийняття рішень при управлінні теплозабезпеченням об'єктів соціально-бюджетної сфери : автореф. дис. на здобуття наук. ступеня канд. техн. наук : спец. 05.13.06 / Парфененко Юлія Вікторівна – Харків, 2016. – 22 с.
51. Окопний Р. П. Пристрій збирання і передачі даних функціонування теплової мережі [Текст] / Р. П. Окопний, Ю. В. Парфененко //



Радіоелектроніка і молодь в ХХІ столітті : 16-й міжнародний молодіжний форум., 17–19 квітня 2012 р. : тези доп. – Х., 2012. – Т. 2. – С. 105–106.

52. Окопний Р. П. Архітектура автоматизованої підсистеми збирання даних теплоспоживання будівлі [Текст] / Р. П. Окопний, Ю. В. Парфененко // Матеріали третьої міжнародної конференції студентів і молодих науковців "Сучасні інформаційні технології 2013", м. Одеса, 25-26 квітня 2013 р. – Одеса : ТЕС, 2013. –С. 161–162.

53. Shendryk, V., Nenia, V., Aleksenko, O., Parfenenko, Yu. (2017), "Information supporting of decision making for energymanagement in district heating", *Renewable and Alternative Energy: Optimum Decision Making in Asset Management*, Chapter 14, pp. 310-333, DOI: 10.4018/978-1-5225-0651-5.ch014.

54. Пріоритети Національної стратегії теплозабезпечення населених пунктів України [Текст] / Патон Б., Долинський А., Геєць В., Кухар В., Басок Б., Базеев Є., Подолець Р. // Вісн. НАН України. – 2014. – № 9. – С. 33–37.

55. Любчик Л. М. Інформаційні технології статистичного комп'ютерного моніторингу якості побутового теплопостачання [Текст] / Л. М. Любчик, Г.Л. Грінберг // Інформаційні технології в освіті, науці та виробництві. – 2012. – Вип. 1 (1). – С. 71–76.

56. Jouko E. Pakanen. A Web-Based Information System For Diagnosing, Servicing And Operating Heating Systems [Electronic resource] / Jouko E. Pakanen, Veli J. Möttönen, Mikko J. Huytinen, Heikki A. Ruonansuu, Kaija K. Törmäkangas // *The Journal of Information Technology in Construction*. – 2001 – Vol. 6 – Pp. 45 – 56. – Available at: <http://www.itcon.org/2001/4/paper.pdf>.

57. Богатырев В. Е. Проблемно-ориентированная система мониторинга с использованием технологии виртуальной реальности [Электронный ресурс] / В. Е. Богатырев, М. В. Четвергова // *Современные проблемы науки и образования*. – 2012. – № 2. – Режим доступа: [www.science-education.ru/102-5637](http://www.science-education.ru/102-5637).

58. Пахомов П. И. Технология поддержки принятия решений при управлении инженерными коммуникациями / П.И. Пахомов, В.А. Немтинов. – М : Машиностроение, 2009. – 124 с.
59. Ратушняк О.Г. Управління змістом інноваційних проектів термомодернізації будівель : монографія / О. Г. Ратушняк – Вінниця : ВНТУ, 2010. – 128 с.
60. Бойко О.В. Моделі та інформаційна технологія планування енергозабезпечення будівель з використанням відновлювальних джерел енергії: автореф. дис. на здобуття наук. Ступеня канд. техн. наук: 05.13.06. Суми, 2017. 27 с.
61. On Defining and Assessing of the Energy Balance and Operational Logic within Hybrid Renewable Energy Systems / A. Pakštas, O. Shulyma, V. Shendryk.// Communications in Computer and Information Science. – 2016. – №639. – P 151-160.
62. Формалізація задачі прийняття рішень для вибору оптимальної структури гібридної енергетичної системи./ О. В. Шулима, В. В. Шендрик, П. Давідсон, // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – 2016. – №49. – С. 62-69.
63. Шулима О.В. Модель підтримки прийняття рішень при плануванні енергозабезпечення будівель з використанням альтернативних джерел енергії. [Текст] / О. В. Шулима, В. В. Шендрик, П. Давідсон // Математичне моделювання процесів в економіці і управлінні проектами та програмами (ММП – 2016): тези доповідей міжнародної науково-практичної конференції, Коблево, 13-16 вересня 2016. – Харків: ХНУРЕ, 2016. – С. 195-198.
64. Object Management Group. A standard Business Process Model and Notation (BPMN). URL: <http://www.bpmn.org/> (дата звернення 18.02.2017).
65. Hammer J. Garcia-Molina H., Cho J., Aranha, R. Crespo, A. Extracting Semistructured Information from the Web. Management of Semistructured Data: Proceedings of the Workshop, Tucson, USA, 16 May, 1997. New York: ACM. P. 18 – 25.

66. Khan M. J., Iqbal, M. T. Pre-feasibility study of stand-alone hybrid energy systems for applications in Newfoundland. *Renewable energy*. 2005. Vol. 30. P. 835-854.
67. Li C. H., Zhu X. J., Cao G. Y., Sui S., Hu, M. R. Dynamic modeling and sizing optimization of stand-alone photovoltaic power systems using hybrid energy storage technology. *Renewable energy*. 2009. Vol. 34. P. 815-826.
68. Samak T., Morin C., Bailey D. Short-term prediction of household electricity consumption: Assessing weather sensitivity in a Mediterranean area. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2007. Vol. 12. P. 2040–2065.
69. Barker S., Mishra A., Irwin, D., Cecchet E., Shenoy, P., Albrecht J. Smart\*: An Open Data Set and Tools for Enabling Research in Sustainable Homes. *Data Mining Applications in Sustainability: Proceedings of the 2012 Workshop, Beijing, China, 12 August, 2012*. New York: ACM. P. 111-117.
70. Щур І.З., Ковальчук А.І. Імітаційне моделювання роботи і техніко-економічна оцінка автономних контрроторних вітроелектроустановок різної потужності з трансформаторами із обертовою половиною. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2014. №3. С. 36–44.
71. Щур І.З., Климко В.І. Техніко-економічне обґрунтування параметрів гібридної вітро-сонячної системи для електропостачання окремого об'єкта. *Електромеханічні і енергозберігаючі системи*. 2014. № 2. С. 92-100.
72. Голик О.П., Жесан Р.В., Березюк І.А. Автоматизоване керування процесом автономного енергопостачання на основі вітро-сонячних установок та резервної електростанції. *Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України»*. 2011. № 117. – С. 54-57.
73. Angelis-Dimakis A., Biberacher M., Dominguez J. Methods and tools to evaluate the availability of renewable energy sources. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. 2011. Vol. 15. P. 1182–1200.

74. Артемчук Т.О. Ключові фактори успіху завдяки програмі трансформації енергетичної галузі. Економічний аналіз в управлінні діяльністю підприємств. 2016. №2. С. 65–70.
75. Гевко І.Б. Методи прийняття управлінських рішень: Підручник. Київ: Кондор, 2009. 187 с.
76. Чернов В.Г. Основы теории нечетких множеств. Решение задач многокритериального выбора альтернатив. Владимир: Владимирский государственный университет, 2005. 100 с.
77. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику. URL: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (дата звернення 18.02.2017).
78. M., Cellura M., Ardente D. Decision making in energy planning: the ELECTRE multicriteria analysis approach compared to a FUZZY-SETS methodology. Energy Conversion and Management. 1998. Vol. 39. P. 1869–1881.
79. Ахрем А. А., Ашинянц М. Р., Петров С. А. Нечеткий логический вывод в системе принятия решений. Труды ИСА РАН. 2007. №.29. С.265–275.
80. Беллман Р., Заде Л. Принятие решений в расплывчатых условиях. Москва: Мир, 1976. 215 с.
81. ДСТУ 2226-93. Автоматизовані системи. Терміни та визначення. [Чинний від 1994-07-01]. Вид. офіц. Київ: Держстандарт України, 1993. 32 с.

## ДОДАТОК А



Науково-виробниче підприємство  
**НАСОСТЕХКОМПЛЕКТ**  
 вул. 2-га Заводська, 1, м. Суми, 40022, Україна  
 тел. +38 (0542) 78-20-68, 78-20-70  
 www.ntk.net.ua, ntk@ntk.net.ua

## АКТ

Впровадження матеріалів дисертаційної роботи на здобуття вченого ступеня кандидата технічних наук співробітника Сумського державного університету Захарченко Вікторії Петрівни на тему «Моделі та інформаційна технологія організації процесу автоматизованого проектування машинобудування».

м. Суми

03 січня 2018 р.

Даним актом підтверджується те, що матеріал дисертаційної роботи Захарченко В.П. використані у пілотному проекті впровадження комплексу засобів автоматизації проектувальних робіт. Протягом 2017 року використання даного комплексу дозволило забезпечити скорочення строків виконання проектувальних робіт на 15...25%.

Директор



О.М. Гулий

## ДОДАТОК Б

Общество с ограниченной ответственностью  
**«КОНСТРУКТОРСКОЕ БЮРО  
 «УКРСПЕЦМАШ»**

Украина, 40007, г. Сумы,  
 ул. Кировоградская, 6  
 Тел. Факс (0542) 770-664,  
 771-108, 771-109  
 E-mail: [kbusm@utel.net.ua](mailto:kbusm@utel.net.ua)  
[www.kb-usm.com.ua](http://www.kb-usm.com.ua)

Вих. № 510 від 20.11.2017 р.

На Ваш № від 201 р

Про впровадження результатів наукових досліджень вчених Сумського держ. університету

Попередні результати експлуатації комплексу засобів автоматизації проектувальних робіт.

Підприємство ТОВ «КБ «УКРСПЕЦМАШ» з червня 2017 року використовує комплекс засобів автоматизації проектувальних робіт, розробка якого виконана на основі наступних наукових праць представників Сумського державного університету:

Захарченко В.П. Системне проектування інформаційної моделі проектної операції як елемента виробничого процесу / В.П. Захарченко, В.Г. Неня // Восточно-Европейский журнал перед. техн. – 2015. – Т. 1. – №. 3 (73). – С. 53-56.

Захарченко В.П. Розробка комплексного опису процесів діяльності в організації / В.П. Захарченко, В.Г. Неня, А.В. Марченко, Р.П. Окопний // Технологический аудит и резервы производства. – 2016. – Т. 4. – №. 2. – С. 25-32.

Zakharchenko V. Development of the system architecture for design works automation / V.Zakharchenko, V. Nenia // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2016. – Vol. 5. – №. 1 (83). – P. 20-26.

Захарченко В. П. Основи розробки систем автоматизації проектувальних робіт / В. П. Захарченко, В. Г. Неня, А. О. Криштоп // Молодий вчений. – 2017. – №1. – С. 45-50.

Zakharchenko V. Design automation systems. Prospects of development / V.Zakharchenko, A. Marchenko, V. Nenia // International Conference on Information and Software Technologies. – Springer International Publishing, 2017. – Vol. 756. – С. 326-339.

Серед позитивних сторін даної інформаційної технології слід відзначити наступне.

Незалежний від використовуваних засобів проектування спосіб опису структури об'єкту проектування. Зручним для керівника є показ критерію ходу виконання проектних процедур, обліку перевірок та контролю проектних рішень.

Зручним, і як виявилось необхідним, є автоматичний облік процесів виконання проектних процедур та їх аналіз за декількома формами представлення.

Програмне забезпечення комплексу самостійно реагує на зміни стану виконуваних проектів і не вимагає втручання у процес його функціонування. Вигідною стороною є той факт, що комплекс засновано на відкритих платформах і його використання не вимагає фінансових витрат.

Програмно-інформаційна частина комплексу налаштована так, що вимагає мінімального введення інформації, яка автоматично використовується на різних стадіях проходження проектних процедур і суттєво покращила оперативне управління проектуванням у нашій організації.

Супроводження комплексу не викликає незручностей наших працівників і затримок виконання ними виробничих завдань.

Директор,  
 ТОВ «КБ «УКРСПЕЦМАШ»



О.С. Чернов.

Система менеджмента качества соответствует требованиям международного стандарта ISO 9001:2008