

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет інформатики та обчислювальної техніки**  
(повна назва інституту/факультету)

**Кафедра автоматики та управління в технічних системах**  
(повна назва кафедри)

«На правах рукопису»  
УДК \_\_\_\_\_

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ (підпис)

\_\_\_\_\_ (ініціали, прізвище)

“ \_\_\_\_ ” \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**Магістерська дисертація**

зі спеціальності (спеціалізації) 126 Інформаційні системи та технології \_\_\_\_\_  
(код і назва спеціальності)

(Інтегровані інформаційні системи) \_\_\_\_\_

на тему: Нечітка модель енергоспоживання в тепличних комплексах \_\_\_\_\_

Виконав (-ла): студент (-ка) VI курсу, групи IA-72мп  
(шифр групи)

Звіряка Віталій Дмитрович \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Науковий керівник ст. викладач, Яланецький В.А. \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Консультант \_\_\_\_\_  
(назва розділу) \_\_\_\_\_ (науковий ступінь, вчене звання, прізвище, ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(посада, науковий ступінь, вчене звання, науковий ступінь, прізвище та ініціали)

\_\_\_\_\_ (підпис)

Засвідчую, що у цій магістерській дисертації  
немає запозичень з праць інших авторів без  
відповідних посилань.

Студент \_\_\_\_\_  
(підпис)

Київ – 2019 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет (інститут) Інформатики та обчислювальної техніки \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Кафедра Автоматики та управління в технічних системах \_\_\_\_\_  
(повна назва)

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) 126 Інформаційні системи та технології \_\_\_\_\_  
(код і назва)

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_  
(підпис) (ініціали, прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

**ЗАВДАННЯ**

**на магістерську дисертацію студенту**

Звіряці Віталію Дмитровичу \_\_\_\_\_  
(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема дисертації Нечітка модель енергоспоживання в тепличних комплексах  
науковий керівник дисертації Яланецький Валерій Анатолійович, ст. викл. ,  
(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_

2. Строк подання студентом дисертації 03.12.2019 р. \_\_\_\_\_

3. Об'єкт дослідження промисловий тепличний комплекс \_\_\_\_\_  
\_\_\_\_\_

4. Предмет дослідження (вихідні дані для магістерської дисертації за освітньо-професійною програмою) система прогнозування енергоспоживання, що будується на залежності від зовнішніх кліматичних умов \_\_\_\_\_

5. Перелік завдань, які потрібно розробити 1) система прогнозування енергоспоживання в тепличних комплексах; 2) розробити структурну схему системи енергоспоживання в тепличних комплексах 3) нечітка модель системи прогнозування енергоспоживання; 3) експериментальне прогнозування для різних кліматичних умов; 4) методи підвищення енергоефективності; 5) стартап-проект. \_\_\_\_\_

6. Орієнтовний перелік ілюстративного (графічного) матеріалу: \_\_\_\_\_  
 1) структурна схема системи прогнозування енергоспоживання в теплиці;  
 2) модель системи прогнозування енергоспоживання; 3) результати \_\_\_\_\_  
 тестування моделі, 4) схема альтернативних джерел енергоживлення. \_\_\_\_\_

7. Орієнтовний перелік публікацій Аналіз альтернативних джерел енергоживлення \_\_\_\_\_

8. Консультанти розділів дисертації\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв

9. Дата видачі завдання 23 жовтня 2019 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Строк виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1.	Огляд існуючого стану проблемної області	10.09.18 р.	
2.	Збір та аналіз фактичних матеріалів	20.10.18 р.	
3.	Розробка структурних схем	01.10.18 р.	
4.	Розробка моделі	10.10.19 р.	
5.	Тестування моделі	20.10.19 р.	
6.	Розробка стартап-проекту	01.11.19 р.	
7.	Оформлення графічної документації	10.11.19 р.	
8.	Оформлення текстової документації	20.11.19 р.	
9.	Подання магістерської дисертації до захисту	03.12.19 р.	

Студент

\_\_\_\_\_

(підпис)

В. Д. Звіряка

(ініціали, прізвище)

Науковий керівник дисертації

\_\_\_\_\_

(підпис)

В.А. Яланецький

(ініціали, прізвище)

\* Консультантом не може бути зазначено наукового керівника

## РЕФЕРАТ

Магістерська дисертація освітньо-кваліфікаційного рівня «магістр» на тему «Нечітка модель енергоспоживання в тепличних комплексах»: 111 с., 6 розділів, 29 таблиць, 32 рис., 41 джерело, 9 додатків.

Теплиці представляють собою одну з найскладніших, капіталомістких і трудомістких галузей сільського господарства, що функціонують цілий рік. Вирощування культур закритого ґрунту пов'язане з високими витратами на енергоресурси. Показник енерговитрат теплиці є вкрай важливим із точки зору комерційної доцільності виробництва тепличної продукції. Саме тому підвищення енергоефективності найчастіше є головною метою всіх тепличних комплексів.

Проблема підвищення енергоефективності тісно пов'язана з прогнозуванням споживання енергоресурсів, яке повинно бути своєчасним і надійним. Результати прогнозування є основою для формування ефективних управлінських рішень.

Метою дослідження є розробка підсистеми прогнозування енергоспоживання в системі управління мікрокліматом в теплиці, яка забезпечить можливість прогнозування енерговитрат по місяцях в залежності від регіону розташування тепличного комплексу, також короткочасне прогнозування енерговитрат з урахуванням прогнозів погоди на майбутній період.

В роботі розглянуто підсистеми управління мікрокліматом в теплиці. Розроблено систему прогнозування енергоспоживання з застосуванням математичного апарату нечітких множин і нечіткої логіки. Розглянуто засоби зменшення витрат на енергоносії шляхом впровадження в структуру тепличного комплексу систем альтернативного енергоживлення.

СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ, НЕЧІТКІ ЕКСПЕРТНІ СИСТЕМИ, СИСТЕМА НЕЧІТКОГО ЛОГІЧНОГО ВИВЕДЕННЯ, FUZZY LOGIC TOOLBOX, АЛЬТЕРНАТИВНЕ ЕНЕРГОЖИВЛЕННЯ

## ABSTRACT

Master's dissertation of the educational qualification level "Master" on the topic "Fuzzy model of energy consumption in greenhouse complexes": 111 p., 6 sections, 29 tables, 32 figures, 41 sources, 9 annexes.

Hothouses are one of the most complex, capital-intensive and labor-intensive sectors of agriculture, which operate all year round. The cultivation of closed crops involves high energy costs. Indicator of energy consumption in greenhouses is extremely important in terms of commercial expediency of greenhouse production. That is why increasing energy efficiency is often the main goal of all greenhouse complexes.

The problem of energy efficiency improvement is closely linked to the forecast of energy consumption, which should be timely and reliable. The results of forecasting are the basis for the formation of effective managerial decisions.

The purpose of the study is to develop a subsystems for forecasting energy consumption in the microclimate control system in the greenhouse, which will provide an opportunity to forecast energy consumption by months, depending on the location of the greenhouse complex, as well as short-term forecasting of energy consumption taking into account weather forecasts for the future period.

The paper deals with microclimate management subsystems in a greenhouse. A system for predicting energy consumption using a mathematical apparatus of fuzzy sets and fuzzy logic has been developed. Means of reducing energy costs by introducing alternative energy systems into the greenhouse complex are considered.

ENERGY FORECASTING SYSTEMS, FUZZY EXPERT SYSTEMS, FUZZY LOGIC TOOLBOX SYSTEM, ALTERNATIVE ENERGY

## ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ .....	9
ВСТУП.....	10
1 ТЕПЛИЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В ТЕПЛИЦЯХ .....	13
1.1 Підсистема опалення .....	14
1.2 Підсистема вентиляції .....	16
1.3 Підсистема зашторювання .....	18
1.4 Підсистема випарного охолодження і зволоження повітря.....	20
1.5 Підсистема додаткового освітлення.....	20
1.6 Підсистема поливу .....	23
1.6.1 Крапельний полив .....	23
1.6.2 Підтоплення .....	24
1.6.3 Дощування .....	24
1.6.4 Проточна технологія.....	25
1.6.5 Замкнутий цикл поливу.....	25
1.7 Висновки .....	26
2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ СИСТЕМ ПРОГНОЗУВАННЯ.....	28
2.1 Управління енерговитратами за показниками попиту на електроспоживання виробничих об'єктів з постійним характером електричних навантажень .....	28
2.2 Моделювання та програмне забезпечення прогнозування споживання електричної енергії об'єктами аеропорту .....	30
2.3 Висновки .....	33
3 НЕЧІТКІ ЕКСПЕРТНІ СИСТЕМИ.....	34
3.1 Нечіткі множини. Основні терміни та визначення.....	34
3.2 Основи нечіткого логічного виведення .....	38
3.3 Кількість вхідних змінних в нечіткої моделі .....	42
3.4 Кількість термів для лінгвістичної оцінки змінних.....	42
3.5 Кількість правил в базі знань .....	43
3.6 Функції приналежності крайніх термів .....	43

3.7 Висновки .....	44
4 СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В ТЕПЛИЦІ.....	45
4.1 Нечітка модель прогнозування.....	45
4.1.1 Лінгвістичні змінні.....	46
4.1.2 Нечітка база знань.....	47
4.1.3 Алгоритм прогнозування .....	51
4.2 Тестування моделі.....	52
4.3 Висновки .....	62
5 ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЕНЕРГОЖИВЛЕННЯ .....	63
5.1 Сонячна енергія.....	63
5.2 Енергія вітру .....	68
5.3 Теплові насоси .....	71
5.4 Геліосистеми.....	76
5.4.1 Сезонні геліосистеми.....	76
5.4.2 Цілорічні геліосистеми.....	77
5.4.3 Сонячний потенціал України для геліосистем .....	79
5.5 Розробка та опис схеми джерел альтернативного енергоживлення .....	81
5.6 Висновки .....	82
6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ.....	84
6.1 Опис ідеї проекту .....	84
6.2 Технологічний аудит ідеї проекту.....	86
6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	87
6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту .....	92
6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	96
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ .....	100
ДОДАТОК А.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ДОДАТОК Б.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ДОДАТОК В .....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ДОДАТОК Г.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>

ДОДАТОК Д.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ДОДАТОК Е.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ДОДАТОК Ж.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ДОДАТОК З.....	<b>Ошибка! Закладка не определена.</b>
ДОДАТОК К.....	103

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ,  
СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

АВР – Автоматичне введення резерву

АРМ – Автоматизоване робоче місце

ВЕУ – Вітроелектроустановка

НЛВТ – Натрієва лампа високого тиску

СЕС – Сонячна електростанція

ТК – Тепличний комплекс

ТНС – Теплонасосна станція

NFT– Nutrient film technique – Техніка поживної плівки

## ВСТУП

Рослинництво – провідна галузь сільського господарства України, на частку якого доводиться 70,3% в структурі валової продукції сільського господарства.

Згідно з офіційними даними, в 2016 році виробництво продукції закритого ґрунту в Україні склало 547 тис. тонн. За даними на 1 січня 2016 року в Україні загальна площа під тепличними комплексами становила – 4,5 тис. га. [1]

Кліматичні умови України дозволяють вирощувати овочі на відкритому ґрунті лише 4–6 місяців, хоча така продукція користується попитом серед покупців протягом усього року.

Таким чином, можна припустити подальше збільшення площ, зайнятих тепличними господарствами.

Теплиці представляють собою одну з найскладніших, капіталомістких і трудомістких галузей сільського господарства, що функціонують цілий рік.

Варто відзначити, що вирощування культур традиційно пов'язане з високими витратами на енергоресурси, а частка енергоресурсів у структурі собівартості може досягати 60–70%. На обігрів 1 га зимових теплиць витрачається в середньому понад 200 тонн умовного палива на рік.

За даними тепличних господарств, частка енергоносіїв в загальній структурі витрат промислових теплиць в першу чергу залежить від конструкції «холодного будиночка». У старих теплицях зі «скла і бетону», побудованих 20–30 років тому, на енергоносії йде від 45% до 80% всіх виробничих витрат тепличного комплексу. Сучасні конструкції знижують споживання енергії за рахунок скорочення її втрат до 20–40% в загальній структурі витрат тепличного комплексу. Фактично, показник енерговитрат теплиці є вкрай важливим заходом із точки зору комерційної доцільності виробництва тепличної продукції. Саме тому підвищення енергоефективності найчастіше є головною метою всіх тепличних комплексів. [2]

Енергоефективність – властивість різних технологій виробництва або системи в цілому, яка в свою чергу дає характеристичну міру використання спожитої електроенергії в цілому на одиницю нашого кінцевого товару. Енергоефективність

оцінюється за допомогою різних методів і показників, як кількісно (тонни умовного палива, кВт·год, кДж на одиницю кінцевого продукту), так і якісно (висока або ж низька). Збільшення енергоефективності добувається за допомогою реалізації системи цілеспрямованих на покращення організаційних і технічних заходів.

Проблема збільшення енергоефективності зв'язана з передбаченням використаних енергоресурсів, які в свою чергу повинні бути вчасними і вірними. Підсумок енергоспоживання є найголовнішим фактором для вирішення потреб управлінських рішень. Розроблення методів прогнозування в свою чергу дають нам змогу збільшити інформацію, зробити аналіз, виявити закономірності та тенденції споживання електроенергії. Висновки прогнозів енергоефективності можна застосовувати для пророцтва майбутніх ситуацій та турбот, які нуждаються як найскорішого вирішення. За допомогою висновків які були зроблені ми можемо зробити план для процвітання енергетичного господарства підприємств. Враховуючи той факт, що ціна на енергетику зростає ледве не кожен день постає завдання спрогнозувати енергоспоживання для того щоб була змога спланувати енерговитрати, тому це як ніколи є актуальним для всіх видів підприємств.

Для того щоб перевірити якість використаних енергоресурсів якісно використовувати ретроспективний метод, мається на увазі зробити прогноз за даними минулих періодів, а потім здійснити порівняння отриманих результатів з фактичними. Зазвичай таке порівняння роблять за середньою похибкою апроксимації. В свою якщо результати висновків порівняння дорівнюють заданим критеріям точності, то тоді такі методи прогнозу можна рекомендувати для вирішення прогнозів.

Метою дослідження є розробка системи прогнозування енергоспоживання в системі управління мікрокліматом в теплиці, яка забезпечить можливість прогнозування енерговитрат по місяцях в залежності від регіону розташування тепличного комплексу, також короткочасне прогнозування енерговитрат з урахуванням прогнозів погоди на майбутній період.

Об'єктом дослідження є промисловий тепличний комплекс для виробництва продукції закритого ґрунту.

Предмет дослідження. Система прогнозування енергоспоживання, що будується на залежності енерговитрат від зовнішніх кліматичних умов.

## 1 ТЕПЛИЧНІ КОМПЛЕКСИ ТА СИСТЕМИ УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В ТЕПЛИЦЯХ

Сучасні технології вирощування овочів, розсади, квітів і зеленних культур вимагають постійної підтримки певних режимів мікроклімату в теплицях.

Автоматизація систем управління мікрокліматом в захищеному ґрунті дозволяє економити 15–25% тепла при зростанні врожайності, поліпшення умов праці персоналу та підвищення загальної культури виробництва.

Сучасна теплиця як об'єкт управління температурним і вологісним режимами характеризується незадовільною динамікою і нестабільністю параметрів, що впливають з особливостей технології виробництва. У той же час агротехнічні норми зобов'язують дотримуватись високої точності стабілізації температури ( $\pm 1$  °C), своєчасної її зміни в залежності від рівня фотосинтетичного активного опромінення, фази розвитку рослин і часу доби. Всі ці обставини висувають високі вимоги до функціонування та технічного вдосконалення обладнання систем управління мікрокліматом в теплицях. [3]

Мікроклімат в теплицях визначає всі процеси формування рослин і одержання врожаю, починаючи з посіву до кінця плодоношення. Він створюється завдяки взаємодії всіх систем технологічного обладнання: опалення, вентиляції, охолодження і додаткового освітлення, також мікроклімат дає нам змогу отримати дозрівання врожаю, набагато швидше. [4]

Тепличні комплекси дають нам змогу також захистити наш врожай від погодних умов і шкідників., тому актуальність тепличних комплексів збільшується.

Розроблено структурну схему системи прогнозування енергоспоживання в теплиці, яку наведено на рисунку 1.1. Підсистема опалення, підсистема провітрювання і вентиляції, підсистема додаткового освітлення відносяться до енергоємних об'єктів, які мають нестабільні показники споживання і залежать від зовнішніх кліматичних умов. Безумовно, стан погоди за стінами теплиці безпосередньо впливає на процеси, що відбуваються всередині. Тому для оптимізації роботи автоматичних систем застосовують установки метеорологічного

контролю. Вони використовуються для того, щоб на основі їх даних можна було вносити необхідні корективи в роботу автоматичного управління. Наприклад, полив і регуляція температури повітря безпосередньо пов'язані з погодними умовами. Тому застосування даних про стан повітря зовні дозволяє не витратити енергію і час на додаткові заходи всередині теплиці. Можливість зберігання даних про погодні умови протягом року може значно допомогти в плануванні аграрних робіт на майбутнє.

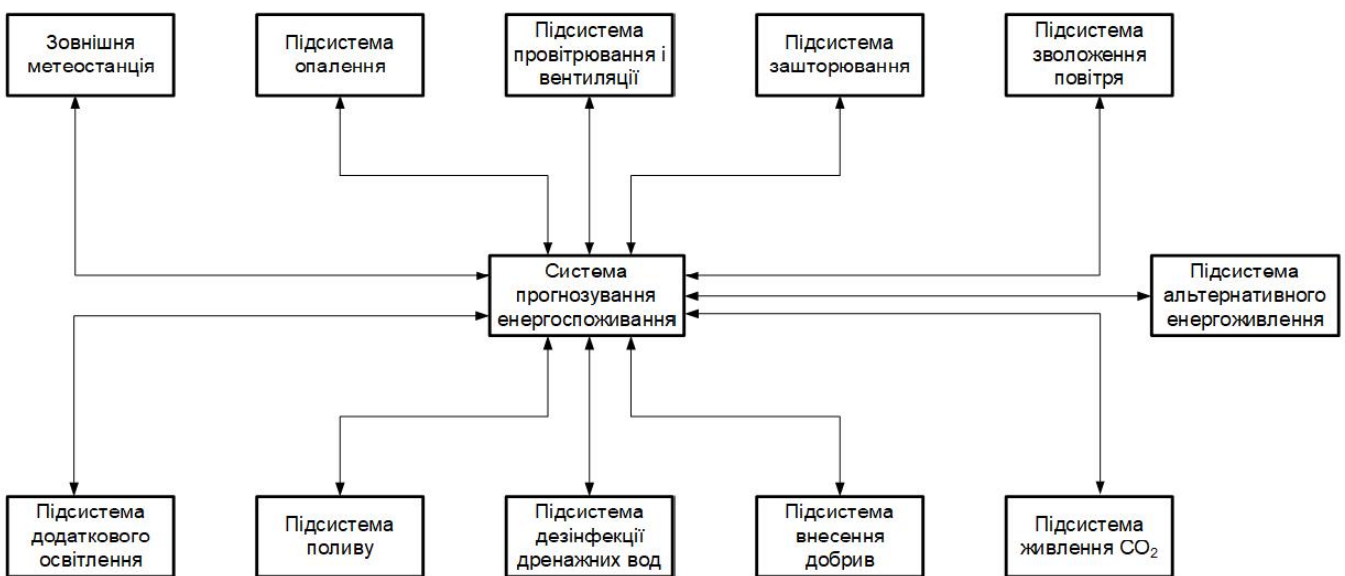


Рисунок 1.1 – Система прогнозування енергоспоживання в теплиці

### 1.1 Підсистема опалення

Температура є найважливішим методом для зростання і плодоношення рослин.

Бувають різні типи теплиць, в яких використовується найрізноманітніші види опалення. На сьогоднішній день в світі виділяють два найважливіших типи опалення: повітряний і водяний. В свою чергу повітряне застосовують в фермерських теплицях, а водяне використовують в промислових теплицях.

Опалення у промислових виробництвах реалізується за допомогою сталевих труб, по яким протікає гаряча вода, ця ж вода нагрівається в котельнях. Такий метод обігріву є найбільш зручним для промислових теплиць, він дає змогу зробити температуру рівномірною по всій території теплиць, який розмір теплиці неважливо. Це дає нам змогу створити найкращі умови для розвитку і росту рослин, рівномірні терміни виросту рослин, однаковий вид і відмінний врожай.

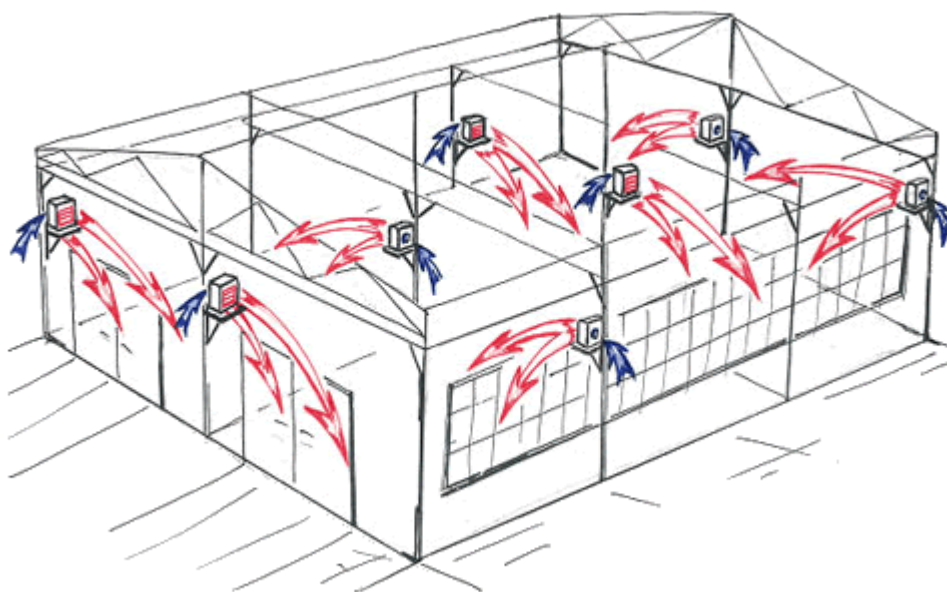


Рисунок 1.2 – Повітряне опалення теплиці [5]

Для використання енергії використовують різні види опалення:

- 1) вугілля
- 2) дрова
- 3) газ
- 4) мазут

Не враховуючи той факт, що існує великий вибір різних джерел тепла, найпопулярнішим сьогодні в світі є газ, в свою чергу він є найзручнішим і найпоширенішим паливом. Існує декілька причин. Найголовніша це те що при використанні газу виділяється вуглекислий газ, який є необхідним для фотосинтезу.

рослин. При використанні енергозберігаючих методів в теплицях, використання газу знижується, що свою чергу призводить виробництво до економії витрат вуглекислого газу, оскільки його непотрібно закуповувати.

Ще одна причина яка приваблює до використання газу, це низька вартість обладнання. Котли і інші установки опалення для промислових виробництв в рази дорожче газового обладнання.

Керування всіх зон опалення відбувається від центрального комп'ютера (АРМ) через контури обігріву. Кількість контурів і їх вид підпорядковуються кліматичним умовам і методам вирощування рослин. Основні контури підсистеми опалення:

1) підлотковий обігрів: цей контур використовується для підтоплення снігу, який накопичується над лотком; сніг, що розтанув, відводиться через систему зливової каналізації;

2) шатровий обігрів: цей контур застосовується як додаткове джерело тепла в верхній частині теплиці;

3) підстелажний обігрів: застосовується для обігріву стелажних систем;

4) труборельсовий обігрів: це основний контур, який використовується для подачі тепла в теплицю;

5) «труба зростання», тобто опалення в зоні росту рослин: цей контур гріє біля коріння рослин для видалення зайвої вологи, яка може привести до захворювання рослин.

## 1.2 Підсистема вентиляції

Потрапляння повітря, газообмін в тепличних комплексах відграють важливу роль для росту і розвитку рослин. Для того щоб рослини були здорові потрібно забезпечувати їхню тканину і корінь вуглекислим газом, киснем і оберігати їх водяних пар.

Напрямок і швидкість повітря, температура, вологість є з найважливіших показників клімату. Якщо повітря не доходить до рослин, є можливість отримати порушення газообміну, що в свою чергу може призвести до послаблення фотосинтезу. Обмежена транспірація рослин виникає внаслідок невиданих водяних пар. Рекомендована швидкість повітря в тепличних комплексах складає 0,3-0,5 м/с.

Підсистема вентиляції складається з фрамут (вентиляційних вікон). Вентиляційні вікна відкривають і закриваються за допомогою рейкового механізму. Розробка механізму відчинення і закриття вентиляційних вікон призводить до одночасного підйому або закриття по всьому периметру провітрювання.

В тепличних комплексах площа вентиляційних вікон дорівнює до 35% площі теплиця, яка призводить до потрапляння необхідного обсягу повітря. Максимальний кут підйому вентиляційних вікон складає до 55 градусів і розмір проходу повітря автоматично вибирається в залежності від погодних умов навколишнього середовища.

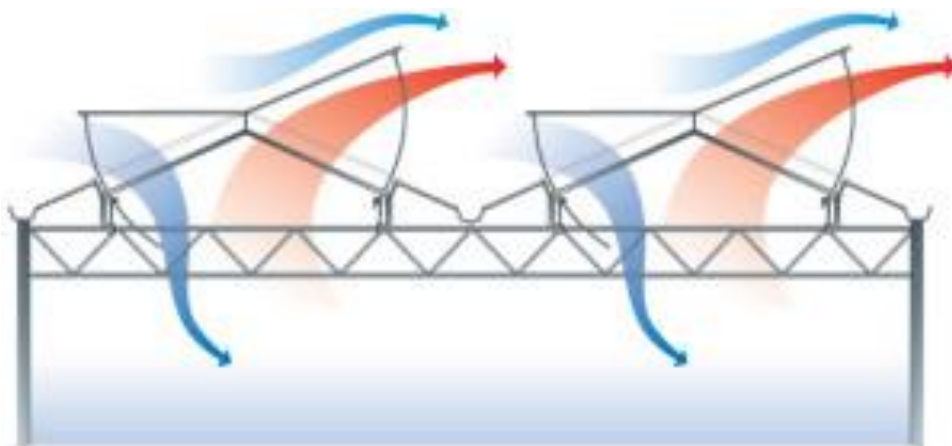


Рисунок 1.3 – Рух повітря через вентиляційні фрамуги [6]

Після того як повітря потрапило в тепличний комплекс, його потрібно рівномірно розділити по всьому периметру.

Для таких моментів використовують циркуляцію повітря, циркуляція необхідна, для рівномірного поділу температурних полів. Завдяки осьовим вентиляторів виникає циркуляція, вони розташовується під тепличними комплексами, їхню швидкість можливо відрегулювати.

### 1.3 Підсистема зашторювання

Літом ми отримуємо багато сонячних променів світла. Отже в літку нам потрібно захищати рослини, якщо їх не оберігати то фотосинтез і інші процеси розвитку рослин зупиняються. Як тільки температура повітря і поверхні тканин рослин стає вищою за допустимий рівень, виконується процес охолодження рослин, завдяки спожитій воді. В такому випадку рослини працюють не на те щоб розвиватися, а на те щоб зберегти себе. У цьому випадку рослини працюють не на те, щоб плодоносити, а щоб вижити.

Для того щоб рослини могли якісно розвиватися використовують ряд необхідних процесів, одним із них є підсистема зашторювання, яка в свою чергу теж відіграє важливу роль в сучасному тепличному комплексі. Ще ця система може називатися екрануванням.

Для будь-яких видів культур на етапах вегетації потрібно звести до мінімум попадання сонячних променів і теплого повітря. В свою чергу це дуже важливо для рослин які розмножуються і для тих яких тільки що посадили.

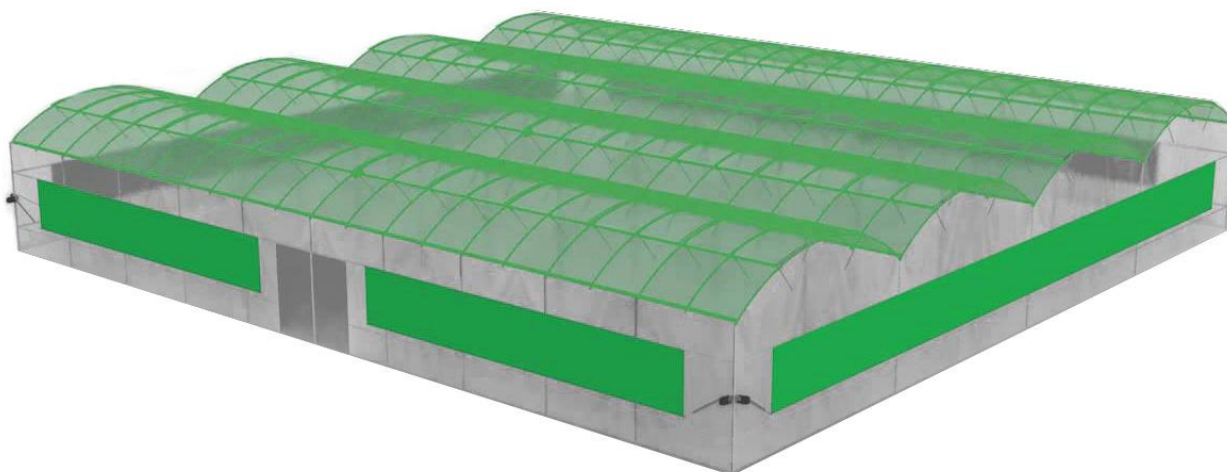


Рисунок 1.4 – Підсистема зашторювання [7]

Зашторювання забезпечує:

- 1) оптимальні погодні умови не зважаючи на час: підсистема дає змогу зробити затінення і розподілення рівномірного світла; вона дозволяє зберегти тепло в тепличному комплексі, покращити кліматичні умови для рослин і заощадити енергію;
- 2) зменшення небезпеки опіку рослин: розсіювання сонячних променів дає змогу зменшити температуру рослин;
- 3) пропорційний розвиток: всі рослини мають рівномірну кількість світла, за допомогою екранів, сонячне світло розсіюється рівномірно на поверхні і всередині рослин, пришвидшуючи їх виріст і розвиток здорової та однорідної продукції;
- 4) зниження температурних коливань: тепло зберігається в нутрі при низькій температурі за межами комплексу (у нічний час), це дає змогу зберегти енергію.

#### 1.4 Підсистема випарного охолодження і зволоження повітря

Підсистема випарного охолодження і зволоження повітря використовується разом з підсистемою зашторювання, для того щоб була змога знизити температуру повітря в літню пору. Підсистема випарного охолодження і зволоження також ще називається «туманоутворенням»

Цю підсистему «туманоутворення» використовують для отримання вологості повітря з ціллю зберегти активний мікроклімат. Вона включає в себе насос високого тиску і систему трубопроводів з форсунками, які дають змогу створити дрібний розпил краплин (діаметр таких краплин складає менше 10 мкм). Випаровуючи вологу з повітря, ми збільшуємо відносну вологість повітря, яка в свою чергу дає нам змогу отримати якісну транспірацію рослин, гарний розвиток, ріст і врожайність продукції. [4]

#### 1.5 Підсистема додаткового освітлення

Підсистема додаткового освітлення застосовують для того щоб отримати продовження світлового дня. Ця підсистема дає змогу замінити сонячні промені для рослин.

Кількість отриманого світла визначає темп розвитку рослин. Якщо світла бракує, то істотно знижується швидкість розвитку рослин в зимову, весняну і осінню пору, коли світло в день стає коротким, а сонячна радіація яка утворюється природою – низькою.

Зазвичай коли настає осіння і зимова пора в тепличних комплексах нічого не вирощують.

На сьогоднішній день є декілька видів ламп, що дають змогу отримати додаткове освітлення. Основними видами ламп є: натрієві, світлодіодні, металлогенні, люмінесцентні, лампи розжарювання і ртутні високого тиску. Тип і їх

потужність залежить від розміру висоти тепличного комплексу і виду вирощувальної культури.

Популярними лампами для вирощування рослин є натрієві і світлодіодні.

Щоб отримати швидкий ріст і розвиток рослин, потрібно дотримуватися таких факторів: сумарну потужність світильників і їх спектральний склад.

Залежно від кількості випромінювальних кольорів (наприклад, жовтого, зеленого або блакитного) можна отримати стимуляцію різних вегетативних процесів рослин. Слід акцентувати, що для більшості рослин багато світла ніколи не буває; в той же час як мінімум існує і для різних культур вона різна.

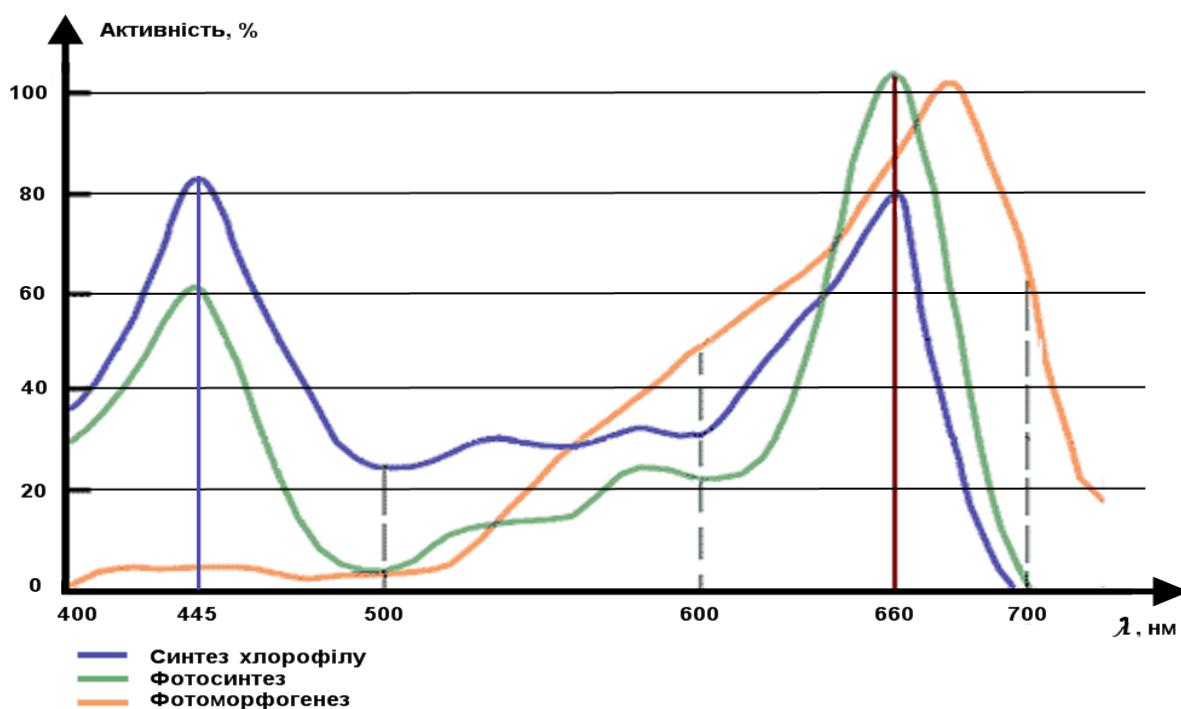


Рисунок 1.5 – Вплив спектру світла на зростання рослин [8]

У тепличних комплексах використовують натрієві лампи високого тиску (НЛВТ).

Переваги натрієвих ламп високого тиску:

1) ціна: вартість таких ламп є ключовим фактором при виборі між ними і світлодіодними лампами;

2) великий спектр випромінювання: ці світильники є універсальними для різних рослин за своїм спектральним складом;

3) ККД в таких лампах є досить високим;

4) перевагою для тепличних комплексів є виділення тепла. Все залежить від інтенсивності освітлення, світильники виробляють від 3 °С до 15 °С тепла. Ця перевага дає змогу зменшити витрати на опалення.

Мінуси таких ламп в порівнянні зі світлодіодними лампами:

1) термін використання лампи становить близько 10000 годин. Приблизно цього вистачить на 3 роки. Коли термін використання вичерпався лампи втрачають свою ефективність і їх потрібно замінювати.

2) доставка таких ламп істотно впливає на поточні витрати підприємства.

Використання світлодіодних світильників в тепличних комплексах є найкращим на сьогоднішній день, оскільки вони споживаються менше енергії порівняно з НЛВТ, а їх термін служби в рази більший, приблизно 50000 годин, це десь 15 років використання.

Головним недоліком таких ламп є висока вартість, але враховуючи те що вони споживають мало енергії і їх термін служби довгий, це є найперспективніший варіант для використання. Є деякий компроміс в використанні світлодіодних ламп. Виражається він у розподілу вирощування і тенденцій застосування цих ламп. При вирощуванні рослин, які потребують низький рівень освітленості, використовують додаткове освітлення в тепличних господарствах за допомогою світлодіодних ламп. На сьогоднішній день кращий результат демонструють тепличні комплекси які використовують світлодіодне освітлення. Використання світлодіодних також популярне для розвитку інших видів рослинництва. Для вирощування яких застосовують систему додаткового освітлення «Інтерлайт». Принцип «Інтерлайт» заключається в тому, щоб надати два рівня освітленості:

1) класичне розміщення для верхівок рослин, щоб рослина мала змогу зростати догори.

2) біля коріння рослин. Світлодіоди в свою чергу надають тепло у кореневу зону, що призводить до теплоти кореня і розвитку рослини.

При виборі ламп потрібно врахувати, що для різних тепличних комплексів необхідно враховувати різний спектр. Майже для більшості рослин вже винайшли універсальні спектри, які виготовлені різними виробниками. Для овочів, салату і зелені виготовлені спектри, які підходять під кожний вид індивідуально.

## 1.6 Підсистема поливу

Вода має важливу роль в процесі розвитку і в охолодженні рослин.

Якщо підсистема поливу вірно спроектована, то кожна крапля використовується за призначенням. Для повноцінного росту рослин, потрібна пропорційна кількість води і добрив, які в свою чергу використовуються часто і в тому об'ємі в якому є можливість забезпечити якісний урожай без лишніх витрат.

В тепличних комплексах використовують автоматичні технології поливу, серед яких основними є:

- крапельний полив;
- підтоплення;
- дощування;
- проточна.

### 1.6.1 Крапельний полив

Найпопулярнішим методом поливу є крапельний полив. Крапельний полив використовується – для всіх культур, які виростають в тепличних комплексах і в будь-якій кількості.

Крапельний полив є універсальним методом, який дає найголовніше – забезпечення всіх видів рослини рівномірною кількістю води.

Крапельний полив забезпечує рослини необхідною кількістю води з певним набором елементів живлення які поступають до кореневої системи рослини.

Це надає рівномірний харчовий і водно-повітряний режим. Завдяки воді збільшується врожайність, зменшуються витрати води і добрив, це все свою чергу захищає рослини від захворювання і зменшення ризиків їх поширення.

Використовуючи технологію крапельного поливу в агропромисловому виробництві надає рівномірного планування поливу рослин протягом всієї доби, а також захист від впливу зовнішніх факторів навколишнього середовища. У розвинених тепличних комплексах використовують автоматизований і комп'ютеризований полив.

### 1.6.2 Підтоплення

Підтоплення застосовується для рослин які вирощуються на гідропонних столах або бетонній підлозі. Принцип такого метода полягає в тому, що столи або бетонна підлога заповнюється водою на деякий проміжок часу. Це надає змогу рослини поглинути ту кількість води, скільки вони в цьому потребують, після деякого часу вода потрапляє в дренажну систему.

В даному методі рослини розміщуються в лотках, в горщиках або просто на стелажах. Поживний розчин для рослин по системі подачі живильного розчину пропорційно поступає на пластикові стелажі знизу. Після певного часу, живильний розчин який залишився в системі, йде на «злив».

Вода надходить на підтоплення завдяки насосу, який в свою чергу підключений до таймера. Коли таймер виходить він відключає насос, вода зворотнім струмом повертається в ємність з живильним розчином.

### 1.6.3 Дощування

Розсада з самого початку не має розвинену кореневу систему і вона не має змогу самостійно поглинати воду своїм корінням. Тому розсаду поливають

дощуванням. Це найбільш стандартний метод для молодих рослин, яка виконує найголовніше завдання – забезпечення всіх рослин рівномірною кількістю води.

Полив дощуванням закладається в надходженні води на так званий гідропонний стіл у вигляді маленьких крапель штучного дощу, який створюється спеціальними форсунками. Маленький дощ відбувається саме за рахунок розбризкування води з форсунок, забезпечуючи пропорційний полив рослин. Залежно від того яка теплиця і спланованість агрокультур можна використовувати стаціонарні спринклери, які пересуваються по довжині столу вирощування. Безперечно, мобільні спринклери зручніші у використанні, тому що вони надають змогу вирощувати розсаду різного терміну і поливати в будь-який час.

#### 1.6.4 Проточна технологія

Метод поливу проточною технологією аналогічний методу підтоплення, але в цьому методі не використовується таймер.

Проточна технологія має постійний потік поживного розчину. Він поступає в лоток безперебійно і тече по кореневій системі рослин. Саме ж коріння рослин вільно розташовується в лотку, а потік води має змогу регулюватися, щоб була можливість утворитися водяній плівці. Поживний розчин безперебійно циркулює тонким шаром, від чого й назва: NFT – Nutrient Film Technique – Техніка Поживної Плівки.

#### 1.6.5 Замкнутий цикл поливу

Замкнутий цикл означає, що дренажна вода яка невживана рослинами збирається, очищається і після очищення має змогу використовуватися повторно.

Замкнутий цикл поливу в тепличних комплексах використовується зрідка, оскільки цей цикл потребує високих інвестицій. Зазвичай дренажна вода зливається в каналізацію, але якщо потрібно то цю дренажну воду використовувати повторно.

Незасвоений дренаж рослинами стікає по підземним трубам в колектор, а потім в ємність яка накопичує неочищений дренаж, розташований в сервісному блоці. Зібрана дренажна вода надає змогу повторно використати 30-40% живильного розчину, який подається на поливання. Після того як дренаж зібраний відбувається процес очищення і дезінфекцію. Залежно від того які рослини вирощуються, використовують два види дезінфекції: термічна і ультрафіолетова. Термодезінфекція застосовується для кокосового субстрату, а ультрафіолетове очищення – для мінеральної вати. Після того як відбувся процес очищення, дренаж в автоматичному режимі додається до чистої води. Після цього вона знову поступає до рослин. Частина живильного розчину засвоюється, а частина яка не засвоїлась потрапляє в дренаж.

## 1.7 Висновки

Розроблено структурну схему системи прогнозування енергоспоживання в теплиці. Розглянуто основні підсистеми, що використовуються для підтримки мікроклімату в теплицях для забезпечення технологічних умов зростання урожаю та їх принцип роботи.

Система прогнозування енергоспоживання в теплиці забезпечує наступні функції:

- контроль і відображення поточних значень всіх основних параметрів мікроклімату в теплиці;
- контроль зовнішніх кліматичних параметрів за даними метеостанції: температура повітря, швидкість вітру, напрямок вітру, наявність опадів, сонячна інсоляція (освітленість);
- управління комплексом систем: обігріву, вентиляції, зашторювання, рециркуляції повітря для забезпечення заданих параметрів мікроклімату в теплиці;
- можливість дистанційного керування всіма виконавчими механізмами систем;

– архівне дослідження основних етапів технологічного процесу та використання цих даних для прогнозування і прийняття технологічних і управлінських рішень.

## 2 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ СИСТЕМ ПРОГНОЗУВАННЯ

### 2.1 Управління енерговитратами за показниками попиту на електроспоживання виробничих об'єктів з постійним характером електричних навантажень

Розглянуто роботу, яка присвячена управлінню споживанням електричної енергії виробничими об'єктами промислових підприємств з високою енергоємністю і постійним графіком електричних навантажень. В роботі пропонується класифікація електроспоживаючих об'єктів промислового підприємства за кількома показниками попиту, на основі якої обґрунтовується можливість і відносна простота управління попитом на електроспоживання для об'єктів з постійним характером електричних навантажень. Для цієї категорії електроспоживаючих об'єктів запропонована методика і алгоритм цінозалежного управління попитом, основою яких є зіставлення можливостей скорочення обсягів електроспоживання промисловими об'єктами в рамках короткочасних періодів, і найбільш сприятливих з точки зору скорочення витрат тимчасових інтервалів в рамках оптового і роздрібного ринків електроенергії. Крім того, в роботі продемонстровано можливість інтеграції розробленого підходу з елементами інтелектуального управління електроспоживанням Smart grid.

Запропонована класифікація електроспоживаючих об'єктів за показниками попиту на електроспоживання:

- 1) по вкладу в загальний попит на електроспоживання підприємства:
  - зі значним внеском у загальний попит на електроспоживання;
  - із середнім внеском в загальний попит на електроспоживання;
  - з незначним внеском у загальний попит на електроспоживання;
- 2) за інтенсивністю електричних навантажень:
  - з рідкісним навантаженням;
  - з періодичним навантаженням;

- з постійним навантаженням;
- 3) за типом виконуваних функцій:
  - основні виробничі об'єкти;
  - допоміжні виробничі об'єкти;
  - невиробничі об'єкти;
- 4) за ступенем впливу на графіки роботи суміжних виробничих об'єктів:
  - з високим ступенем впливу на суміжні виробничі об'єкти;
  - з помірним ступенем впливу на суміжні виробничі об'єкти;
  - об'єкти, що не роблять впливу на суміжні виробничі об'єкти;
- 5) за рівнем можливих відхилень режимів роботи об'єкта від планових параметрів:
  - з можливістю істотних відхилень від планових режимів роботи;
  - з можливістю невеликих відхилень від планових режимів роботи;
  - без можливості відхилень від планових режимів роботи.

Алгоритм управління попитом електроспоживаючих об'єктів з постійним графіком електричних навантажень:

- 1) визначення планових режимів роботи обладнання в базових умовах;
- 2) визначення можливих часових інтервалів скорочення електричного навантаження і величини допустимого скорочення;
- 3) прогнозування параметрів енергоринку: для цінозалежного управління електроспоживанням на промислових підприємствах потрібна інформація про цінові індикатори оптового і роздрібного ринку електроенергії;
- 4) визначення годин доби сприятливих для зниження навантаження електроспоживання на базі прогнозних параметрів енергоринку; на основі результатів прогнозу параметрів енергоринку визначаються планові діапазони годин доби, в які слід знижувати навантаження електроспоживання з метою мінімізації витрат на його оплату; прогнозування необхідно виконувати для кожної доби місяця окремо;

5) аналіз і зіставлення можливостей зниження навантаження електроспоживання та рекомендованих діапазонів годин управління, що враховують характеристики енергоринку: в результаті розробляються рекомендації щодо зміни рівня електричних навантажень об'єкта електроспоживання.

б) експертний аналіз і коригування планових графіків роботи устаткування з урахуванням розроблених рекомендацій;

7) контроль за виконанням розкладу, коригування.

Економічний ефект від застосування розробленої методики може становити від 10-50% від витрат на електроспоживання об'єкта управління. [9]

## 2.2 Моделювання та програмне забезпечення прогнозування споживання електричної енергії об'єктами аеропорту

У широкому розумінні поняття якості прогнозу охоплює всі основні характеристики, такі як надійність, ймовірність і точність. Якість прогнозу у вузькому розумінні визначається ступенем стійкого розвитку об'єкту за траєкторіями, які визначаються прогнозом.

Методи моделювання передбачають побудову досить складної моделі майбутнього функціонування об'єкту прогнозування. Як вихідну інформацію тут використовують як дані про тенденції розвитку об'єктів, що прогнозуються, так і думки експертів про можливі майбутні способи й результати розвитку прогнозованої галузі. При цьому створюються умови застосування формального апарату математичної логіки, теорії графів, матричного аналізу.

Якісне прогнозування електроспоживання для авіапідприємств і аеропортів надає наступні переваги:

- зниження штрафів за недостатню, або надлишкову оцінку прогнозування споживання електричної енергії на майбутній період;
- зменшення розриву між запланованими та фактичними значеннями обсягу електричної енергії;
- підвищення рівня якості управління електропостачанням;

- гнучкого вирішення задач, пов'язаних з економією електричної енергії;
- обґрунтованого розподілу лімітів потужності у системі електропостачання між споживачами.

Техніко-економічні показники роботи споживачів підрозділів аеропорту залежать від великої кількості різних факторів. Характерною рисою економічної інформації є її ймовірнісний характер. Об'єктивний вибір факторів та точність їх значень залежать від кваліфікаційного рівня фахівців щодо об'єкту, який аналізується. Тому будь-який показник має задаватися принаймні двома величинами: математичним очікуванням і дисперсією. Наявність середньоквадратичної помилки спричиняє появу зони невизначеності у вихідній інформації і, як наслідок цього, у результатах проектно-планових рішень. Від якості прогнозування на рівні підприємств залежить величина собівартості їх продукції, а отже, і показники ефективності їх роботи.

Процес електроспоживання є складним випадковим нестационарним процесом, який може бути представлений декількома регулярними та нерегулярними (випадковими) величинами. Методом моделювання енергоспоживання, як випадкового нестационарного процесу, є декомпозиція початкового процесу на регулярну і нерегулярну складові. Нерегулярна складова характеризує випадкову непрогнозовану частину споживання та ймовірні відхилення фактичних значень енергоспоживання. Визначення виду і параметрів прогнозуючої моделі виконується шляхом апроксимації відомих значень енергоспоживання на ретроспективному інтервалі часу та на інтервалі випередження.

Споживачі електричної енергії аеропортів відрізняються різноманітністю. Це освітлювальні, нагрівальні установки, електродвигуни та радіоапаратура, система автоматики та обчислювальні машини, різноманітне технологічне устаткування тощо. Всі вони мають різні потужності, режими роботи, категорії і висувають різні вимоги до якості електроенергії. Найбільш наочно змінний характер потужності, споживаної аеропортом і окремими його об'єктами, спостерігається на графіках навантаження. Тому для прогнозування витрат електроенергії підрозділів аеропорту пропонується використання ймовірнісного підходу.

На етапі статистичного аналізу та побудови емпіричної моделі процесу електроспоживання – здійснюється повномасштабна статистична обробка даних електроспоживання, яка включає взаємопов'язані процедури. Дані процедури дозволяють упорядковувати інформацію, виявляти в динаміці і наочно представляти об'єкти з аномальним електроспоживанням, ефективно здійснювати прогнозування електроспоживання окремими об'єктами та всім комплексом в цілому.

На етапі аналізу електроспоживання за спеціально розробленими формами запиту здійснюється збір даних про споживачів електроенергії. Це дозволяє отримати розгорнуту картину електроспоживання, виявити об'єкти, які забезпечуються електроенергією з порушенням існуючих організаційно-технічних вимог, підготувати електронну базу даних для багатофакторного аналізу.

В роботі розроблено програмний комплекс ймовірнісного прогнозування із застосуванням фреймворку YiiFramework.

В програму вводиться наступна інформація:

- встановлена потужність споживача електричної енергії;
- розклад роботи споживача;
- ймовірність включення електроспоживача в даний період часу.

Для вказаного періоду часу визначається:

- максимально можливе значення активної потужності на одиницю часу;
- середнє значення потужності;
- значення коефіцієнту навантаження для оцінювання ступеню нерівномірності добового графіка;
- значення коефіцієнту максимуму активної потужності.

Коефіцієнт максимуму активної потужності є інтегральною характеристикою добової нерівномірності навантаження електричної мережі. Чим він більше, тим гірше використовується електротехнічне обладнання (провідники, трансформатори).

Для підприємств з роботою за змінами коефіцієнт навантаження і коефіцієнт максимуму активної потужності розраховуються для найбільш завантаженої зміни.

За добовими графіками будують річні графіки навантаження, на яких відображається тривалість роботи кожного типу навантаження протягом року. Це дозволить окрім проведення якісного прогнозування, надати можливість регулювання режимів роботи обладнання та виявлення пікових навантажень.

Впродовж доби обчислюються й прогнозуються поточні відхилення фактичних значень споживання електричної енергії від середнього графіка. Щоденний аналіз і наступні узагальнюючі дослідження форми добового графіка споживання електричної енергії дають змогу диспетчерському персоналу більш детально досліджувати причини та характер будь-яких змін у добових графіках.

На основі результатів прогнозування проводиться розроблення нормування питомих витрат електричної енергії на основні види діяльності аеропорту. [10]

## 2.3 Висновки

В результаті огляду існуючих рішень в даній області, було розглянуто багато варіантів. Кожен з них певним чином частково вирішує поставлену задачу. Багато рішень як зовнішніх, так і українських розробників пропонують застосовувати математичний апарат теорії ймовірностей і статистики. Ці методи працюють, але суттєвим недоліком є необхідність точної формалізації об'єкта дослідження, оскільки не завжди можливо це забезпечити. Також є розробки з використанням штучних нейронних мереж для задач прогнозування споживання енергоресурсів. Нейронні мережі використовують для вирішення складних, погано формалізованих задач. Проте необхідна велика кількість ретроспективних даних для навчання такої системи для того щоб забезпечити обрану точність.

Безпосередньо не було виявлено готових рішень, які повністю відповідають поставленим вимогам.

### 3 НЕЧІТКІ ЕКСПЕРТНІ СИСТЕМИ

#### 3.1 Нечіткі множини. Основні терміни та визначення

Визначення 1. Нечіткою множиною  $\tilde{A}$  на універсальній множині  $U$  називається сукупність пар  $(\mu_A(u), u)$ , де  $\mu_A(u)$  – ступінь належності елемента  $u \in U$  до нечіткої множини  $\tilde{A}$ . Ступінь належності знаходиться в діапазоні  $[0, 1]$ . Чим вище ступінь належності, тим більшою мірою елемент універсальної множини відповідає властивостям нечіткої множини.

Визначення 2. Функцією належності називається така функція, яка дозволяє обчислити ступінь належності довільного елемента універсальної множини до нечіткої множини.

Якщо універсальна множина складається з кінцевого числа елементів

$$U = \{u_1, u_2, \dots, u_n\},$$

тоді нечітка множина  $\tilde{A}$  записується в вигляді

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i) / u_i$$

У випадку неперервної множини  $U$  використовують таке позначення:

$$\tilde{A} = \int_U \mu_A(u) / u$$

Знаки  $\Sigma$  та  $\int$  в цих формулах означають сукупність пар  $\mu_A(u)$  та  $u$ .

Визначення 3. Лінгвістичною змінною називається така змінна, значення якої є слова та словосполучення деякої природної чи штучної мови.

Визначення 4. Терм-множиною називається множина усіх можливих значень лінгвістичної змінної.

Визначення 5. Термом називається елемент терм-множини. В теорії нечітких множин терм задається функцією належності.

Визначення 6. Нечіткою базою знань про вплив факторів  $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  на значення параметра  $y$  називається сукупність логічних висловлювань типу:

$$\begin{array}{l} \text{Якщо } x_1 = a_1^{j1} \quad \text{та } x_2 = a_2^{j1} \quad \text{та } \dots \quad \text{та } x_n = a_n^{j1}, \quad \text{або} \\ x_1 = a_1^{j2} \quad \text{та } x_2 = a_2^{j2} \quad \text{та } \dots \quad \text{та } x_n = a_n^{j2}, \quad \text{або} \\ x_1 = a_1^{jk_j} \quad \text{та } x_2 = a_2^{jk_j} \quad \text{та } \dots \quad \text{та } x_n = a_n^{jk_j}, \\ \text{то } y = b_j \quad \quad \quad j = \overline{1, m}, \end{array}$$

де  $a_i^{jp}$  – лінгвістичний терм, що оцінює значення фактора  $x_i$  в  $p$ -ій диз'юнкції  $j$ -го логічного висловлювання ( $j = \overline{1, m}$ ,  $p = \overline{1, k_j}$ ,  $i = \overline{1, n}$ );

$k_j$  – число диз'юнкцій (або) в  $j$ -му логічному висловлюванні.

За допомогою операцій  $\cup$ («АБО») і  $\cap$ («І») систему логічних висловлювань з визначення 6 перепишемо в більш компактному вигляді:

$$\bigcup_{p=1}^{k_j} \left[ \bigcap_{i=1}^n (x_i = a_i^{jp}) \right] \longrightarrow y = b_j, \quad j = \overline{1, m}.$$

Визначення 7. Нечітким логічним висновком називається апроксимація залежності  $y = f(x_1, x_2, \dots, x_n)$  за допомогою нечіткої бази знань та операцій над нечіткими множинами.

Для виконання нечітких логічних висновків необхідно знати нечіткі відношення.

Визначення 8. Нечітким відношенням  $R$  на множині  $U$  називається підмножина декартового добутку  $U \times U$ , яка характеризується функцією належності

$$\mu_R: U \times U \rightarrow [0, 1]$$

Значення  $\mu_R(x, y)$  цієї функції є суб'єктивною мірою виконання відношення  $xRy$  ( $x, y \in U$ ).

Якщо множина  $U$  – дискретна і кінцева, тобто  $U = \{u_1, u_2, \dots, u_k\}$ , то функція належності  $\mu_R$  може бути задана матрицею  $R$  розміром  $k \times k$ . Рівність  $\mu$  елемента  $r_{ij}$  матриці  $R$  означає, що ступінь виконання відношення  $x_i R x_j$  дорівнює  $\mu$ .

Визначення 9. Декартовим добутком нечітких множин

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i) / u_i \quad \text{та} \quad \tilde{B} = \sum_{j=1}^k \mu_B(v_j) / v_j$$

називається нечітка множина  $C$ , що визначається за формулою:

$$\tilde{C} = \tilde{A} \times \tilde{B} = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^k \min(\mu_A(u_i), \mu_B(v_j)) / (u_i, v_j)$$

Визначення 10. Мах-мін композицією нечіткої множини

$$\tilde{A} = \sum_{i=1}^n \mu_A(u_i) / u_i$$

та нечіткого відношення

$$\tilde{R} = \sum_{j=1}^k \sum_{i=1}^n \mu_R(v_j, u_i) / (v_j, u_i)$$

називається нечітка множина  $\tilde{D}$ , що визначається за формулою:

$$\tilde{D} = \tilde{A} \circ \tilde{R} = \sum_{j=1}^k \max_{i=1, n} \frac{\min(\mu_A(u_i), \mu_R(v_j, u_i))}{v_j}$$

Визначення 11. Дефазифікацією (від англ. defuzzification) називається процедура перетворення нечіткої множини в чітке число.

В теорії нечітких множин процедура дефазифікації аналогічна знаходженню характеристик положення (математичного очікування, моди, медіани) випадкових величин в теорії ймовірності.

В пакеті MatLab запрограмовані такі методи дефазифікації [11]:

- 1) centroid – центр тяжіння;
- 2) bisector – медіана;
- 3) lom – найбільший з максимумів;
- 4) som – найменший з максимумів;
- 5) mom – середній з максимумів.

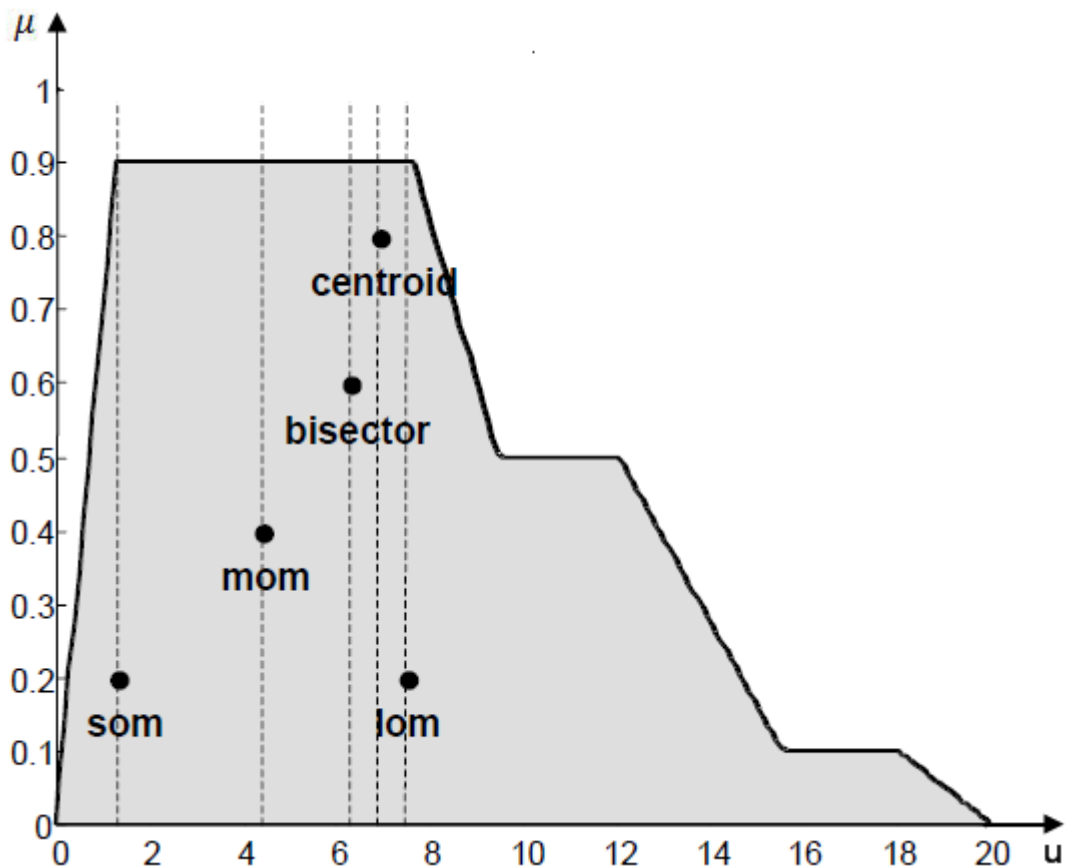


Рисунок 3.1 – Дефазифікація за різними методами [11]

### 3.2 Основи нечіткого логічного виведення

Логіко-лінгвістичні методи опису систем засновані на тому, що поведінка досліджуваної системи описується природною (або близькою до природної) мовою в термінах лінгвістичних змінних. Вхідні і вихідні параметри системи розглядаються як лінгвістичні змінні, а якісний опис процесу задається сукупністю висловлювань:

$$\begin{aligned} L_1 \text{ якщо } A_{11} \text{ і/або } A_{12} \text{ і/або } \dots \text{ і/або } A_{1m}, \text{ то } B_{11} \text{ і/або } \dots \text{ і/або } B_{1n}, \\ L_2 \text{ якщо } A_{21} \text{ і/або } A_{22} \text{ і/або } \dots \text{ і/або } A_{2m}, \text{ то } B_{21} \text{ і/або } \dots \text{ і/або } B_{2n}, \\ \vdots \\ L_k \text{ якщо } A_{k1} \text{ і/або } A_{k2} \text{ і/або } \dots \text{ і/або } A_{km}, \text{ то } B_{k1} \text{ і/або } \dots \text{ і/або } B_{kn}, \end{aligned}$$

де  $A_{ij}$ ;  $i=1,2, \dots, k$ ;  $j=1,2, \dots, m$  – нечіткі висловлювання, визначені на значеннях вхідних лінгвістичних змінних,

$B_{ij}$ ;  $i=1,2, \dots, k$ ;  $j=1,2, \dots, n$  – нечіткі висловлювання, визначені на значеннях вихідних лінгвістичних змінних.

Ця сукупність правил носить назву нечіткої бази знань.

Подібні обчислення складають основу нечітких експертних систем. Кожна нечітка експертна система використовує нечіткі ствердження і правила. Потім за допомогою операторів обчислення диз'юнкції і кон'юнкції опис системи можна привести до виду:

$$\begin{aligned} L_1: \text{ якщо } A_1, \text{ то } B_1, \\ L_2: \text{ якщо } A_2, \text{ то } B_2, \\ \vdots \\ L_k: \text{ якщо } A_k, \text{ то } B_k, \end{aligned}$$

де  $A_1, A_2, \dots, A_k$  – нечіткі множини, задані на декартовому добутку  $X$  універсальних множин вхідних лінгвістичних змінних,

$V_1, V_2, \dots, V_k$  – нечіткі множини, задані на декартовому добутку  $Y$  універсальних множин вихідних лінгвістичних змінних.

Перевага даної моделі – в її універсальності. Неважливо, що саме на вході – конкретні числові значення або деяка невизначеність, що описана нечіткою множиною. Але за цю універсальність доводиться розплачуватися складністю системи – доводиться працювати в просторі розмірністю  $m \times n$ . Тому цією загальною моделлю на практиці користуються досить рідко. Зазвичай же використовують її спрощений варіант – нечітке виведення. Воно ґрунтується на припущенні, що всі вхідні лінгвістичні змінні мають відомі нам числові значення (як і буває досить часто на практиці). Також зазвичай не використовують більше однієї вихідної лінгвістичної змінної.

Нечітким логічним виведенням (fuzzy logic inference) називається апроксимація залежності  $Y = f(X_1, X_2, \dots, X_n)$  кожної вихідної лінгвістичної змінної від вхідних лінгвістичних змінних і отримання виведення у вигляді нечіткої множини, відповідної поточним значенням входів, з використанням нечіткої бази знань і нечітких операцій. Основу нечіткого логічного виведення становить композиційне правило Заде.

У загальному випадку нечітке виведення відбувається за три або чотири етапи:

1) етап фазифікації: за допомогою функцій належності всіх термів вхідних лінгвістичних змінних і на підставі чітких значень, які задано, з універсумів вхідних лінгвістичних змінних визначається ступінь впевненості в тому, що вихідна лінгвістична змінна набуває конкретного значення; цей ступінь впевненості є ордината точки перетину графіка функції належності терму і прямій  $x$ , що є чітким значенням лінгвістичної змінної;

2) етап безпосереднього нечіткого логічного виведення: на підставі набору правил – нечіткої бази знань – обчислюється значення істинності для передумови кожного правила на підставі конкретних нечітких операцій, відповідних кон'юнкції або диз'юнкції термів в лівій частині правил; у більшості випадків це або максимум, або мінімум зі ступенів упевненості термів, обчислених на етапі фазифікації, який застосовується до висновку кожного правила; використовуючи один із способів

побудови нечіткої імплікації, ми отримуємо нечітку змінну, відповідну обчисленому значенню ступеня впевненості в лівій частині правила і нечіткій множині в правій частині правила; зазвичай в якості висновку використовується мінімізація або правила продукції; при логічному висновку, що мінімізує, вихідна функція належності обмежена зверху відповідно до обчисленої ступенем істинності посилки правила (нечітке логічне «I»); у логічному виведенні з використанням продукції вихідна функція належності масштабується за допомогою обчисленого ступеня істинності передумови правила;

3) етап композиції (агрегації, акумуляції): всі нечіткі множини, визначені для кожного терма кожної вихідної лінгвістичної змінної, об'єднуються разом, і формується єдина нечітка множина – значення для кожної лінгвістичної змінної, зазвичай використовуються функції MAX або SUM;

4) етап дефазифікації (необов'язковий): використовується тоді, коли корисно перетворити нечіткий набір значень виведених лінгвістичних змінних до точних; є досить велика кількість методів переходу до точних значень; два приклади загальних методів – «метод повної інтерпретації» і «по максимуму»; у методі повної інтерпретації точне значення виведеної змінної обчислюється як значення центру ваги функції належності для нечіткого значення. у методі максимуму в якості точного значення виведеної змінної приймається максимальне значення функції належності.

В теорії нечітких множин процедура дефазифікації аналогічна знаходженню характеристик положення (математичного очікування, моди, медіани) випадкових величин в теорії ймовірності. Найпростішим способом виконання процедури дефазифікації є вибір чіткого числа, відповідного максимуму функції належності. Однак придатність цього способу поширюється лише на функції належності з одним екстремумом. Для функцій належності з багатьма екстремумами часто використовуються наступні методи дефазифікації:

1) COG (center of gravity) – центр ваги: фізичним аналогом цієї формули є знаходження центра ваги плоскої фігури, обмеженої осями координат і графіком функції належності нечіткої множини;

2) MOM (mean of maximums) – центр максимумів: при використанні методу центру максимумів потрібно знайти середнє арифметичне елементів універсальної множини, що мають максимальні ступені належності;

3) first maximum – перший максимум – максимум функції належності з найменшою абсцисою.

Функціональна схема процесу нечіткого виведення в спрощеному вигляді представлена на рисунку 3.1. На цій схемі виконання першого етапу нечіткого логічного виведення – фазифікації – здійснює фазифікатор. За процедуру безпосередньо нечіткого виведення відповідає машина нечіткого логічного виведення, яка здійснює другий етап процесу нечіткого виведення на підставі нечіткої бази знань (набору правил), а також етап композиції. Дефазифікатор виконує останній етап нечіткого логічного виведення – дефазифікацію. [12]

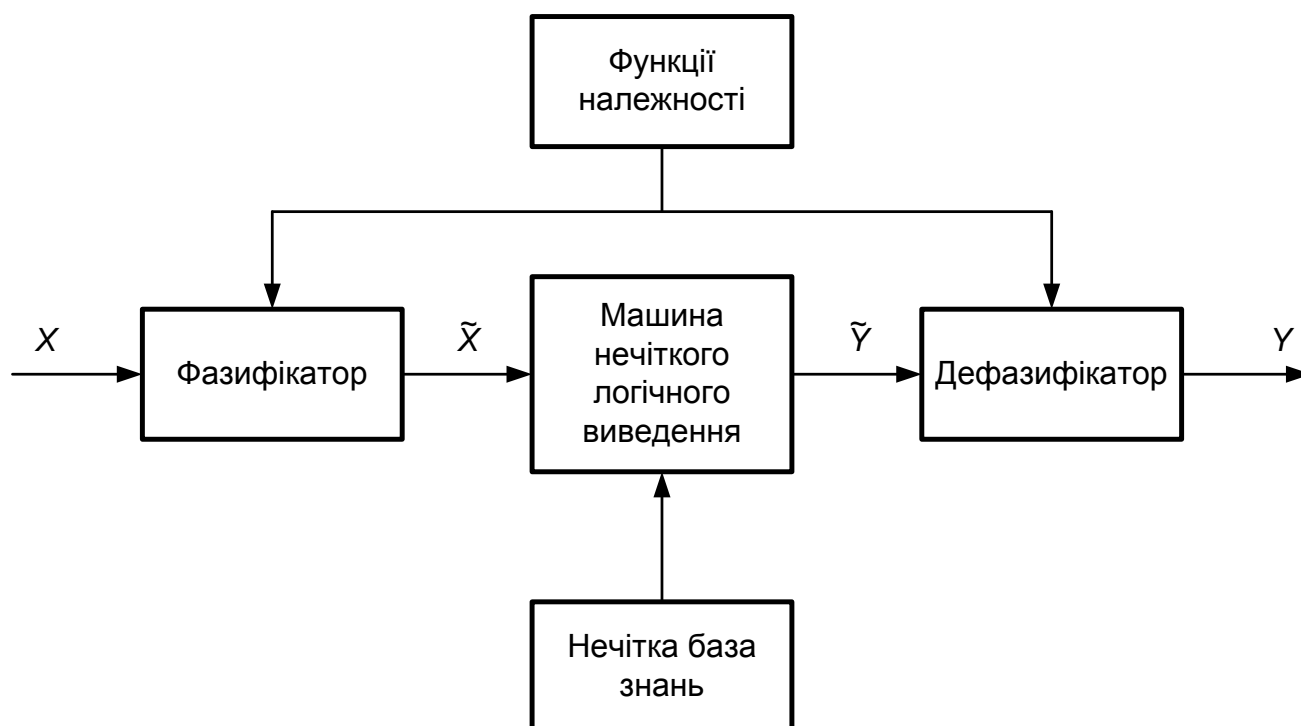


Рисунок 3.2 – Функціональна схема нечіткого логічного виведення

### 3.3 Кількість вхідних змінних в нечіткої моделі

У загальному випадку кількість вхідних змінних моделі визначається завданням, метою і використовуваними засобами моделювання. Основу нечіткої моделі складають формалізовані за допомогою теорії нечітких множин лінгвістичні висловлювання експертів. При роботі з такого роду вербальною інформацією корисно пам'ятати про правило "магічного числа"  $7 \pm 2$ . Це правило було встановлено в середині 50-х років групою психологів, які працюють під керівництвом Міллера на замовлення військово-морського флоту США. Згідно з цим правилом в оперативній пам'яті людини може одночасно утримуватися не більше  $7 \pm 2$  понять-ознак. Тому треба прагнути до того, щоб кількість вхідних змінних моделі не перевищувало "магічного числа"  $7 \pm 2$ .

Крім того, побудова адекватної моделі при великій кількості вхідних змінних вимагає великого обсягу бази знань, кількість правил в якій експоненціально зростає зі збільшенням входів моделі.

### 3.4 Кількість термів для лінгвістичної оцінки змінних

У загальному випадку кількість термів, необхідних для лінгвістичної оцінки визначається змістовної інтерпретацією змінної. Мінімальна кількість термів дорівнює двом. В цьому випадку ми приходимо до бінарної оцінки з нечіткими межами. Максимальна кількість термів для лінгвістичної оцінки однієї змінної має задовольняти правилу "магічного числа"  $7 \pm 2$ . Найбільш поширені трьох- і п'яти-елементні терм-множини, наприклад, { "низький", "середній", "високий" } і { "низький", "нижче середнього", "середній", "вище середнього", "високий" }.

### 3.5 Кількість правил в базі знань

Відмінною особливістю систем нечіткого логічного висновку є те, що для адекватного моделювання реальності може бути досягнуто при невеликій кількості правил в базі знань. Необхідна кількість правил зазвичай значно менше їх повного перебору:

$$N = I_1 \cdot I_2 \cdot \dots \cdot I_n,$$

де  $n$  - кількість вхідних змінних;

$I_i$  - потужність терм-множини для оцінки  $i$ -тій вхідної змінної.

При проектуванні бази знань необхідно дотримуватися наступних правил:

- має існувати хоча б одне правило для кожного терма вихідної змінної;
- для будь-якого терма вхідної змінної повинно існувати хоча б одне правило, в якому цей терм використовується в якості посилки;
- для довільного вектора вхідних змінних має існувати хоча б одне правило, ступінь виконання якого більше нуля. Іншими словами, правила бази знань повинні покривати всю предметну область.

### 3.6 Функції приналежності крайніх термів

Крайніми термами будемо називати перший і останній елементи лінійно впорядкованого за принципом від меншого до більшого терм-множини. Наприклад, для терм-множини { "Низький", "Середній", "Високий", "Дуже Високий"}, використовуваного для лінгвістичної оцінки зростання людини, крайніми термами є "Низький" і "Дуже високий". При формуванні функцій приналежності треба прагнути, щоб ступеня приладдя кордонів інтервалу крайнім термам були рівні одиниці. В цьому випадку виконується природне правило, що полягає в тому, що чим менше

(більше) значення змінної, тим більшою мірою воно відповідає крайньому терму "Низький" ( "Дуже Високий").

У разі, коли ступеня приладдя кордонів інтервалу крайнім термам не рівні одиниці (рисунок 4.1), можуть виникнути наступні неприємності:

- втрата прозорості нечіткої моделі. Так, для функцій приналежності, зображених на малюнку, незрозуміло чому людина з ростом 165 см має більш високу ступінь приналежності терму "Низький", ніж людина з ростом 160 см;
- отримання результатів логічного висновку, що суперечать здоровому глузду.

### 3.7 Висновки

Системи, засновані на нечітких множинах розроблені і успішно впроваджені в таких областях, як управління технологічними процесами, управління транспортом, медична діагностика, технічна діагностика, фінансовий менеджмент, біржове прогнозування, розпізнавання образів. Спектр додатків дуже широкий – від відеокамер і побутових пральних машин до засобів наведення ракет ППО і управління бойовими вертольотами.

Практичний досвід розробки систем за допомогою нечітких множин свідчить, що терміни і вартість їх проектування значно нижче, ніж при використанні традиційного математичного апарату, при цьому забезпечуються необхідні рівні якості. Це пояснюється тим, що [11]:

- 1) нечітка логіка дозволяє по знаннях експертів швидко розробити прототип технічного пристрою з подальшим ускладненням його функціональності;
- 2) модель на основі нечіткого логічного виведення простіше (простіше для розуміння), ніж аналогічна модель на диференціальних, різницевих чи інших рівняннях;
- 3) нечіткі моделі простіше реалізувати апаратно, при цьому можна виконувати обчислення паралельно.

## 4 СИСТЕМА ПРОГНОЗУВАННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ В ТЕПЛИЦІ

### 4.1 Нечітка модель прогнозування

Задача побудови системи прогнозування зводиться до пошуку функціонального відображення виду:

$$X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \rightarrow Y \in \{y_1, y_2, y_3, y_4, y_5\}, \quad (4.1)$$

де  $X$  – вектор факторів, що впливають на результат,

$Y$  – результат прогнозування енергоспоживання в теплиці. Оцінюється відносно розрахованого максимального рівня енергоспоживання для конкретної теплиці в визначеному кліматичному регіоні.

Зовнішні фактори, що мають найбільший вплив на мікроклімат в теплиці, а відповідно і на енергоспоживання тепличного комплексу:

$x_1$  – температура, °C;

$x_2$  – освітленість, тис. лк;

$x_3$  – швидкість вітру, м/с.

Нечітка модель представляє собою апроксимацію залежності «входи – вихід» на основі лінгвістичних висловлювань типу «якщо – то» і операцій нечіткого логічного висновку. [11, 12]

Для нечіткого моделювання залежності (4.1) необхідно:

- представити вхідні ( $x_1, x_2, x_3$ ) і вихідну ( $y$ ) змінні у вигляді лінгвістичних змінних;
- формалізувати у вигляді нечіткої бази знань експертні лінгвістичні висловлювання про взаємозв'язок входів і виходу.

Нечітке логічне виведення для системи прогнозування енергоспоживання реалізовано алгоритмом Мамдані.

#### 4.1.1 Лінгвістичні змінні

Для лінгвістичної оцінки вхідних і вихідної змінних використовуються терм-множини, які наведено в таблиці 4.1.

Формалізацію лінгвістичних термів здійснено за допомогою Гаусівської функції належності:

$$\mu^t(x) = e^{-\frac{(x-b)^2}{2c^2}}, \quad (4.2)$$

де  $\mu^t(x)$  – функція належності змінної  $x$  до терму  $t$ ;

$b$  – параметр функції належності, відповідний координаті максимуму ( $\mu^t(x) = 1$ );

$c$  – параметр стиснення-розтягнення функції належності.

Параметри функцій належності для кожного лінгвістичного терма наведені в таблиці 4.1.

Таблиця 4.1 – Терм-множини вхідних і вихідної змінних

Змінна	Терм-множини	Параметри функції належності	
		$c$ (параметр стиснення-розтягнення)	$b$ (координата максимуму)
	Низька (Low) – TL	6,903	– 25
	Нижче середнього (Below average) – TBA	6,903	– 8,75
	Середня (Average) – TA	6,903	7,5
	Вище середнього (Above average) – TAA	6,903	23,75
	Висока (High) – TH	6,903	40

Продовження таблиці 4.1

$x_2$ (Освітленість, тис. лк)	Ніч (Night) – LN	11,33	0
	Низька (Low) – LL	11,33	26,66
	Середня (Average) – LA	11,33	53,34
	Висока (High) – LH	11,33	80
	Низька (Low) – WL	2,123	0
	Середня (Average) – WA	2,123	5
	Висока (High) – WH	2,123	10
	Низьке (Low) – PL	10,62	0
	Нижче середнього (Below average) – PBA	10,62	25
	Середнє (Average) – PA	10,62	50
	Вище середнього (Above average) – PAA	10,62	75
	Високе (High) – PH	10,62	100

## 4.1.2 Нечітка база знань

Експертні лінгвістичні висловлювання, що відображають взаємозв'язок між факторами  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  і результатом прогнозування енергоспоживання  $y$ , представлені в таблиці 4.2. Кожен рядок таблиці відповідає одному правилу.

Таблиця 4.2 – Нечітка база знань

№	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y$
1	Висока	Висока	Висока	Низьке
2	Висока	Висока	Середня	Низьке
3	Висока	Висока	Низька	Низьке
4	Висока	Середня	Висока	Низьке
5	Висока	Середня	Середня	Низьке

Продовження таблиці 4.2

6	Висока	Середня	Низька	Низьке
7	Висока	Низька	Висока	Низьке
8	Висока	Низька	Середня	Низьке
9	Висока	Низька	Низька	Низьке
10	Висока	Ніч	Висока	Низьке
11	Висока	Ніч	Середня	Низьке
12	Висока	Ніч	Низька	Низьке
13	Вище середнього	Висока	Висока	Низьке
14	Вище середнього	Висока	Середня	Низьке
15	Вище середнього	Висока	Низька	Низьке
16	Вище середнього	Середня	Висока	Низьке
17	Вище середнього	Середня	Середня	Низьке
18	Вище середнього	Середня	Низька	Низьке
19	Вище середнього	Низька	Висока	Низьке
20	Вище середнього	Низька	Середня	Низьке
21	Вище середнього	Низька	Низька	Низьке
22	Вище середнього	Ніч	Висока	Низьке
23	Вище середнього	Ніч	Середня	Низьке
24	Вище середнього	Ніч	Низька	Низьке
25	Середня	Висока	Висока	Нижче середнього
26	Середня	Висока	Середня	Нижче середнього
27	Середня	Висока	Низька	Нижче середнього
28	Середня	Середня	Висока	Нижче середнього
29	Середня	Середня	Середня	Нижче середнього
30	Середня	Середня	Низька	Нижче середнього
31	Середня	Низька	Висока	Нижче середнього
32	Середня	Низька	Середня	Нижче середнього
33	Середня	Низька	Низька	Нижче середнього

Продовження таблиці 4.2

34	Середня	Ніч	Висока	Середнє
35	Середня	Ніч	Середня	Середнє
36	Середня	Ніч	Низька	Середнє
37	Нижче середнього	Висока	Висока	Середнє
38	Нижче середнього	Висока	Середня	Середнє
39	Нижче середнього	Висока	Низька	Середнє
40	Нижче середнього	Середня	Висока	Вище середнього
41	Нижче середнього	Середня	Середня	Вище середнього
42	Нижче середнього	Середня	Низька	Вище середнього
43	Нижче середнього	Низька	Висока	Високе
44	Нижче середнього	Низька	Середня	Високе
45	Нижче середнього	Низька	Низька	Вище середнього
46	Нижче середнього	Ніч	Висока	Високе
47	Нижче середнього	Ніч	Середня	Високе
48	Нижче середнього	Ніч	Низька	Вище середнього
49	Низька	Висока	Висока	Вище середнього
50	Низька	Висока	Середня	Вище середнього
51	Низька	Висока	Низька	Вище середнього
52	Низька	Середня	Висока	Високе
53	Низька	Середня	Середня	Високе
54	Низька	Середня	Низька	Високе
55	Низька	Низька	Висока	Високе
56	Низька	Низька	Середня	Високе
57	Низька	Низька	Низька	Високе
58	Низька	Ніч	Висока	Високе
59	Низька	Ніч	Середня	Високе
60	Низька	Ніч	Низька	Високе

Нечіткий логічний висновок прогнозування енергоспоживання теплиці здійснюється за такою системою нечітких логічних рівнянь:

$$\begin{aligned} \mu_{PL}(X) = & \mu_{TH}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \mu_{TH}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \\ & \mu_{TH}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \mu_{TH}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \\ & \mu_{TH}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \mu_{TH}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \\ & \mu_{TH}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \mu_{TH}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \\ & \mu_{TH}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \mu_{TH}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \\ & \mu_{TH}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \mu_{TH}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \\ & \mu_{TAA}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \mu_{TAA}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \\ & \mu_{TAA}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \mu_{TAA}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \\ & \mu_{TAA}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \mu_{TAA}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \\ & \mu_{TAA}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \mu_{TAA}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \\ & \mu_{TAA}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \mu_{TAA}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \\ & \mu_{TAA}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \mu_{TAA}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{PBA}(X) = & \mu_{TA}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \mu_{TA}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \\ & \mu_{TA}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \mu_{TA}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \\ & \mu_{TA}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \mu_{TA}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \\ & \mu_{TA}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \mu_{TA}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \\ & \mu_{TA}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{PA}(X) = & \mu_{TA}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \mu_{TA}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \\ & \mu_{TA}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \mu_{TBA}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \\ & \mu_{TBA}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \mu_{TBA}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \mu_{PAA}(X) = & \mu_{TBA}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \mu_{TBA}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \\ & \mu_{TBA}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \mu_{TBA}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \\ & \mu_{TBA}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \mu_{TL}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \\ & \mu_{TL}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \mu_{TL}(x_1) \wedge \mu_{LH}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
\mu_{PH}(X) = & \mu_{TBA}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \mu_{TBA}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \\
& \mu_{TBA}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \mu_{TBA}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \\
& \mu_{TL}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \mu_{TL}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \\
& \mu_{TL}(x_1) \wedge \mu_{LA}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \mu_{TL}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \\
& \mu_{TL}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \mu_{TL}(x_1) \wedge \mu_{LL}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3) \vee \\
& \mu_{TL}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WH}(x_3) \vee \mu_{TL}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WA}(x_3) \vee \\
& \mu_{TL}(x_1) \wedge \mu_{LN}(x_2) \wedge \mu_{WL}(x_3),
\end{aligned} \tag{4.3}$$

де  $\mu_A(x)$  – ступінь належності значення змінної до лінгвістичного терму А.

Наведена система логічних рівнянь отримана з бази знань (таблиця 4.2) шляхом заміни термів на функції належності і логічних операцій «І» та «АБО» на операції мінімуму ( $\wedge$ ) і максимуму ( $\vee$ ) відповідно.

#### 4.1.3 Алгоритм прогнозування

Прогнозування енергоспоживання в теплиці відбувається за наступним алгоритмом:

- 1) визначити значення факторів, що впливають  $X^* = (x_1^*, x_2^*, x_3^*)$ ;
- 2) обчислити ступень належності значень факторів, що впливають до нечітких термів з бази знань, наведеної в таблиці 4.2;
- 3) підставити значення, що знайдено на кроці 2, в систему нечітких логічних рівнянь (4.3) і визначити ступень належності рішення до термів «Низьке», «Нижче середнього», «Середнє», «Вище середнього», «Високе»;
- 4) визначити нечітку множину, яка є результатом об'єднання відповідних нечітких множин:

$$\tilde{y} = \bigcup_{q \in (PL, PBA, PA, PAA, PH)} \int_0^{100} \min(\mu_q(X^*), \mu_q) / y$$

5) провести дефазифікацію отриманої на попередньому кроці нечіткої множини з використанням методу центру ваги [8]:

$$y = \frac{\int_0^{100} y\mu_{\tilde{y}}(y)dy}{\int_0^{100} \mu_{\tilde{y}}(y)dy}$$

#### 4.2 Тестування моделі

Побудова моделі виконана з використанням інструментів Fuzzy Logic Toolbox.

Fuzzy Logic Toolbox – це пакет прикладних програм, що входять до складу програмного середовища MatLab. Він дозволяє створювати системи нечіткого логічного висновку і нечіткої класифікації в рамках середовища MatLab, з можливістю їх інтегрування в Simulink. Базовим поняттям Fuzzy Logic Toolbox є FIS-структура – система нечіткого виведення (Fuzzy Inference System). FIS-структура містить всі необхідні дані для реалізації функціонального відображення "входи-виходи" на основі нечіткого логічного висновку згідно зі схемою, що наведено на рисунку 3.1. [8]

Діапазон виміру температури навколишнього середовища від  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $40\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Діапазон виміру освітленості від 0 до 80000 лк.

Діапазон виміру швидкості вітру від 0 до 10 м/с.

Споживання енергії визначається в діапазоні від 0 до 100% відносно максимального розрахованого рівня енергоспоживання для конкретного тепличного комплексу з певними конструктивними особливостями, що розташований у певній кліматичній зоні.

Систему нечіткого логічного виведення представлено на рисунку 4.1.

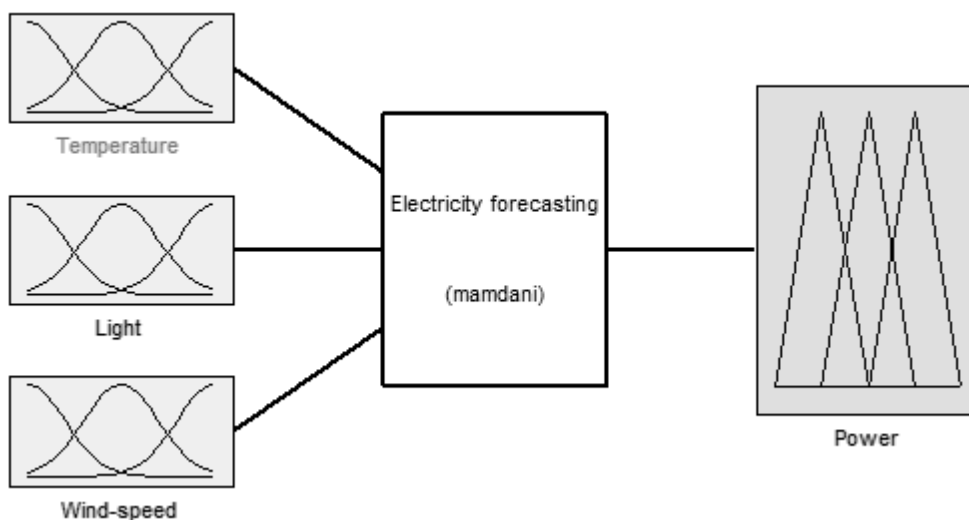


Рисунок 4.1 FIS-структура системи прогнозування енергоспоживання

З таблиці 4.1 маємо такі функції належності для вхідних і вихідної змінних (рисунок 4.2 – 4.5):

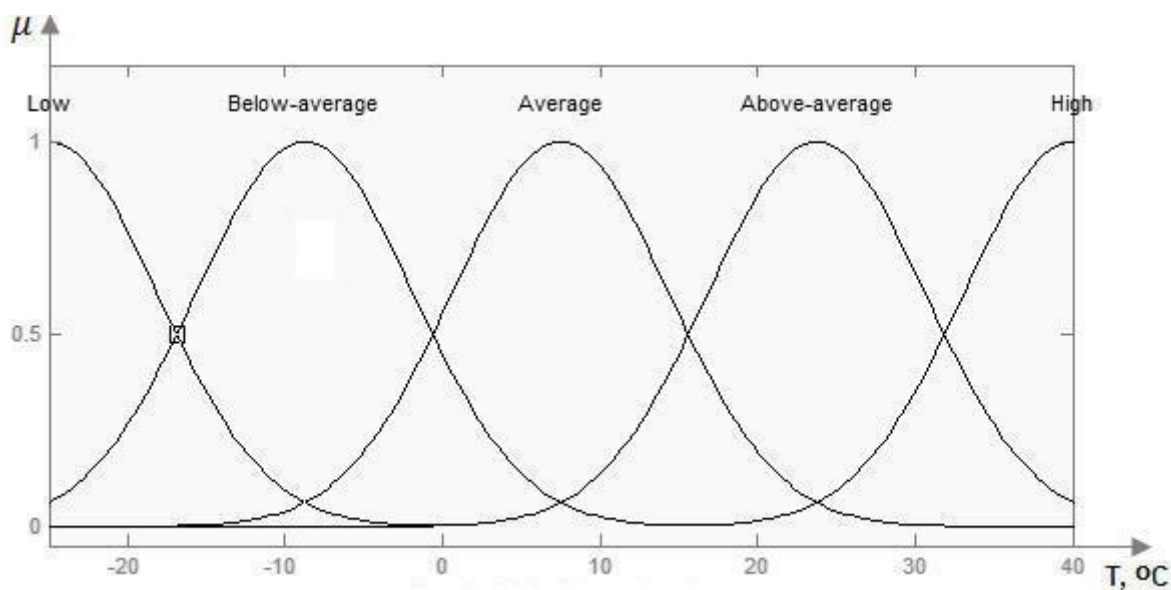


Рисунок 4.2 – Функції належності для вхідної змінної «Температура»

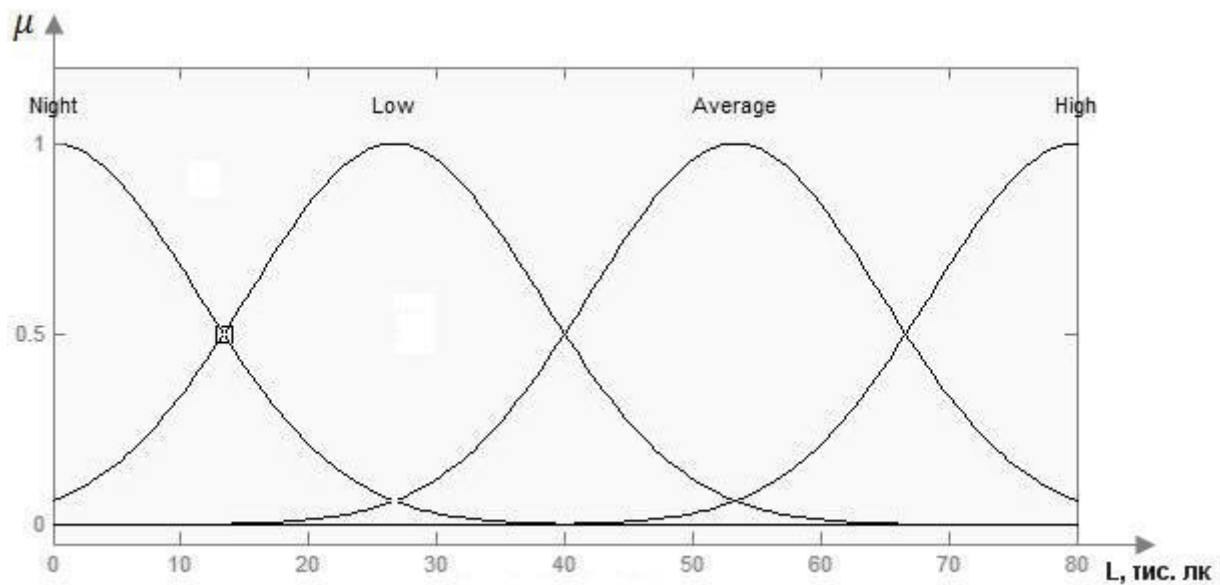


Рисунок 4.3 – Функції належності для вхідної змінної «Освітленість»

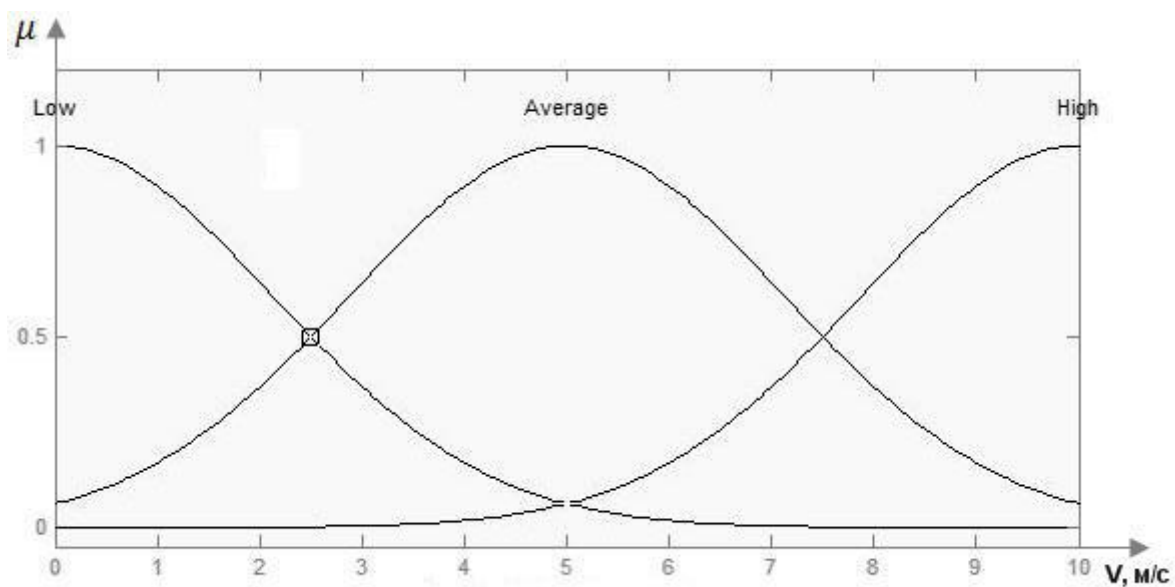


Рисунок 4.4 – Функції належності для вхідної змінної «Швидкість вітру»

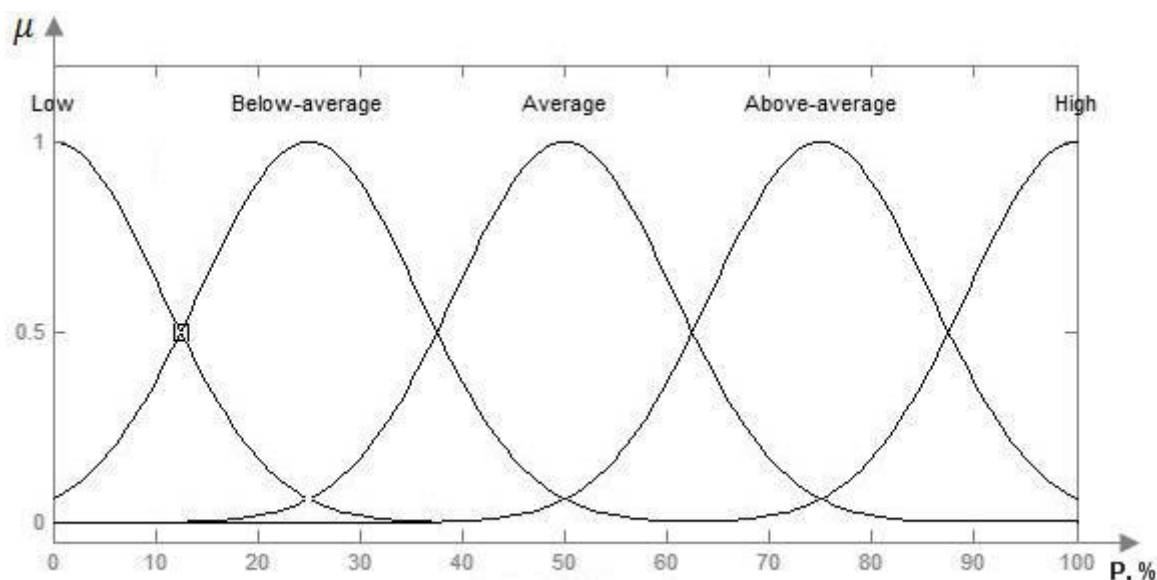


Рисунок 4.5 – Функції належності для вихідної змінної «Споживання енергії»

База знань в FIS-структурі Fuzzy Logic Toolbox повністю відповідає таблиці 4.2 і введена шляхом вибору відповідних комбінації термов в редакторі бази знань.

В таблицях 4.3, 4.5 наведено тестові дані, які було отримано з архівних записів метеослужби для обраного міста. Результати прогнозування наведено в таблицях 4.4 і 4.6. Місця обрані з урахуванням розташування двох найбільших тепличних комплексів України ОАО «Калиновський тепличний комбінат» і ЧАСП «Уманський тепличний комбінат» відповідно.

За результатами прогнозування побудовані графіки (рисунок 4.6 і 4.8) для більш наочного процесу зміни енерговитрат за місяцями.

Таблиця 4.3 – Тестові дані кліматичних умов м. Бровари, Київська область [13]

Місяць, рік	Т, °С			L, тис. лк	V, м/с
	Середня	Макс.	Мин.		
Січень 2018	-2,4	7,1	-12,7	5	2,6
Лютий 2018	-3,9	3,3	-16	2	2,4
Березень 2018	-1,8	8,9	-14,3	10	2,6
Квітень 2018	13,1	26	1,8	20	3,1

Продовження таблиці 4.3

Травень 2018	18,7	29,9	8,8	50	2,3
Червень 2018	20,6	29,3	9,5	40	2,4
Липень 2018	21,3	29,8	9,7	50	2,3
Серпень 2018	22,5	32	12,3	70	1,9
Вересень 2018	17,3	31,4	3,7	40	2,3
Жовтень 2018	10,7	23	2,8	20	1,9
Листопад 2018	0,2	11,5	-11,3	5	2,2
Грудень 2018	-2,1	3,2	-12,7	2	2,7

Таблиця 4.4 – Результати прогнозування споживання енергії в теплиці за тестовими даними кліматичних умов м. Бровари, Київська область

Місяць, рік	Р середня, %	Р макс., %	Р мін., %
Січень 2018	62	47	77
Лютий 2018	65	55	77
Березень 2018	57	41	78
Квітень 2018	31	14	46
Травень 2018	20	10	30
Червень 2018	18	11	29
Липень 2018	17	10	28
Серпень 2018	14	10	25
Вересень 2018	21	10	42
Жовтень 2018	32	20	43
Листопад 2018	58	43	75
Грудень 2018	64	55	77

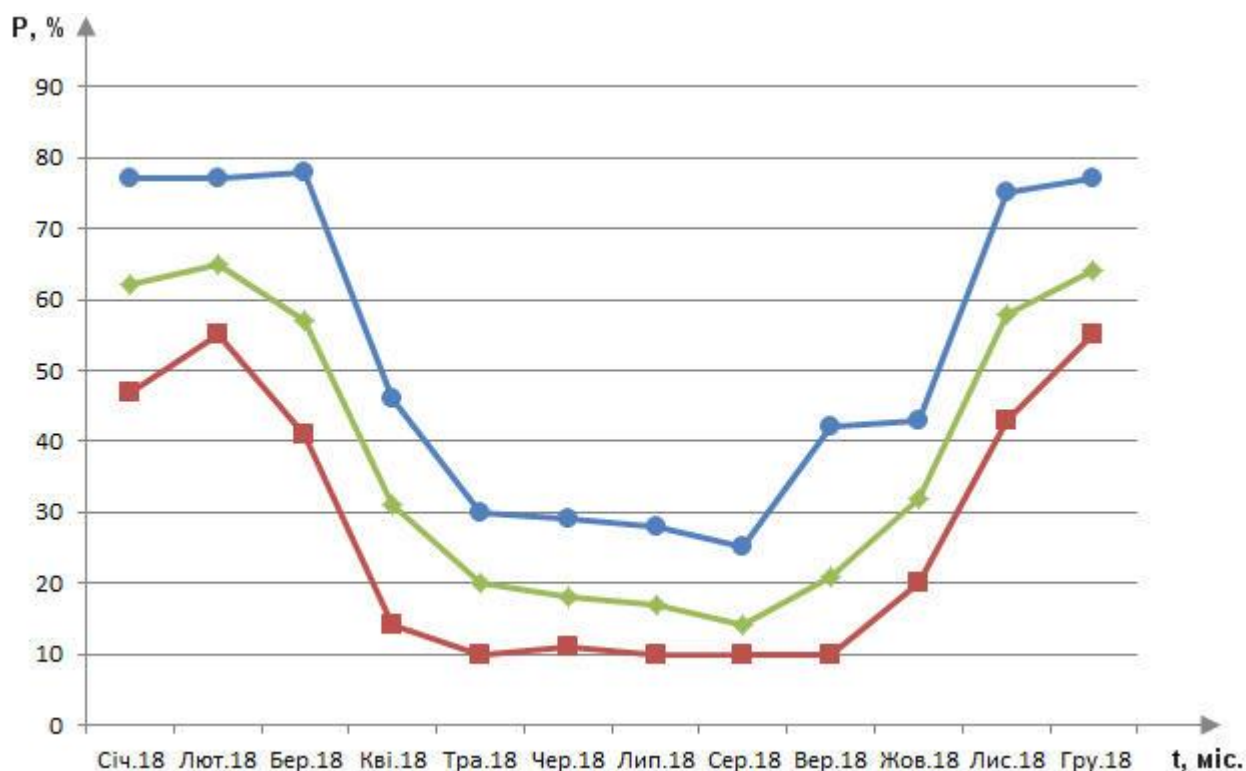


Рисунок 4.6 – Результати прогнозування енергоспоживання по місяцях в м. Бровари (◆ – по середніх температурах за місяць, ■ – по максимальним температурам, ● – по мінімальним температурам)

На графіках, що наведено на рисунку 4.7, відображено рівень споживаної енергії по місяцях за даними по європейському регіону (■) і рівень прогнозованого споживання енергії за середніми значеннями кліматичних умов в м. Бровари Київської області (◆).

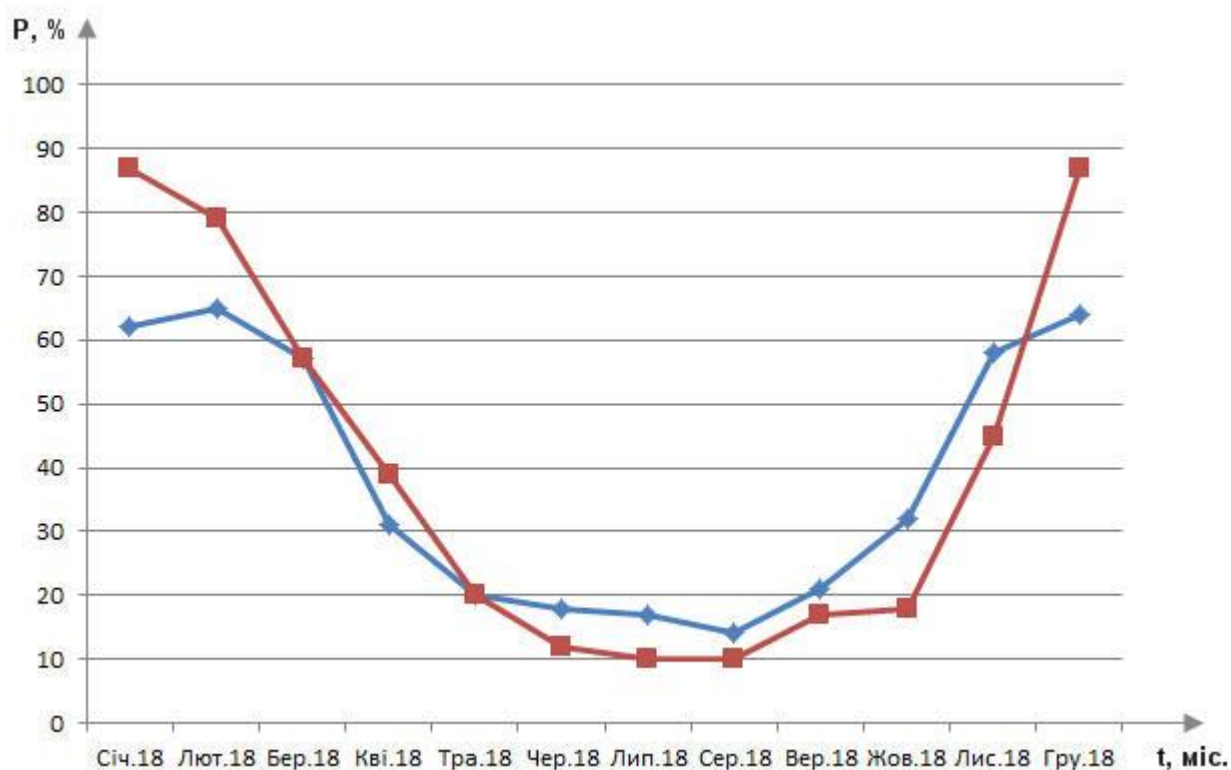


Рисунок 4.7 – Порівняння прогнозованого енергоспоживання по місяцях теплиці в м. Бровари (◆) і фактичного енергоспоживання теплиць по європейському регіону (■)

Таблиця 4.5 – Тестові дані кліматичних умов м. Умань, Черкаська область [13]

Місяць, рік	Т, °С			L, тис. лк	V, м/с
	Середня	Макс.	Мин.		
Січень 2018	-3	8,3	-19,4	5	1,9
Лютий 2018	-3,7	5	-19,8	2	1,5
Березень 2018	-1,5	14,3	-20,4	12	1,9
Квітень 2018	13,4	25	0,4	20	2,2
Травень 2018	17,9	29,4	6,3	60	1,6
Червень 2018	20,2	31,2	5,4	40	1,6
Липень 2018	20,7	30,3	10,2	50	1,3
Серпень 2018	22,1	32,3	9,7	70	1,1
Вересень 2018	15,8	31,5	1,8	40	1,7

## Продовження таблиці 4.5

Жовтень 2018	10	23,5	-0,4	10	1,7
Листопад 2018	0,1	13,5	-12,4	5	1,6
Грудень 2018	-2	3	-14,4	2	2,5

Таблиця 4.6 – Результати прогнозування споживання енергії в теплиці за тестовими даними кліматичних умов м. Умань, Черкаська область

<b>Місяць, рік</b>	<b>Р середня, %</b>	<b>Р макс., %</b>	<b>Р мін., %</b>
Січень 2018	62	46	81
Лютий 2018	65	52	82
Березень 2018	54	37	81
Квітень 2018	31	17	50
Травень 2018	19	9	33
Червень 2018	19	10	37
Липень 2018	15	10	27
Серпень 2018	15	10	28
Вересень 2018	22	11	48
Жовтень 2018	42	19	54
Листопад 2018	57	41	74
Грудень 2018	64	56	77

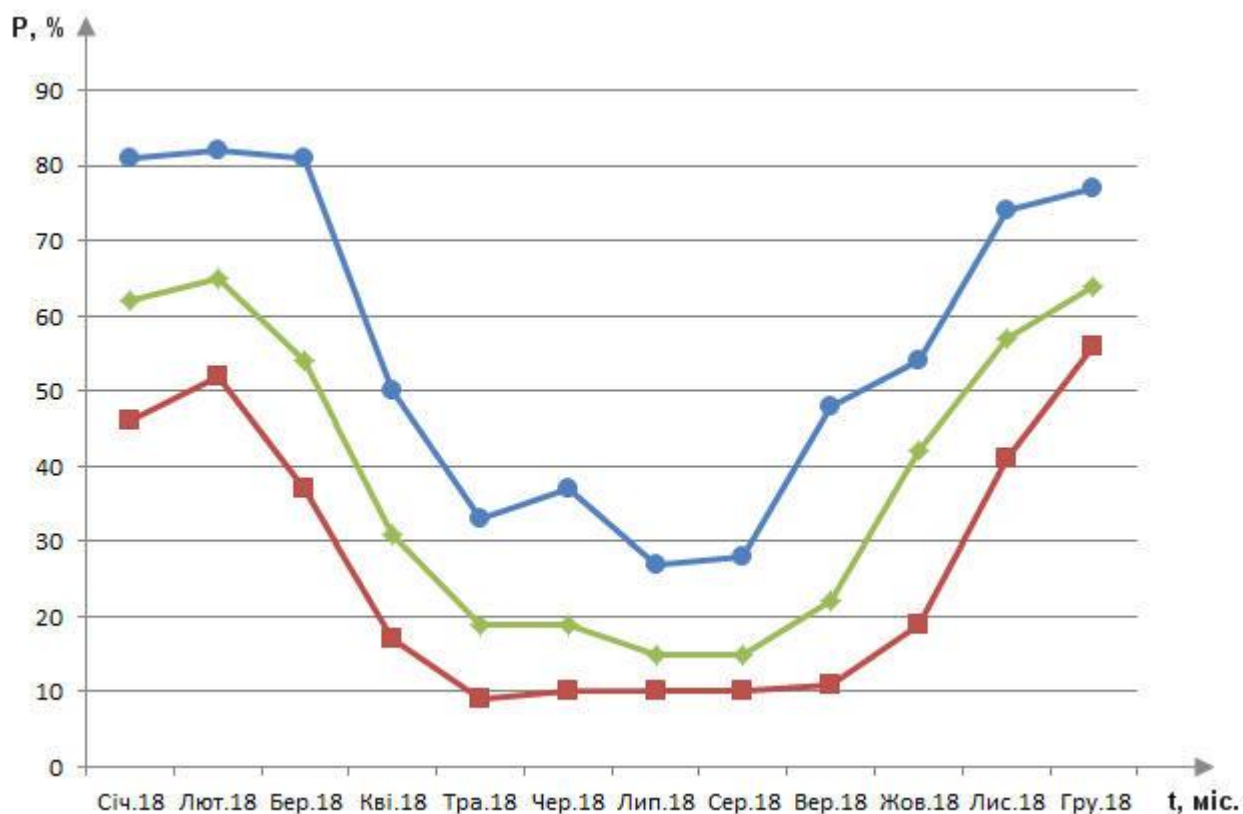


Рисунок 4.8 – Результати прогнозування енергоспоживання по місяцях в м. Умань (◆ – по середніх температурах за місяць, ■ – по максимальним температурам, ● – по мінімальним температурам)

На графіках, що наведено на рисунку 4.9, відображено рівень споживаної енергії по місяцях за даними по європейському регіону (■) і рівень прогнозованого споживання енергії за середніми значеннями кліматичних умов в м. Умань Черкаської області (◆).

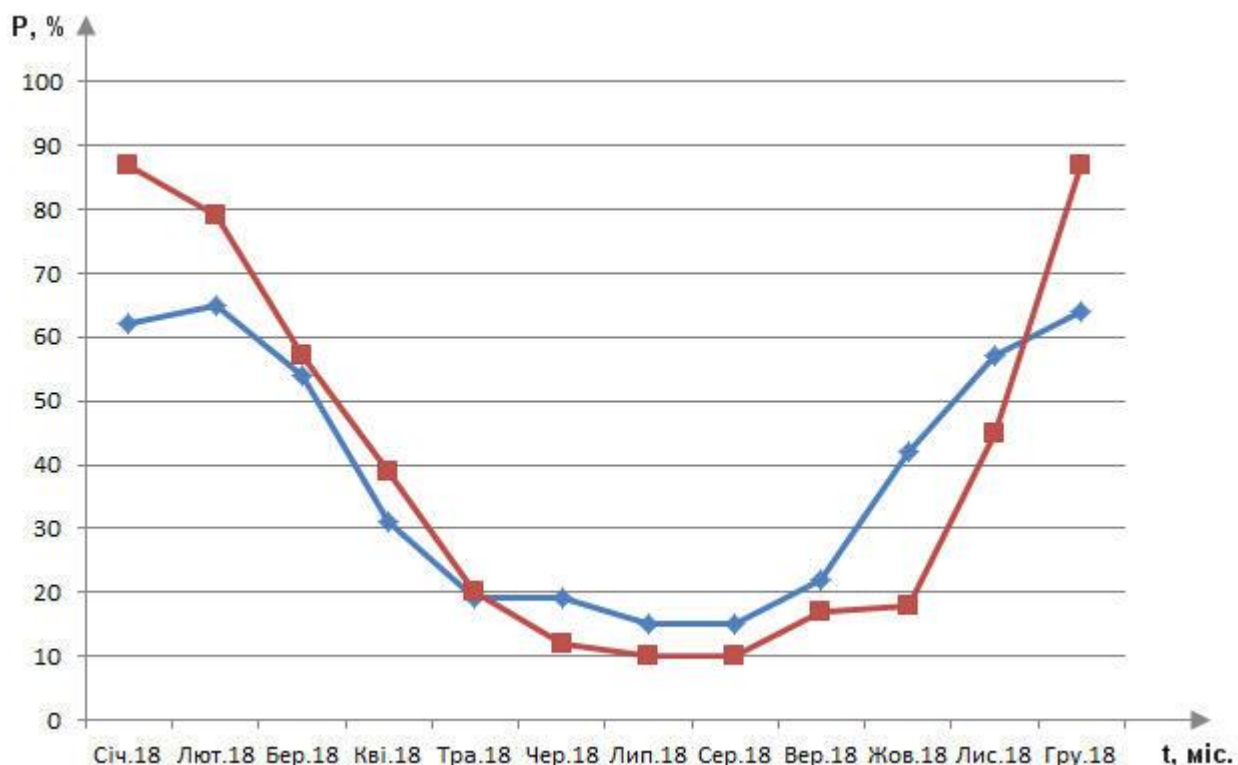


Рисунок 4.9 – Порівняння прогнозованого енергоспоживання по місяцях теплиці в м. Умань (◆) і фактичного енергоспоживання теплиць по європейському регіону (■)

Загалом тенденція прогнозування збігається з фактичними даними. Однак помітне відхилення в зимні м'ясі. Для цього є дві причини. По-перше, в Європі значна кількість тепличних комплексів розташована значно північніше, тому середній рівень зимових температур там нижчий, і, відповідно, рівень споживаної енергії вище. По-друге, останні роки, в тому числі і в 2018 зима в Україні помітно м'яка. За даними кліматичних норм середня температура січня складає  $-8,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а за січень 2018 середня температура склала  $-2,4\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Цих неузгоджень і значну величину похибки можна позбутися завдяки оптимізації грубої експертної системи на фактичних тестових даних за обраний період в реальних тепличних комплексах. Оптимізація проводиться шляхом налаштування параметрів функції належності вхідних і вихідної змінних і вагових коефіцієнтів бази знань в діапазоні від 0 до 1, які за замовченням прийнято рівними 1 для кожного правила.

### 4.3 Висновки

Розроблено систему прогнозування енергоспоживання в теплиці з застосуванням математичного апарату нечітких множин і нечіткої логіки.

Система дозволяє виконувати прогноз рівня споживання енергії тепличного комплексу в залежності від зовнішніх кліматичних умов. На даний час цей прогноз побудований на експертних оцінках, але досягнути високої точності прогнозування можна на етапі впровадження в діючий тепличний комплекс шляхом налаштування параметрів функції належності і вагових коефіцієнтів правил бази знань, виконуючи ретроспективний аналіз даних минулих періодів.

Використання системи прогнозування енергоспоживання дасть змогу виконувати довгострокові розрахунки щодо плану використання енергоресурсів, розрахунки собівартості продукції та виконати заходи для досягнення конкурентоспроможної ціни на товар. В короткостроковій перспективі система прогнозування енергоспоживання допоможе в планування заходів щодо попередження виникнення екстремальних умов в тепличних комплексах, плануванню енергоефективних рішень і вигідних технологічних умов.

## 5 ВИКОРИСТАННЯ ДЖЕРЕЛ АЛЬТЕРНАТИВНОГО ЕНЕРГОЖИВЛЕННЯ

Окрім заощадження енергоресурсів, також актуальною є задача забезпечення безперервного енергоживлення, оскільки порушення кліматичних умов в період високих або низьких температур ззовні може призвести до втрати урожаю.

### 5.1 Сонячна енергія

Для перетворення енергії сонячного випромінювання в електричну використовують фотоелементи. Найбільш поширені технології виробництва фотоелементів (рисунок 5.1):

1) Кристалічні фотоелементи:

- монокристалічні кремнієві фотоелементи (ККД 15-18%);
- полікристалічні фотоелементи (ККД 13-16%);

2) Тонкоплівкові фотоелементи:

- фотоелементи з використанням діселеніда індію і міді, CIS технологія (ККД 9-11%);
- фотоелементи з використанням телуриду кадмію, CdTe технологія (ККД 8,5%);
- фотоелементи з використанням аморфного кремнію (ККД 5-7%).

У 2018 році компанією Solliance спільно з Дослідницьким центром з енергетики Нідерландів була створена і випробувана перша кремнієво-перовскітна панель з показником ефективності 26,3%. У масове виробництво поки що не запущена. Проте такий показник вважається дуже високим, так як до недавнього часу межею було 18%. Але, застосування нових матеріалів і фотогоальванічного скла зробило цей показник ще вище.

У 2017 році китайські вчені створили так звані всепогодні сонячні батареї, що працюють не тільки в будь-яку погоду, але і вночі. Секрет розробки в тому, що скло покрите люмінофором тривалого післясвітіння (LPP), який зберігає інфрачервоний і

ультрафіолетовий спектр, невидимий для людського ока. Вночі LPP вивільняє монохроматичне світло, і він перетворюється в електроенергію. Завдяки такій технології панель працює цілодобово.

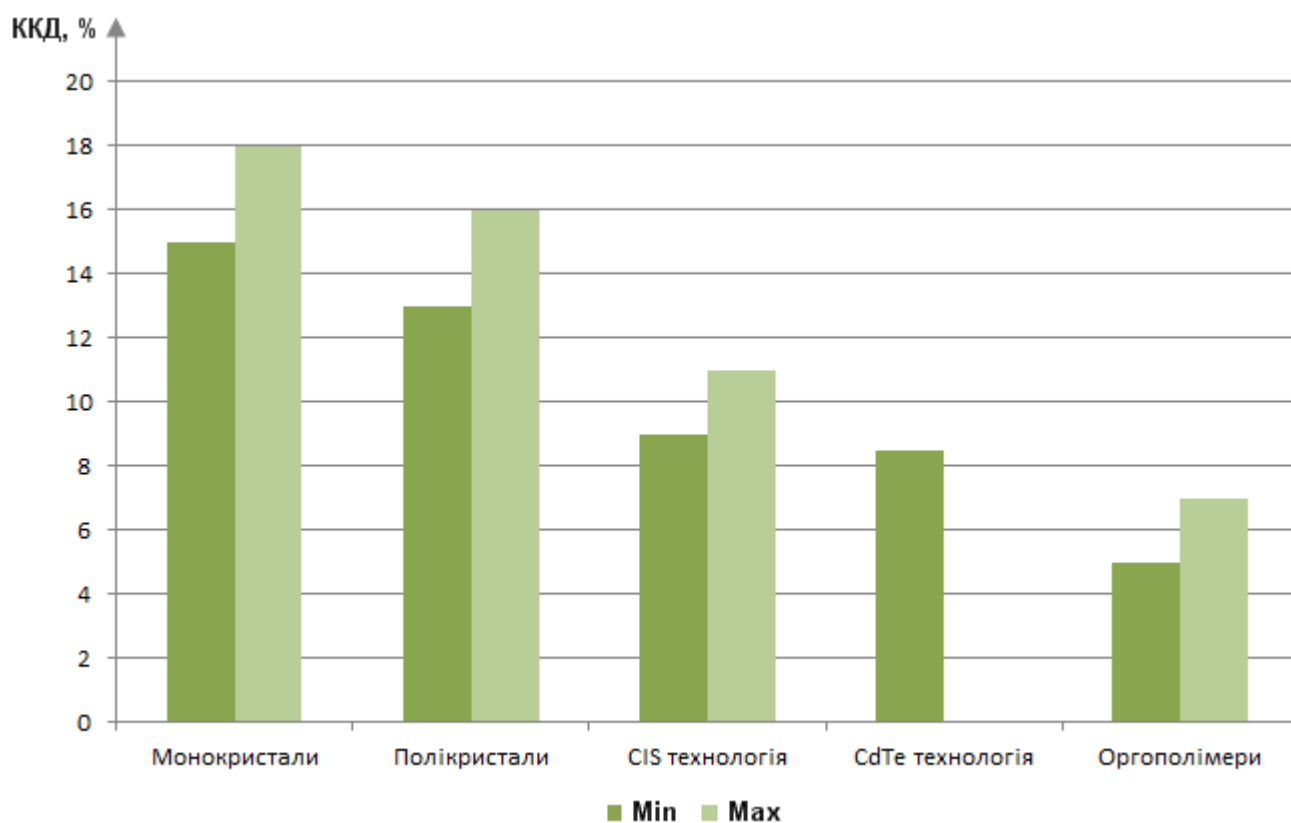


Рисунок 5.1 – Продуктивність фотоелементів, що виробляються за різними технологіями

Ще один напрямок для технічного вдосконалення – збереження початкового рівня перетворення, по суті базового ККД, протягом тривалого часу. Справа в тому, що кремнієві фотоелементи деградують і з часом втрачають продуктивність. Проте цей показник постійно зростає, і навіть з'явилися аналоги, стійкі до деградації. Але поки що це тільки експериментальна технологія, вона ще не довела свою ефективність на практиці.

Крім базового збільшення ККД, вироблення батарей зростає з приходом літа. Довгий літній день в порівнянні із зимою в рази збільшує час роботи, а значить і обсяг виробленої електрики. Але, через спеку падає номінальна продуктивність.

Наприклад, замість заявленого ККД 16%, за фактом буде 14-15%. Взимку ж навпаки, на квадратний метр площі буде падати менше світла, але рівень переробки досягне 18-19%.

На цей показник впливає і нахил. Взимку Сонце знаходиться низько над горизонтом і панель необхідно трохи підняти, а влітку – навпаки, опустити. При цьому краще, щоб панелі були повернені до Сонця.

Кут падіння сонячних променів впливає на продуктивність. Батареї найбільш ефективні, коли промені падають під прямим кутом. Таке відбувається тільки на екваторі, на території України промені падають на землю під середнім нахилом 56-57 градусів. Відповідно, щоб вони падали під прямим кутом на поверхню, вона повинна бути під нахилом 33-34 градусів відносно поверхні землі. Кут падіння сонячних променів змінюється від пори року. Влітку Сонце знаходиться високо і промені падають під кутом до 69 градусів, а взимку воно знижується і нахил складає всього 14 градусів.

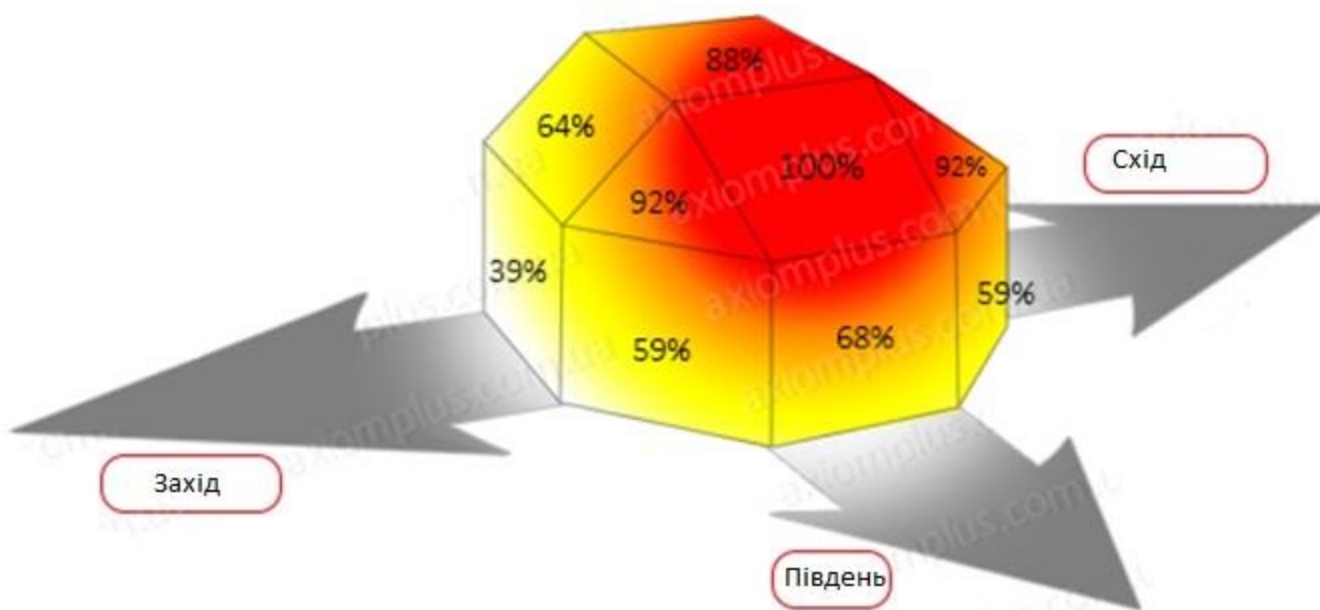


Рисунок 5.2 – Вплив кута падіння сонячних променів на продуктивність[14]

Ефективність панелей залежить і від інтенсивності світла. Чим краще освітленість, тим більше потужності буде вироблено. Відповідно погодні та кліматичні умови – не менше вагомий фактор, що впливає на продуктивність.

Більшість панелей розраховано для роботи в температурному режимі від  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  до  $+80\text{ }^{\circ}\text{C}$ , і чим менше температура, тим вище рівень перетворення. Стандартною температурою вважається  $+25\text{ }^{\circ}\text{C}$ , саме при ній вимірюється номінальна потужність. З кожним градусом ефективність втрачається або підвищується на 0,41%.

У полярних широтах моментальна ефективність за рахунок зниженої температури більше ніж на екваторі, але за рахунок меншої кількості світла – в цілому ефективність нижче. Тому в жарких країнах сонячні електростанції більш популярні.

Ще на продуктивність впливає географічне розташування. Так, наприклад, в північних широтах влітку довгий день, а взимку – коротка ніч, значить влітку СЕС працює довше і у неї більше вироблення. У південній півкулі все навпаки.

В Україні, чим південніше буде розташована СЕС, тим більше продуктивність. На карті сонячної інсоляції (рисунок 5.3) подана інформація, скільки світлової енергії отримує квадратний метр землі в середньому за рік. По ній простежуються такі тенденції, що чим далі на південь, тим частіше там світить Сонце.

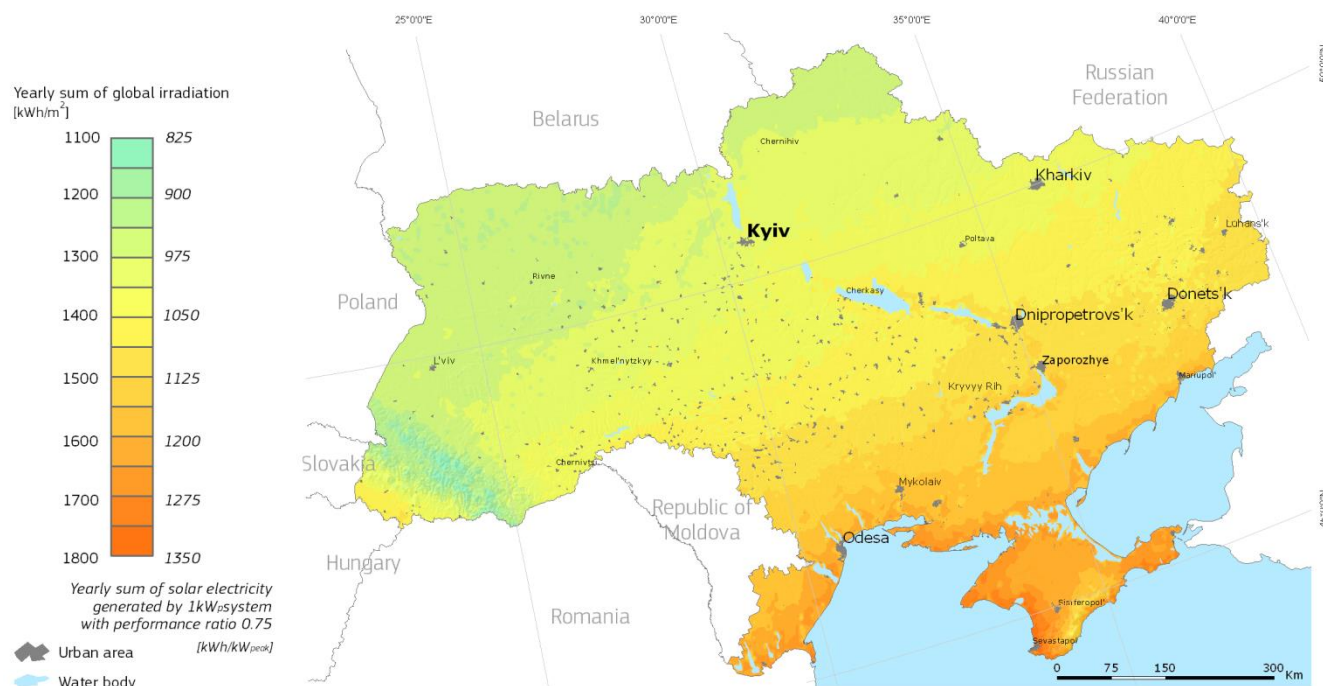


Рисунок 5.3 – Глобальне сонячне випромінювання і потенціал сонячної енергетики [15]

У східній Україні рівень інсоляції вище, ніж на заході. Це викликано швидше за кліматичними особливостями і близькістю західних областей до країн Балтійського регіону, де часто формуються зони низького тиску з частими опадами.

В середньому щороку в певному населеному пункті виробляється однаковий обсяг електроенергії. Але, в з травня по серпень сонячні батареї працюють ефективніше, ніж в інші місяці, а з листопада по лютий – навпаки.

Таку закономірність підтверджують діаграми досліджень впливу пори року на середнє значення вироблення. Для порівняння та аналізу візьмемо кілька регіонів України. У графіках наведено приклад СЕС на 10 кВт, нахиленою на 33,5 градусів до Сонця.

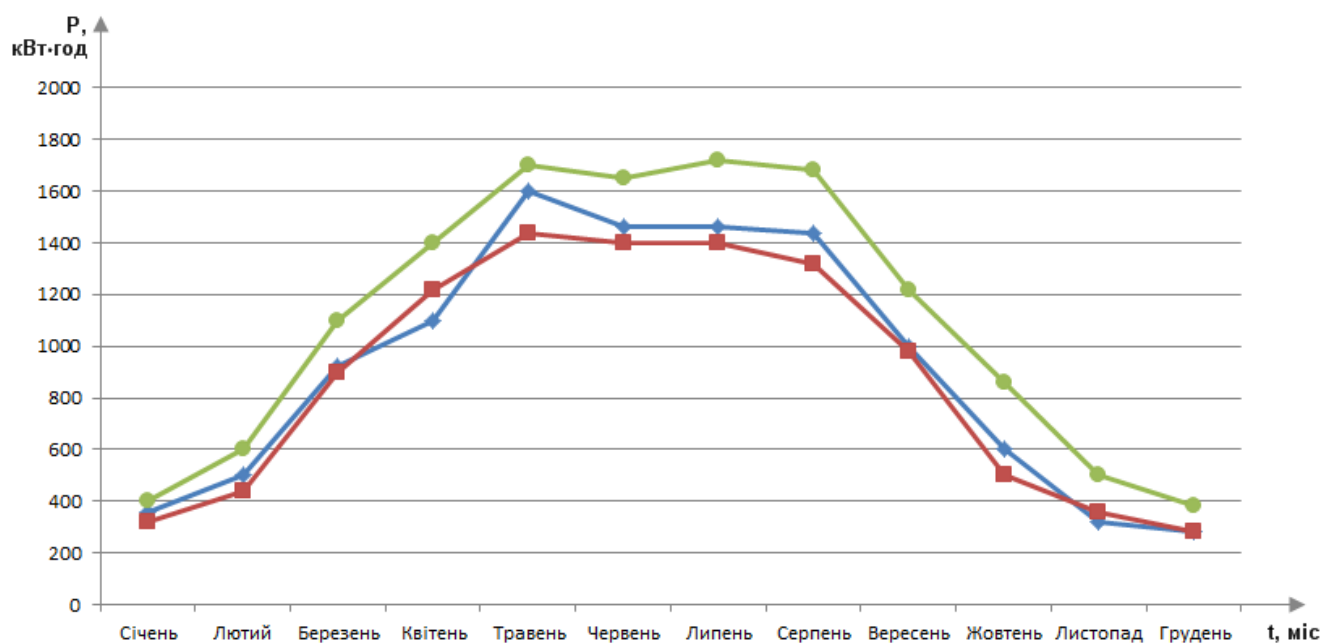


Рисунок 5.4 – Вироблення електроенергії по місяцях в деяких областях (◆ – Київська обл., ■ – Львівська обл., ● – Одеська обл.)

У деяких областях, як в Київській, максимальна віддача досягається пару місяців в році, в іншому наростає і знижується до зимового періоду. Практично по всій території країни найбільш продуктивні 6 місяців – з травня по серпень. Винятки з цієї закономірності – Одеська область, Миколаївська область, Херсонська область, де ефективність порівняно висока протягом усього року, навіть взимку. Це

усереднені результати, і точно підрахувати неможливо, оскільки на вироблення впливає кількість хмарних і безхмарних днів. Складно передбачити ясну і безхмарну зиму або дощове літо. Проте в загальному по Україні показники досить високі.

Сонячне випромінювання не постійно в часі, тому вироблення фотомодулів не завжди відповідає споживанню енергії. Для накопичення надлишкової електроенергії і використанні її в випадках коли споживання перевищує вироблення використовують акумуляторні батареї. [16]

## 5.2 Енергія вітру

Вітроелектрогенератори здійснюють перетворення кінетичної енергії вітру в електричну використовуючи генератор в процесі обертуту ротора. Лопаті вітряків застосовуються для обертання центральної маточини, яка в свою чергу приєднана через коробку передач до електричного генератора. За своєю конструкцією генератор подібний генераторам які застосовуються в електростанціях

Є два основних і популярних типи вітрогенераторів. Вітрогенератор з віссю обертання горизонтально, який в свою чергу має лопаті, які розташовані на верхівці установки. Горизонтальний тип є найпопулярнішим типом. У турбін з горизонтальною віссю обертання ведучий вал ротора розташований горизонтально. В робочому стані відносно напрямку повітряного потоку ротор турбіни може перебувати перед опорою – так званий навітряний ротор або за опорою – підвітряний ротор. У ВЕУ з вертикальною віссю обертання (Н-образні) провідний вал ротора розташований вертикально. Лопаті такої турбіни – довгі, зазвичай дугоподібні. Вони прикріплені до верхньої і нижньої частин башти. Завдяки вертикальному розташуванню ведучого вала ротора Н-образні турбіни, на відміну від турбін з горизонтальною віссю обертання, «захоплюють» вітер, що дує в будь-якому напрямку, і для цього їм не потрібно міняти положення ротора при зміні напрямку вітрових потоків.

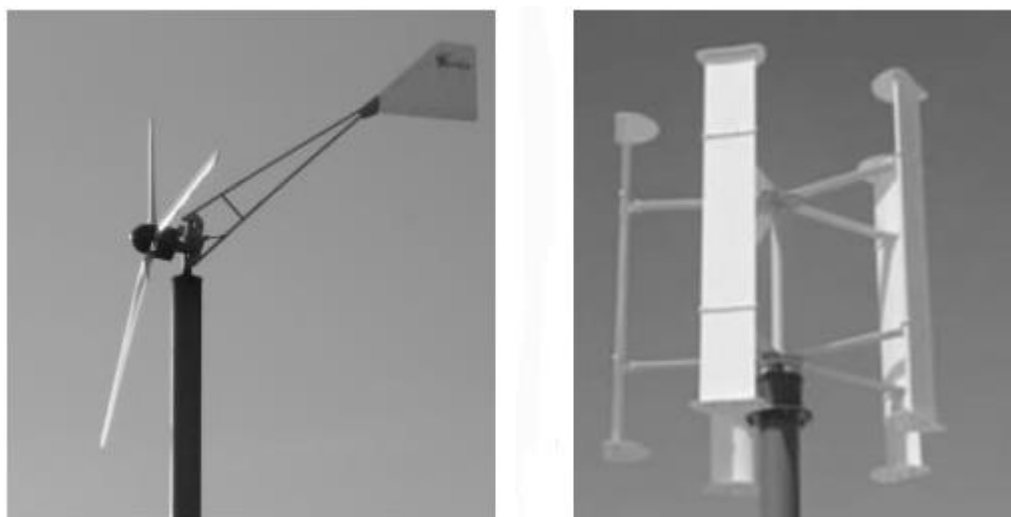


Рисунок 5.5 – Типи вітрогенераторів.

Горизонтальний зліва, вертикальний справа [17,18]

Незважаючи на свою зовнішню відмінність, вітряки з вертикальною і горизонтальною осями обертання являють собою схожі системи. Кінетична енергія вітру, що отримується при взаємодії повітряних потоків з лопатями вітряка, через систему трансмісії передається на електричний генератор. Завдяки трансмісії генератор може працювати ефективно при різних швидкостях вітру. За способом взаємодії з вітром вітряки діляться на установки з жорстко закріпленими лопатями без регулювання і на агрегати, у яких лопаті зроблені із змінним кутом. Обидві конструкції мають переваги і недоліки. Вітряки, у яких лопаті зроблені із змінним кутом, мають більш високу ефективність використання вітру і, відповідно, вони виробляють більше електроенергії. У той же час, ці вітряки повинні бути оснащені спеціальними підшипниками, які часто є причиною поломок агрегатів. Турбіни з жорстко закріпленими лопатями більш прості в обслуговуванні, однак їх ефективність використання вітрового потоку нижче. [19, 20]

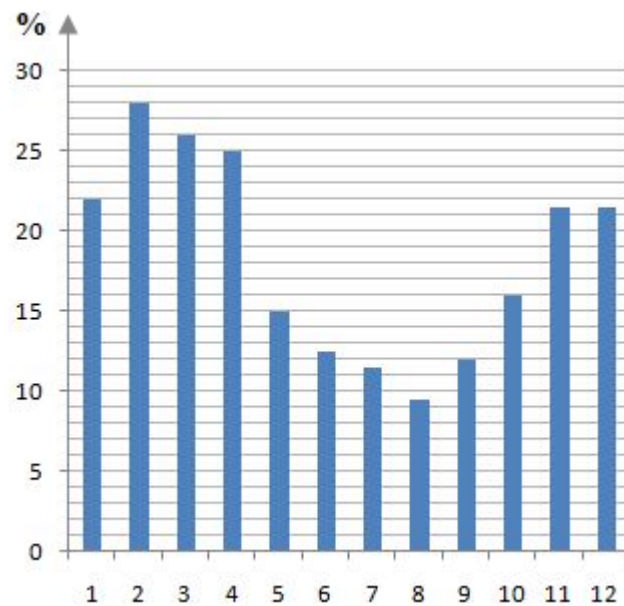
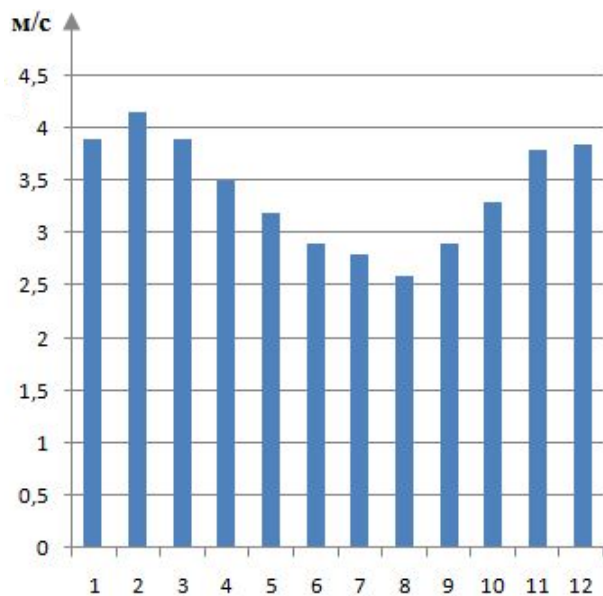


Рисунок 5.6 – Середня швидкість вітру і їх частка, яка придатна для потреб вітроенергетики в Київській області (Баришівка) [21, 22]

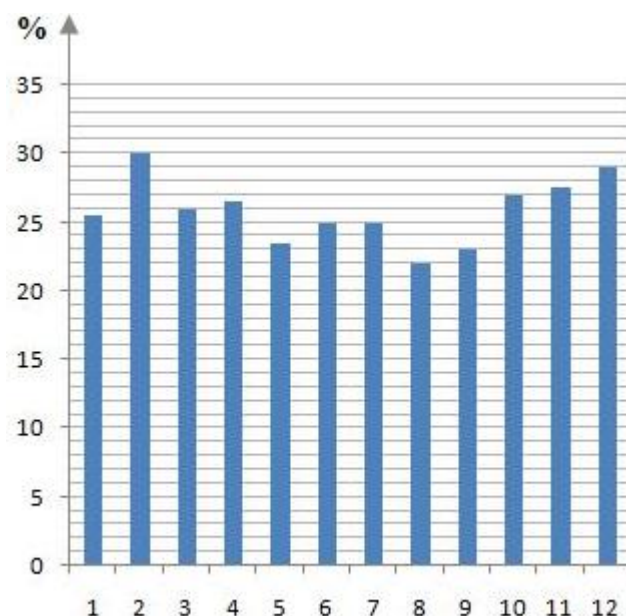
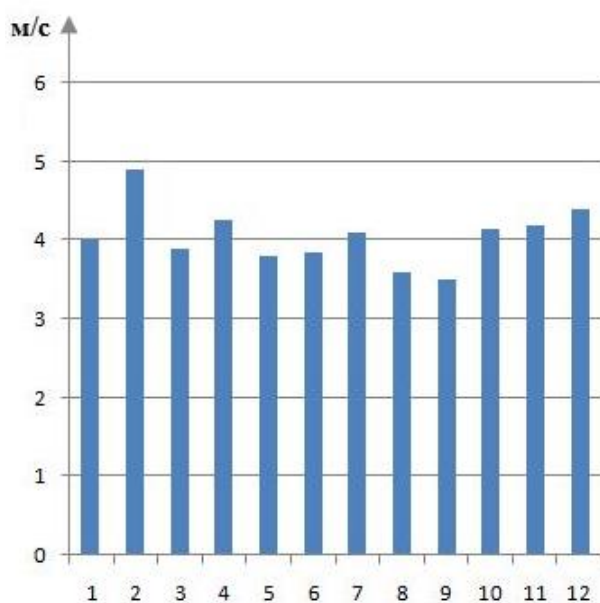


Рисунок 5.7 – Середня швидкість вітру і їх частка, яка придатна для потреб вітроенергетики в Одеській області (Белгород-Дністровський) [23, 24]

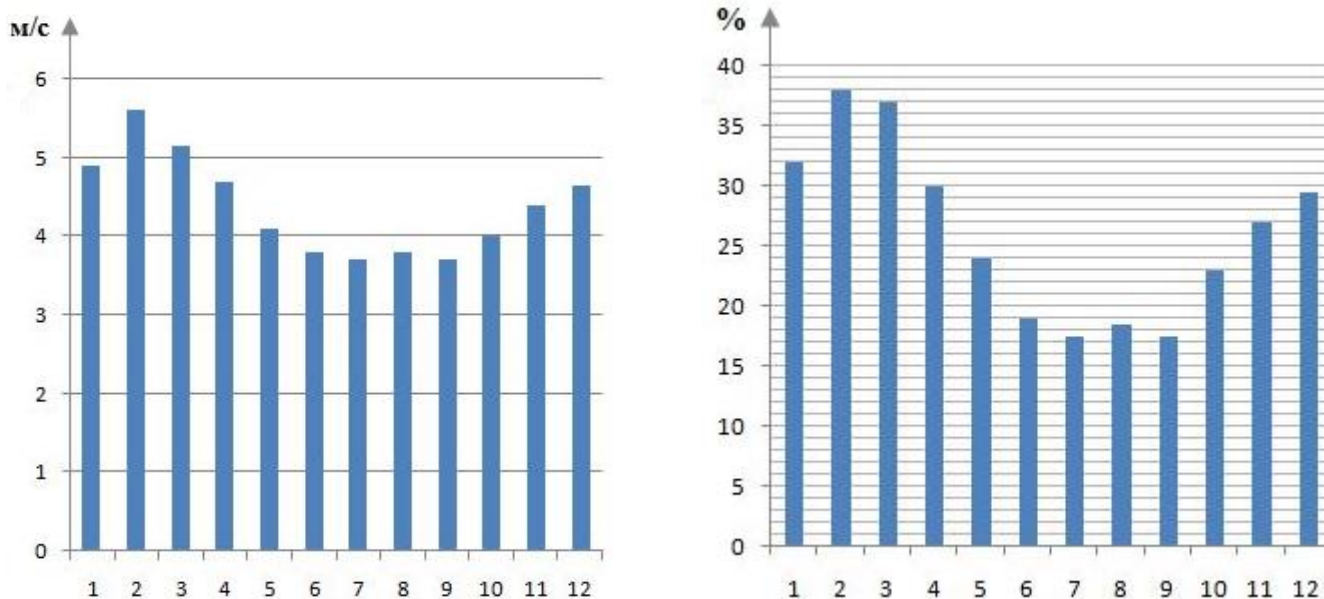


Рисунок 5.8 – Середня швидкість вітру і їх частка, яка придатна для потреб вітроенергетики в Херсонській області (Асканія Нова) [25, 26]

### 5.3 Теплові насоси

Перспективним напрямком є використання енергії, що накопичується в водоймах, ґрунті, геотермальних джерелах, технологічних викидах та ін. Однак температура цих джерел досить низька (0–25 °С) і для ефективного їх використання необхідно здійснити перенесення цієї енергії на більш високий температурний рівень (50–100 °С). Реалізується таке перетворення тепловими насосами, які, по суті, є пароконденсаторними холодильними машинами.

Схематично тепловий насос можна представити у вигляді системи з трьох замкнутих контурів: в першому, зовнішньому, циркулює тепловіддавач (тепловий носій, що збирає теплоту навколишнього середовища), у другому – холодоагент (речовина, яка випаровується, забираючи теплоту тепловіддавача, і конденсується, віддаючи теплоту теплоприймачу), в третьому – теплоприймач (вода в системах опалення та/або гарячого водопостачання).

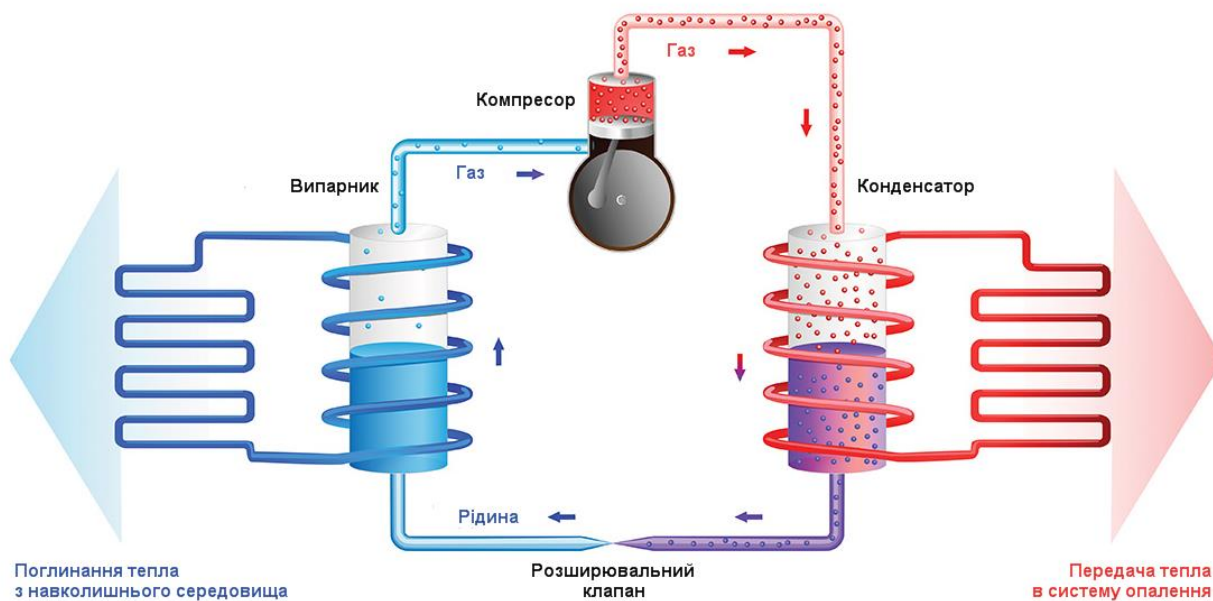


Рисунок 5.9 – Принцип роботи теплового насоса [27]

Зовнішній контур (колектор) – це покладений в землю або у воду трубопровід, в якому циркулює незамерзаюча рідина – антифриз.

У другій контур, де циркулює холодоагент вбудовані теплообмінники – випарник і конденсатор, а також пристрої, які змінюють тиск холодоагента – розширювальний клапан (дрозель) і компресор.

Третій контур – це внутрішній контур, тобто сама система опалення будівлі та/або система гарячого водопостачання.

Робочий цикл. Рідкий холодоагент проходить через дросель, його тиск падає, і він надходить у випарник, де закипає, відбираючи теплоту, що поставляється колектором з навколишнього середовища. Газ, в який перетворився холодоагент, всмоктується в компресор, стискається і, нагрітий, виштовхується в конденсатор. Конденсатор є тепловіддаючим вузлом теплонасоса: тут теплота приймається водою в системі опалювального контуру. При цьому газ охолоджується і конденсується, щоб знову піддатися розрядці в розширювальному вентилі і повернутися у випарник. Після цього робочий цикл починається заново. [28]

В основі роботи теплового насоса лежить зворотний термодинамічний цикл (зворотний цикл Карно), що складається з двох ізотерм і двох адіабати, але на

відміну від прямого термодинамічного циклу (прямого циклу Карно) процес протікає в зворотному напрямку: проти годинникової стрілки.

У зворотному циклі Карно докільця виступає в ролі холодного джерела тепла. При роботі теплового насоса тепло зовнішнього середовища завдяки здійсненню роботи передається споживачеві, але з уже більш високою температурою. [29]

Вигідною особливістю теплового насоса є те, що в літній період, включивши систему «в зворотному напрямку» можна отримати кондиціонування. Тобто тепло буде відбиратися внутрішнім контуром будівлі і скидати його в ґрунт, воду або повітря.

Споживачами тепла, виробленого тепловим насосом є всі споживачі, яким необхідна температура води до 55 °С, а саме:

- опалення;
- гаряче водопостачання;
- підігрів води в басейни.

Системи опалення, засновані на застосуванні теплового насоса, відрізняються екологічною чистотою, так як працюють без спалювання палива і не виробляють шкідливих викидів в атмосферу.

Крім того, вони характеризуються економічністю: при підведенні до теплового насоса, наприклад, 1 кВт електроенергії, в залежності від режиму роботи та умов експлуатації він дає до 3–5 кВт теплової енергії.

Види джерел тепла (рисунок 5.10):

Ґрунт. Тепловий насос накопичує тепло ґрунту за допомогою колектора, покладеного на глибину близько метра.

Переваги:

- не потрібно буріння;
- ґрунт має стабільну температуру;
- низькі витрати на установку.

Свердловина. При використанні в якості джерела тепла свердловини, в неї занурюється колектор, який має U-подібну форму. Немає необхідності

використовувати одну дуже глибоку свердловину, можна пробурити кілька неглибоких, більш дешевих свердловин, головне отримати загальну розрахункову глибину.

Переваги:

- немає необхідності у великій ділянці;
- свердловина має стабільну температуру протягом усього року;
- не впливає на ділянку.



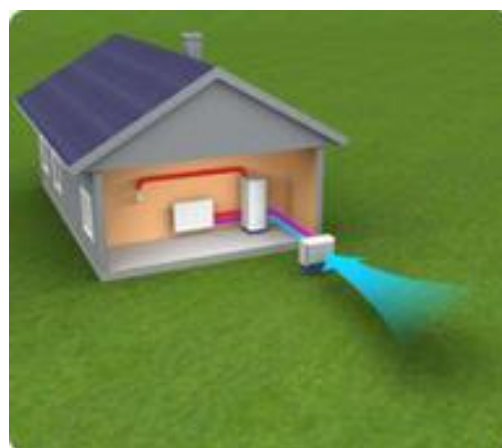
1) Ґрунт



2) Свердловина



3) Водоймище



4) Повітря

Рисунок 5.10 – Види джерел тепла для теплових насосів [30, 31, 32, 33]

Водоймище. Використовується колектор, укладений на дно водойми щоб збирати сонячне тепло, накопичене за літо. Принцип той же, що і у випадку з ґрунтовим колектором.

Переваги:

- немає необхідності у великій ділянці;
- водоймище має стабільну температуру;
- чи не впливає на ділянку.

Повітря. Використання повітряного теплового насоса звільняє від необхідності бурити або копати. Замість цього ви отримуєте тепло з навколишнього повітря за допомогою зовнішнього блоку. Всі ключові компоненти розташовані всередині будівлі, що запобігає їх від пошкодження.

Переваги:

- низькі витрати на установку;
- чи не впливає на ділянку.

На сьогоднішній день теплові насоси широко застосовуються в усьому світі. Кількість теплових насосів, що працюють в Японії, Європі і США обчислюється десятками мільйонів штук. Виробництво теплових насосів в кожній країні, перш за все, спрямована на задоволення потреб внутрішнього ринку. В Японії і США найбільше застосування отримали теплові насоси класу «повітря-повітря» для опалення та річного охолодження повітря. В Європі – теплові насоси класу «вода-вода» і «вода-повітря». У США дослідженнями і виробництвом теплових насосів займаються понад шістдесят фірм. В Японії щорічний випуск теплових насосів перевищує 500 тисяч одиниць. У Німеччині щорічно вводиться понад 5 тисяч установок. У Швеції та країнах Скандинавії експлуатуються, в основному, великі теплові насосні установки. У Швеції вже до 2000 року експлуатувалося понад 110 тисяч теплонасосних станцій (ТНС), 100 з яких мали потужність близько 100 МВт і вище. Найбільш потужна ТНС – 320 МВт, працює в Стокгольмі. [28, 34]

## 5.4 Геліосистеми

Геліосистеми функціонально можна розділити на сезонні, використання яких можливо і доцільно тільки при позитивних температурах навколишнього середовища, і цілорічні, які можуть використовуватися без обмежень.

### 5.4.1 Сезонні геліосистеми

Сезонні геліосистеми використовуються тільки в теплу пору року – з весни по осінь. Це моноблочні системи, що складаються із закріплених на металевій рамі сонячного колектора і сполученого з ним бака-накопичувача. В якості теплоносія в таких системах використовується вода контуру гарячого теплопостачання. Іншою назвою сезонних геліосистем є «термосифонні системи».

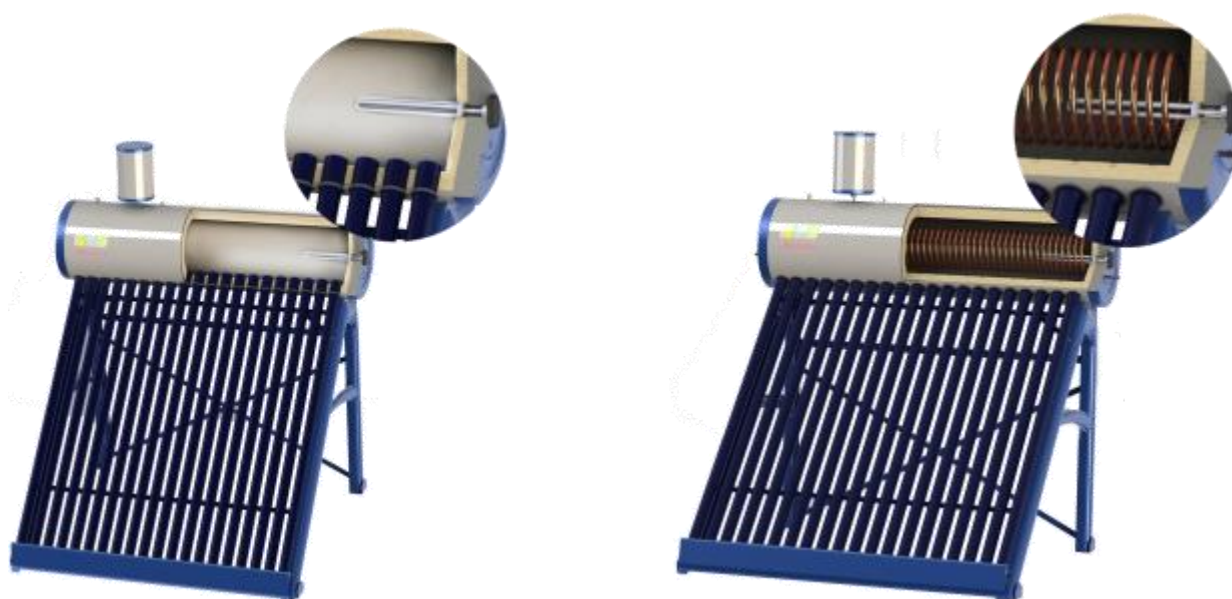


Рисунок 5.11 – Сезонні геліосистеми без тиску – зліва, з тиском – справа [35, 36]

Сезонність використання геліосистем обумовлена зниженням температури навколишнього середовища в зимовий час нижче 0 °С і неминучим замерзанням води в системі.

## 5.4.2 Цілорічні геліосистеми

Робота геліосистем ніяким чином не залежить від температури навколишнього середовища, а тому може працювати цілорічно. Вони є досить ефективними як літню пора року так і в зимню головне, щоб сонце світило яскраво.

Окрім додаткового обладнання (насосного, керуючого, запобіжного і ін.) ці системи складаються з двох основних елементів: розташованих на вулиці сонячного колектора, і бака який накопичує з теплообмінником, який розміщений в приміщенні. Між сонячним колектором і баком циркулює теплоносій який не замерзає, він надає захист і не дає змерзнути системі, навіть якщо і пора року зима і на вулиці ніч.

Використання такої геліосистеми надає змогу забути про потребу в гарячому водопостачанні в теплу пору року з квітня по жовтень, а також це призводить до економії енергоносіїв на підігріві води взимку на 60%.

Геліосистеми розділяють за типом сонячних колекторів, які в них використовуються. Вакуумні трубчасті колектори, плоскі колектори, а також гібридні колектори, що поєднують функціонал плоского геліоколектора і фотоелектричної панелі.

### Геліосистеми на вакуумних геліоколекторах

Найбільший ефект надають в холодну пору року надають трубчасті вакуумні сонячні колектори. Завдяки вакууму який розміщений в скляних трубках тепловтрата всередині колектора є мінімальною, що призводить до ефективності навіть якщо присутній 20-градусний мороз.

### Геліосистеми на плоских геліоколекторах

Плоскі геліоколектори в теплу пору не менше ефективніші, ніж вакуумні. Але коли пора року зима, плоскі геліоколектори поступаються вакуумним, оскільки присутні досить великі тепловтрати. Проте середнє значення річного виготовлення тепла плоских сонячних колекторів дозволяє з успіхом застосовувати їх в повсякденних геліотермальних системах. Також чималу роль відіграє ціна плоских

геліоколекторів, порівняно з вакуумними, що в свою чергу до можливостей їх вибору.



Рисунок 5.12 – Вакуумний геліоколектор [37]

Геліосистеми на гібридних геліотермально-фотоелектричних колекторах

Існують ще гібридні сонячні колектори. Ці гібридні сонячні колектори надають нам змогу підігрівати воду і виготовлення електроенергії за рахунок використання сонця.

Крім того що вони можуть одночасно виготовляти в одному пристрої тепло і електричну енергію, вони ще мають іншу перевагу – їх електроефективність більша чим в простих сонячних панелях, що досягається завдяки охолодженню фотомодуля постійним відводом тепла на теплоносій, що циркулює в колекторі. [38, 39]

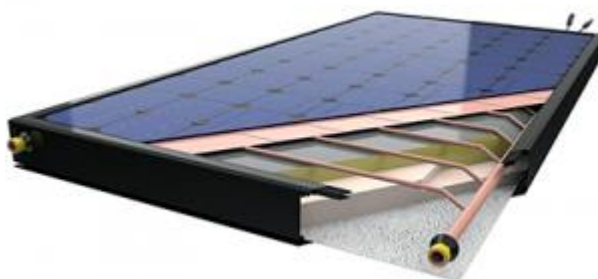


Рисунок 5.13 – Геліотермально-фотоелектричний колектор [40]

### 5.4.3 Сонячний потенціал України для геліосистем

Для розрахунків необхідної кількості сонячних колекторів, окрім технічних характеристик, потрібно знати скільки тепла ми отримаємо від Сонця.

В таблиці 5.1 представлено дані щодо рівня сонячної радіації на території України по місяцях і середню за рік за результатами спостереження 22 років. [41]

Таблиця 5.1 – Середній місячний рівень сонячної радіації по областях і середній показник за даними NASA (кВт·год/м<sup>2</sup>/день)

Область / Місяць	Січень	Лютий	Березень	Квітень	Травень	Червень	Липень	Серпень	Вересень	Жовтень	Листопа	Грудень	Середнє
Вінницька	1,07	1,89	2,94	3,92	5,19	5,3	5,16	4,68	3,21	1,97	1,10	0,9	3,11
Волинська	1,02	1,77	2,83	3,91	5,05	5,08	4,94	4,55	3,01	1,83	1,05	0,79	2,99
Дніпропетров.	1,21	1,99	2,98	4,05	5,55	5,57	5,70	5,08	3,66	2,27	1,20	0,96	3,36
Донецька	1,21	1,99	2,94	4,04	5,48	5,55	5,66	5,09	3,67	2,24	1,23	0,96	3,34
Житомирська	1,01	1,82	2,87	3,88	5,16	5,19	5,04	4,66	3,06	1,87	1,04	0,83	3,04
Закарпатська	1,13	1,91	3,01	4,03	5,01	5,31	5,25	4,82	3,33	2,02	1,19	0,88	3,16
Запорізька	1,21	2,00	2,91	4,20	5,62	5,72	5,88	5,18	3,87	2,44	1,25	0,95	3,44
Івано-Франків.	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94
Київська	1,07	1,87	2,95	3,96	5,25	5,22	5,25	4,67	3,12	1,94	1,02	0,86	3,10
Кіровоградська	1,20	1,95	2,96	4,07	5,47	5,49	5,57	4,92	3,57	2,24	1,14	0,96	3,30
Луганська	1,23	2,06	3,05	4,05	5,46	5,57	5,65	4,99	3,62	2,23	1,26	0,93	3,34
Львівська	1,08	1,83	2,82	3,78	4,67	4,83	4,83	4,45	3,00	1,85	1,06	0,83	2,92
Миколаївська	1,25	2,10	3,07	4,38	5,65	5,85	6,03	5,34	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Одеська	1,25	2,11	3,08	4,38	5,65	5,85	6,04	5,33	3,93	2,52	1,36	1,04	3,55
Полтавська	1,18	1,96	3,05	4,00	5,40	5,44	5,51	4,87	3,42	2,11	1,15	0,91	3,25
Рівненська	1,01	1,81	2,83	3,87	5,08	5,17	4,98	4,58	3,02	1,87	1,04	0,81	3,01
Сумська	1,13	1,93	3,05	3,98	5,27	5,32	5,38	4,67	3,19	1,98	1,10	0,86	3,16
Тернопільська	1,09	1,86	2,85	3,85	4,84	5,00	4,93	4,51	3,08	1,91	1,09	0,85	2,99
Харківська	1,19	2,02	3,05	3,92	5,38	5,46	5,56	4,88	3,49	2,10	1,19	0,9	3,26
Херсонська	1,30	2,13	3,08	4,36	5,68	5,76	6,00	5,29	4,00	2,57	1,36	1,04	3,55

## Продовження таблиці 5.1

Хмельницька	1,09	1,86	2,87	3,85	5,08	5,21	5,04	4,58	3,14	1,98	1,10	0,87	3,06
Черкаська	1,15	1,91	2,94	3,99	5,44	5,46	5,54	4,87	3,40	2,13	1,09	0,91	3,24
Чернігівська	0,99	1,80	2,92	3,96	5,17	5,19	5,12	4,54	3,00	1,86	0,98	0,75	3,03
Чернівецька	1,19	1,93	2,84	3,68	4,54	4,75	4,76	4,40	3,06	2,00	1,20	0,94	2,94

На рисунках 5.14 і 5.15 відображено графіки за таблицею 5.1.

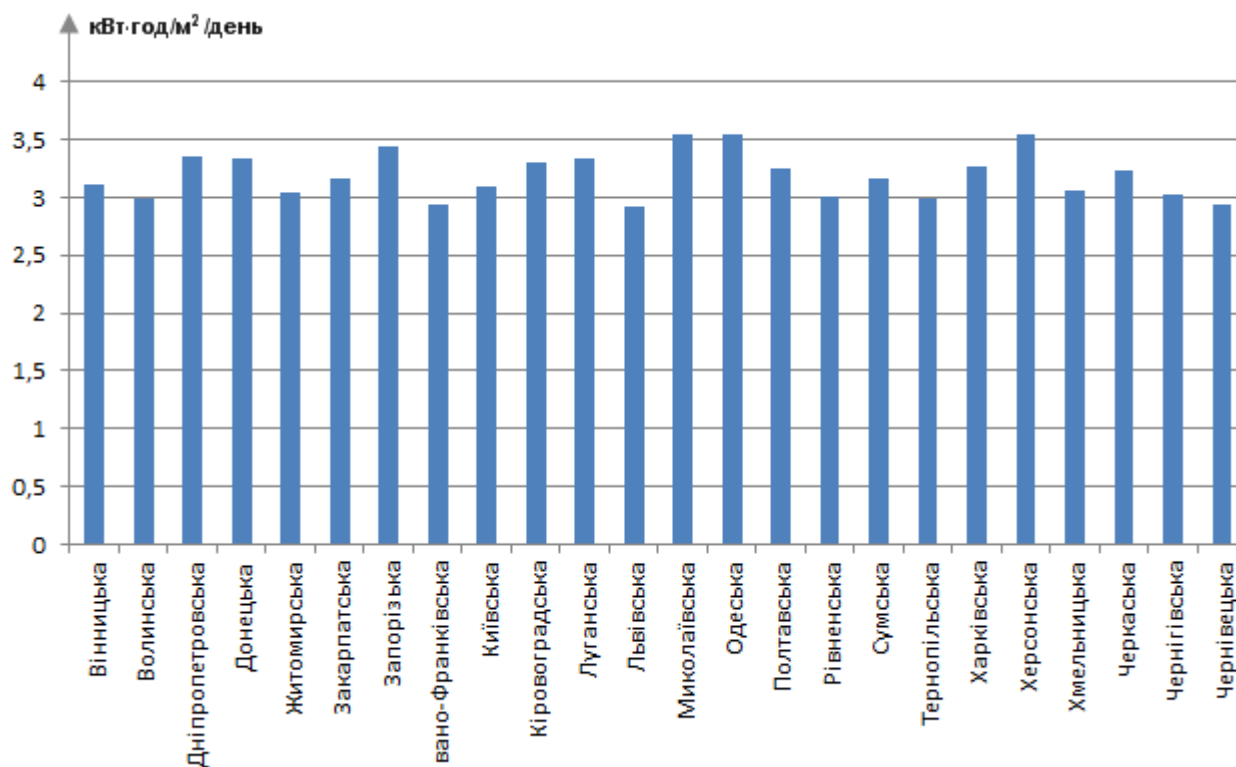


Рисунок 5.14 – Середній показник сонячної радіації по областях України за останні 22 роки за даними NASA

Для побудови середньомісячних показників сонячної радіації обрано Київську область, а також області з найбільшим (Одеська) і найменшими (Львівська) показниками за рік для порівняння.

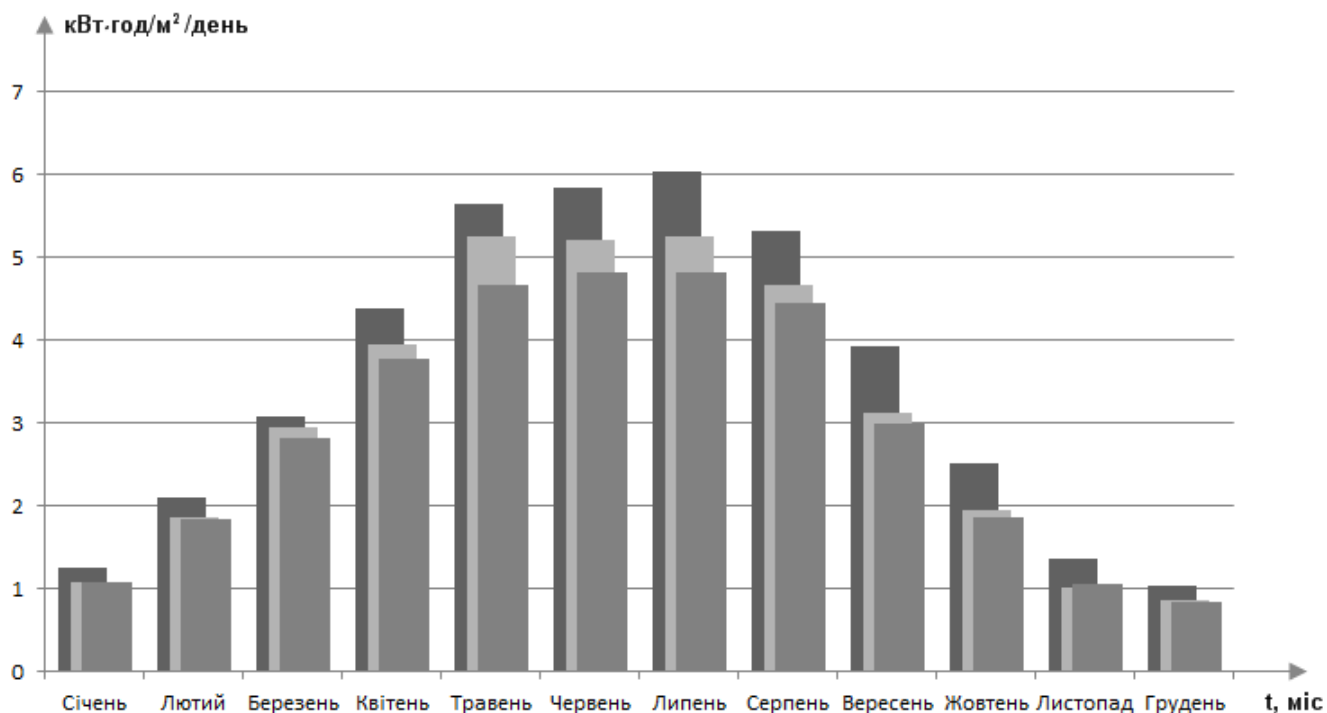


Рисунок 5.15 – Середній місячний показник сонячної радіації по областях України: темний – Одеська область, світлий – Київська область, середній – Львівська область

### 5.5 Розробка та опис схеми джерел альтернативного енергоживлення

Енергії вітру і сонця можуть відмінно доповнювати або замінювати один одного. Гібридні системи електропостачання особливо ефективні для цілодобового автономного електропостачання. Ці системи являють собою станції на базі вітрогенераторів і сонячних фотоелектричних модулів під'єднаних до єдиної енергосистеми. Продуктивність фотоелектричних батареї досить висока влітку і відносно низька взимку. У свою чергу, забезпечення електроенергією, виробленою за рахунок енергії вітру, в літній період є проблематичним через часті безвітряні дні. Тому переваги гібридної системи «вітер-сонце» стає очевидним. Схему такої системи наведено на рисунку 5.16.

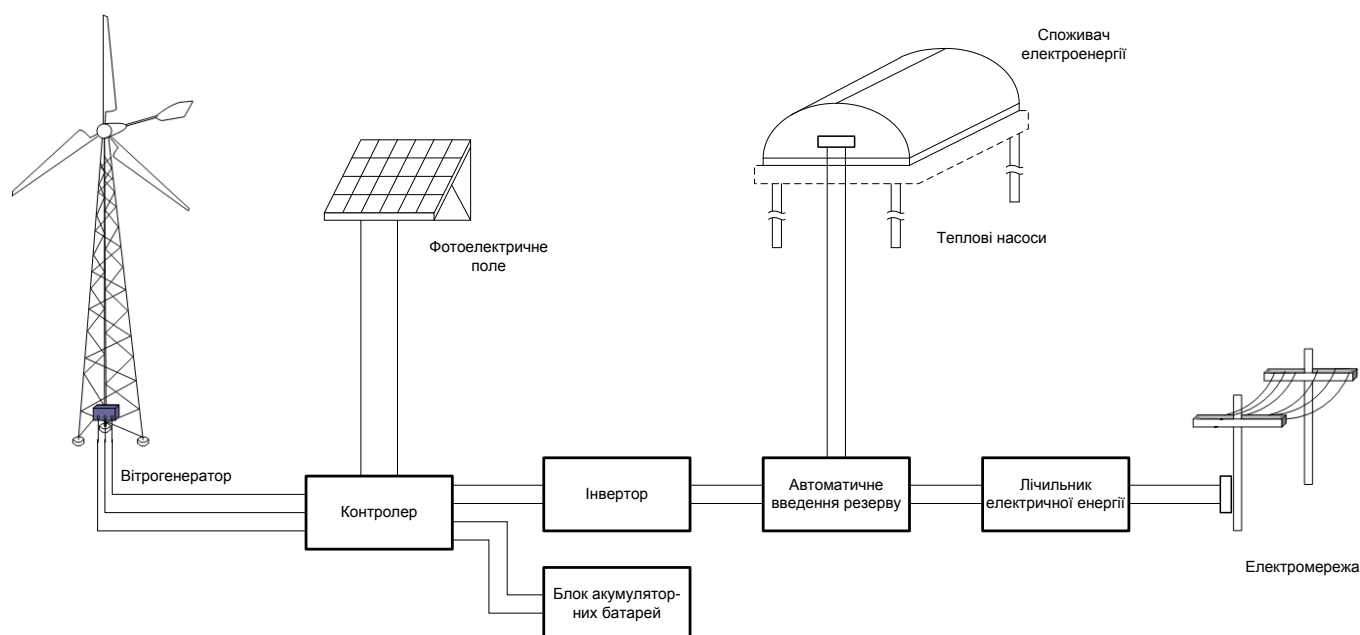


Рисунок 5.16 – Схема джерел альтернативного енергоживлення

Гібридна система з накопиченням електроенергії в акумуляторах може працювати паралельно з мережею. Паралельна робота здійснюється за допомогою пристрою автоматичного введення резерву (АВР). АВР дозволяє перемкнути живлення об'єкту за відсутності вітру (сонця) і повному розряді акумуляторів на електромережу або навпаки, перемикає навантаження на акумуляторні батареї при втрати живлення електромережі. Пріоритет може встановлюватися в ручну або програмним алгоритмом.

## 5.6 Висновки

Розглянуто географічні і кліматичні умови України щодо можливостей використання альтернативної енергетики. Досліджувались різні джерела альтернативної енергії як по виробленню електроенергії, так і по виробленню теплової енергії, адже значна кількість енерговитрат тепличних комплексів йде саме видобування тепла.

Також розглядалась можливість і доцільність застосування різних систем альтернативного енергоживлення з урахуванням географічного розташування і

кліматичних особливостей областей України. Так, наприклад, застосування теплових насосів доцільно в північних областях, де менший обсяг сонячної радіації, особливо в зимовий період. Проте в південних областях для цілей видобування тепла більше підходять геліосистеми.

Вітроенергетичний ресурс України достатній для використання вітрогенераторів. Але в деяких областях відсоток вітрів, придатних для використання в вітроенергетиці має відносно сталу складову протягом року, а в деяких областях цей показник значно знижується в літній період.

## 6 РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП-ПРОЕКТУ

## 6.1 Опис ідеї проекту

Таблиця 6.1 – Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
	1. Прогнозування енерговитрат тепличного комплексу на довгостроковий період	1. Визначення обсягів замовлення енергоносіїв у відповідних підприємств 2. Визначення собівартості продукції 3. Визначення конкурентоспроможності продукції на ринку з урахуванням енерговитрат 4. Планування заходів для підвищення енергоефективності тепличного комплексу
	2. Короткострокове прогнозування енерговитрат на термін до одного тижня	1. Аналіз прогнозованих навантажень на системи управління мікрокліматом 2. Корегування агропромислових заходів в екстремальних умовах 3. Розрахунок впливу екстремальних умов на цикл розвитку продукції та собівартість

Таблиця 6.2 – Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№ п/ п	Техніко- економіч ні характер истики ідеї	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W (слабк а сторо на)	N (нейтрал ьна сторона)	S (сильна сторона)
		Мій проект	Конкурент1	Конкурент2			
1.	Математ ичний апарат	Нечітка логіка	Статистичні дані та методи розподілу навантажен ь	Теорія ймовірносте й			Термін виконання, легкість проектуван ня, прозорість моделі
2.	Об'єкт	Можлив ість впровад ження на різні об'єкти	Розрахунки робляться для певного об'єкта з визначеним и характерист иками	Розрахунки робляться для певного об'єкта з визначеним и характерист иками			Універсаль на

Продовження таблиці 6.2

3.	Точність	Висока за певних умов	Висока	Висока		Потрібні дані минулих періодів для оптимізації системи	
4.	Чутливість до обмежень	Низька	Потрібно оновлення (доповнення) розрахунків	Потрібно оновлення (доповнення) розрахунків			Гнучкість, можливість навчання на нових даних
5.	Рівень витрат на розробку	Середній	Середній	Високий		Як у конкурентів	

## 6.2 Технологічний аудит ідеї проекту

Таблиця 6.3 – Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1.		Теорія ймовірностей і статистика	+	+
2.		Нечіткі системи	+	+
3.		Нейронні мережі	+	+

## Продовження таблиці 6.3

Обрана технологія реалізації ідеї проекту: Побудова системи прогнозування за допомогою математичного апарата нечіткої логіки. Ця технологія є доступною з точки зору програмної реалізації, легко проектується в короткі строки, має методи підвищення точності і гнучкість до змін об'єкту.

## 6.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Таблиця 6.4 – Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	Немає
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	Немає
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу (вказати характер обмежень)	Немає обмежень
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Немає
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	Немає інформації

Таблиця 6.5 – Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія (цільові сегменти ринку)	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару

Продовження таблиці 6.5

1.	Системи прогнозування енерговитрат	Представники промислових і фермерських тепличних господарств	Основна ціль всіх груп клієнтів однакова – прогнозування і контроль енерговитрат	Система повинна бути автоматизованою, уніфікованою, недорогою, надійною
----	------------------------------------	--	--	---

Таблиця 6.6 – Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1.	Поява нових конкурентів на ринку	Зменшення долі на ринку	Збільшення витрат на рекламу, створення нових технологічних рішень
2.	Знецінення гривні	Зменшення попиту на ринку України	Вливання на іноземний ринок

Таблиця 6.7 – Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1.	Попит на системи прогнозування, або в сферах з аналогічними потребами	Збільшення долі ринку, можливість розвитку нових систем	Збільшення обсягів виробництва
2.	Розширення рішень на інші сфери промислової діяльності	Зменшення собівартості продукту, що призведе до зростання попиту	Вихід на нові ринки збуту

Таблиця 6.8 – Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Тип конкуренції – чиста	На ринку присутні конкурентні компанії зі схожими технологіями	Зменшення собівартості, вдосконалення технологій, нові додаткові можливості
2. За рівнем конкурентної боротьби – глобальний	Вихід на зовнішні ринки, відсутність локальних конкурентів	Продаж продукції за мінімально можливою ціною
3. За галузевою ознакою – внутрішньогалузева	Конкуренція на ринку ведеться агропромисловій сфері	Необхідно зосередити зусилля на пошуку конкурентних переваг, які дозволять компанії займати стійкі конкурентні позиції на даному ринку
4. Конкуренція за видами товарів – товарно-родова	Конкуренція на рівні технології задоволення потреб. Існує конкуренція з іншими компаніями	Ведення конкурентної боротьби в технологічній сфері
5. За характером конкурентних переваг – нецінова	Для значної частки споживачів визначальною при виборі є технічна перевага, або забезпечення технічних вимог	Ведення конкурентної боротьби в технологічній сфері

## Продовження таблиці 6.8

6. За інтенсивністю – марочна		Диференціація систем
-------------------------------	--	----------------------

Таблиця 6.9 – Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари - замітники
Складові аналізу	Немає	Відсутні бар'єри входження в ринок	Цінові значення розміру поставок – відсутні\цінові	Фактор вибору	Немає
Висновки:	Інтенсивність конкурентоспроможності – висока	- є можливість входу в ринок; - немає головних конкурентів; - строки виходу на ринок: середньострокові	Постачальники не диктують умов	Споживач обирає необхідний йому технічні характеристики, можливість масштабування, Приваблива ціна	Немає

Таблиця 6.10 – Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1.	Ціновий	Ціна на продукт
2.	Продуктова диференціація	Наявність різновиду рішення за реалізацією
3.	Динаміка галузі	Наявність попиту на продукт
4.	Продуктова лінія	Наявність видових різновидів пристрою

Таблиця 6.11 – Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «проекту»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з продуктом						
			-3	-2	-1	0	+1	+2	+3
1.	Ціновий	5	0	0	0	1	0	0	0
2.	Продуктова диференціація	10	0	0	0	0	1	0	0
3.	Динаміка галузі	15	0	0	0	0	0	0	1
4.	Продуктова лінія	10	1	0	0	0	0	0	0

Таблиця 6.12 – SWOT-аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони:</p> <p>Нові технології</p> <p>Надійне обладнання</p> <p>Технічні характеристики продукту</p> <p>Функціональність</p> <p>Ресурси</p>	<p>Слабкі сторони:</p> <p>Відсутність досліджень з приводу аналізу нових каналів збуту</p>
--	--

Продовження таблиці 6.11

Можливості: Зростання ринку Підтримка зі сторони інвесторів Зарубіжний ринок	Загрози: Внутрішній ринок
---	------------------------------

Таблиця 6.13 – Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1.	Використання засобів стимулювання збуту та мерчандайзингу для збільшення продаж	Отримання ресурсів від інвестицій	До 2-х років
2.	Розширення асортиментної лінійки за рахунок створення нових продуктів	Отримання ресурсів від інвестицій	До 3-х років
3.	Збільшення представленості на міжнародній арені	Отримання довгострокових кредитів	До 5 років

#### 6.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Таблиця 6.14 – Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент

Продовження таблиці 6.14

	Концентрований маркетинг	Вузькоспеціалізовані потреби	Орієнтований попит – великий	Конкуренція представлена 2-ма виробниками регіонального значення	Середня з майбутньою перспективою
Які цільові групи обрано: було обрано концентрований маркетинг – робота із спеціалізованими галузями, для яких потрібно вирішувати задачі прогнозування					

Таблиця 6.15 – Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку
1.	Конкурентна стратегія	Посилити використання таких конкурентних переваг як унікальне позиціонування та рівень диференціації	Посилення тиску зі сторони товарів конкурентів	Стратегія спеціалізації

Продовження таблиці 6.15

2.	Цінова стратегія	Даний метод дозволить регулювати ціни в залежності від витрат виробництва, а також забезпечити цільовий прибуток	1.Регулювання цін з боку держави; 2.Дефіцит якісного людського персоналу; 3.Коливання попиту.	Стратегія лідерства по витратах
3.	Стратегія просування	Для збільшення обсягів реалізації, формування лояльності споживачів	1. Зростання числа клієнтів; 2. Залежність попиту від купівельної спроможності споживачів 3.Збільшення інтенсивності конкуренції між існуючими гравцями	Стратегія спеціалізації

Таблиця 6.16 – Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки
	Ні	Компанія буде шукати нових споживачів	Компанія не буде копіювати основні характеристики товару	Стратегія заняття конкурентної ніші

Таблиця 6.17 – Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту
	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Точність</li> <li>2. Зона охопту</li> <li>3. Масштабування</li> <li>4. Прийнятна ціна</li> </ol>	Стратегія спеціалізації	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Велика зона охопту</li> <li>2. Точність</li> <li>3. Доступність технології</li> </ol>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Ціна</li> <li>2. Надійність</li> <li>3. Контроль</li> </ol>

## 6.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Таблиця 6.18 – Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами
1.	Ціна	Дешевше, ніж у конкурентів	Дешевше, ніж у конкурентів
2.	Якість	Точність прогнозування	Точність відповідає технічним вимогам галузі
3.	Дальність	Більше покриття	Більша зона охопту базової станції призводить до зменшення кількості базових станцій на відміну від конкурентів

Таблиця 6.19 – Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Система прогнозування енергоспоживання в системі управління мікрокліматом в теплиці		
	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	1. Програмний продукт	Нм	Тх
	Якість: тестування за державними і міжнародними стандартами		
	Пакування: без пакування, розгортання та налаштування системи на об'єкті		
	Марка: в процесі розробки		
	До продажу: інформацію про товар можна дізнатися у менеджерів та технічних консультантів		
	Після продажу: повністю готовий для роботи		

Продовження таблиці 6.19

За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: товар буде захищено за рахунок інтелектуальної власності і новітніх розроблених систем (ноу-хау)
--

Таблиця 6.20 – Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
	Більше 500000 грн	Більше 500000 грн	Від 10 млн. грн до 50 млн. грн	Від 250000 до 500000

Таблиця 6.21 – Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
	власна система збуту	Доставляти товар до клієнтів, проводити повне впровадження системи та тестування на об'єкті	Вертикальна система	Багатоканальні системи збуту

Таблиця 6.22 – Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонуванн я	Завдання рекламного повідомленн я	Концепці я рекламно го звернення
	Власники підприємств або інвестори в галузі, що готові що впровадженн я новітніх технологій	Спеціалізован і форуми та виставки в галузі	Доступність та об'єктивність інформації про фірму та товар	Вплив на процес прийняття рішення про купівлю	Підкресле ння переваг продукту

## ЗАГАЛЬНІ ВИСНОВКИ

1. Було розглянуто різні типи підсистем управління мікрокліматом в теплиці, їхні функції, можливості та задачі, які вони вирішують. З урахуванням цього, було виявлено методи та можливості прогнозування енергоспоживання в системі управління мікрокліматом теплиці.

2. Існуючі рішення в точності не відповідають поставленим вимогам, мають складну математичну модель, яку складно та трудомістко проектувати та підлаштовувати під зміни системі.

3. Використання нечітких експертних систем дає можливість створити систему прогнозування енерговитрат з забезпеченням висунутих вимог та можливістю досить швидко та просто адаптувати їх під різні умови та зміни.

4. Розроблено підсистему прогнозування енергоспоживання в системі управління мікрокліматом в теплиці з застосуванням математичного апарату нечітких множин і нечіткої логіки.

5. Система дозволяє виконувати прогноз рівня споживання енергії тепличного комплексу в залежності від зовнішніх кліматичних умов.

6. Використання системи прогнозування енергоспоживання дасть змогу виконувати довгострокові розрахунки щодо плану використання енергоресурсів, розрахунки собівартості продукції та виконати заходи для досягнення конкурентоспроможної ціни на товар. В короткостроковій перспективі система прогнозування енергоспоживання допоможе в планування заходів щодо попередження виникнення екстремальних умов в тепличних комплексах, плануванню енергоефективних рішень і вигідних технологічних умов.

7. Розглянуто можливість прогнозування енерговитрат з урахуванням різних комбінацій і методів отримання як по виробленню електроенергії, так і по виробленню теплової енергії. Доцільність застосування різних систем альтернативного енергоживлення з урахуванням географічного розташування і кліматичних особливостей областей України.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Ключникова Н. Немного про тепличный бизнес в Украине и не только [Электронный ресурс] / Наталья Ключникова. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://agroportal.ua/publishing/analitika/nemnogo-pro-teplichnyi-biznes-v-ukraine-i-netolko/#> (дата звернення 01.10.2018).
2. Энегргоcбережение [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.promgidronica.ru/vsjo-o-gidroponike/energoberejenie> (дата звернення 01.10.2018).
3. Управление микроклиматом в промышленных теплицах [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [https://www.promgidronica.ru/vsjo-o-gidroponike/mikroklimat\\_tep1](https://www.promgidronica.ru/vsjo-o-gidroponike/mikroklimat_tep1) (дата звернення 01.10.2018).
4. Оборудование теплиц [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://perspekta.ua/pages/oborudovanie-teplic> (дата звернення 01.10.2018).
5. <http://climatfavorit.ru/index.php/skhemy.html>
6. <https://oventilyatsii.ru/wp-content/uploads/2014/10/224-300x138.jpg>
7. <https://i.ytimg.com/vi/qzmtW2R5FCM/maxresdefault.jpg>
8. <http://greenhouse-nano.com.ua/images/vliyanie-spektra-sveta-na-rost-rastenij.jpg?crc=4092192609>
9. Соловьева И. А. Управление энергозатратами по показателям спроса на электропотребление производственных объектов с постоянным характером электрических нагрузок / И. А. Соловьева, А. П. Дзюба. // Вестник ПНИПУ. Социально-экономические науки. – 2017. – №1. – С. 317–330.
10. Соколова Н. П. Моделювання та програмне забезпечення прогнозування споживання електричної енергії об'єктами аеропорту / Н. П. Соколова. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2014. – №2. – С. 8–12.
11. Штовба С. Д. Введение в теорию нечетких множеств и нечеткую логику [Электронный ресурс] / Сергей Дмитриевич Штовба – Режим доступа до ресурсу: <http://matlab.exponenta.ru/fuzzylogic/book1/index.php> (дата звернення 10.01.2019).

12. Яхьяева Г. Основы теории нечетких множеств [Электронный ресурс] / Гульнара Яхьяева – Режим доступа до ресурсу: <https://www.intuit.ru/studies/courses/87/87/info> (дата звернення 10.01.2019).
13. <https://meteopost.com/weather/climate/>
14. [https://axiomplus.com.ua/pub/media/wysiwyg/Publications/file\\_19.jpg](https://axiomplus.com.ua/pub/media/wysiwyg/Publications/file_19.jpg)
15. [http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg\\_download/map\\_pdfs/G\\_opt-UA.png](http://re.jrc.ec.europa.eu/pvg_download/map_pdfs/G_opt-UA.png)
16. Эффективность солнечных панелей [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://axiomplus.com.ua/news/effektivnost-solnechnyh-panelej/> (дата звернення 01.11.2018).
17. <https://atmosfera.ua/wp-content/uploads/2013/08/gorizont.jpg>
18. <https://atmosfera.ua/wp-content/uploads/2013/08/vertical.jpg>
19. Типы ветрогенераторов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://atmosfera.ua/ru/winds/typy-vetrogeneratorov/> (дата звернення 01.11.2018).
20. Ветроэнергетический ресурс Украины [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: [http://ecost.lviv.ua/ru/grafic\\_viter.html](http://ecost.lviv.ua/ru/grafic_viter.html) (дата звернення 01.03.2019).
21. [http://ecost.lviv.ua/images/grafic/66\\_2.jpg](http://ecost.lviv.ua/images/grafic/66_2.jpg)
22. [http://ecost.lviv.ua/images/grafic/66\\_1.jpg](http://ecost.lviv.ua/images/grafic/66_1.jpg)
23. [http://ecost.lviv.ua/images/grafic/102\\_2.jpg](http://ecost.lviv.ua/images/grafic/102_2.jpg)
24. [http://ecost.lviv.ua/images/grafic/102\\_1.jpg](http://ecost.lviv.ua/images/grafic/102_1.jpg)
25. [http://ecost.lviv.ua/images/grafic/120\\_2.jpg](http://ecost.lviv.ua/images/grafic/120_2.jpg)
26. [http://ecost.lviv.ua/images/grafic/120\\_1.jpg](http://ecost.lviv.ua/images/grafic/120_1.jpg)
27. <https://elementum.com.ua/wp-content/uploads/2017/10/princip-raboty-teplovogo-nasosa.jpg>
28. Типы тепловых насосов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://atmosfera.ua/ru/heatpump/typy-teplovux-nasosov/> (дата звернення 01.11.2018).

29. Принцип работы теплового насоса [Электронный ресурс]. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <https://elementum.com.ua/blog/princip-raboty-teplovogo-nasosa/> (дата звернення 01.11.2018).
30. <https://atmosfera.ua/wp-content/uploads/2013/08/004.jpg>
31. <https://atmosfera.ua/wp-content/uploads/2013/08/006.jpg>
32. <https://atmosfera.ua/wp-content/uploads/2013/08/008.jpg>
33. <https://atmosfera.ua/wp-content/uploads/2013/08/010.jpg>
34. Области применения тепловых насосов [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://atmosfera.ua/ru/heatpump/oblasti-primeneniya-tn/> (дата звернення 01.10.2018).
35. <https://atmosfera.ua/wp-content/uploads/2013/08/RNB-%D0%9D%D0%B5%D1%80%D0%B6-RNB-%D0%AD%D0%BC%D0%B0%D0%BB%D1%8C--258x300.png>
36. <https://atmosfera.ua/wp-content/uploads/2013/08/RPA-%D0%A2%D0%B5%D0%BF%D0%BB%D0%BE%D0%BE%D0%B1%D0%BC%D0%B5%D0%BD--292x300.png>
37. [https://atmosfera.ua/wp-content/uploads/2013/08/C%D0%92%D0%9A\\_Twin\\_Power-300x247.jpg](https://atmosfera.ua/wp-content/uploads/2013/08/C%D0%92%D0%9A_Twin_Power-300x247.jpg)
38. Типы гелиосистем [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://atmosfera.ua/ru/geliosistemy/typy-geliosistem/> (дата звернення 01.11.2018).
39. Солнечные коллекторы для отопления помещений [Электронный ресурс]. – 2013. – Режим доступа до ресурсу: <http://solarsoul.net/solnechnye-kollektory-dlya-otopleniya-pomeshhenij> (дата звернення 01.11.2018).
40. <https://atmosfera.ua/wp-content/uploads/2014/02/volther-powervolt-200w-e1392976920494-300x165.png>
41. Как рассчитать необходимое количество солнечных коллекторов? [Электронный ресурс]. – 2016. – Режим доступа до ресурсу: [[https://utem.org.ua/materials/show/kak\\_rasschitat\\_neobhodimoe\\_kolichestvo\\_solnechnyh\\_kollektorov](https://utem.org.ua/materials/show/kak_rasschitat_neobhodimoe_kolichestvo_solnechnyh_kollektorov)] (дата звернення 01.03.2019).

## ДОДАТОК К

Тези, що доповідались на ІV Науково-практичній конференції Winter InfoCom Advanced Solutions 2018 (Київ, 2018).

## *Analysis of alternative sources of energy for greenhouses*

Vitalii Zvirniaka

National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»  
Kyiv, Ukraine  
vitazua@gmail.com

Viktor Dolyna

National Technical University of Ukraine  
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»  
Kyiv, Ukraine  
v\_79@gmail.com

**Abstract.** The prospects of development of greenhouses are described. The technologies of solar and wind energy use for construction of alternative energy supply systems are considered. The hybrid energy supply system is presented.

**Keywords:** greenhouse, microclimate control, alternative sources of electricity, solar power plants, wind power plants.

## *Аналіз джерел альтернативного енергоживлення для тепличних господарств*

Звіряка Віталій Дмитрович  
НТУУ КПІ імені Сікорського  
Київ, Україна  
vitazua@gmail.com

Долина Віктор Георгійович  
НТУУ КПІ імені Сікорського  
Київ, Україна  
v\_79@gmail.com

**Анотація.** Описано перспективи розвитку тепличних господарств. Розглянуто технології використання сонячної та вітряної енергії для побудови систем альтернативного енергопостачання. Представлено гібридну систему енергопостачання.

**Ключові слова:** тепличне господарство, управління мікрокліматом, альтернативні джерела електропостачання, сонячні електростанції, вітряні електростанції.

### ВСТУП

Рослинництво – провідна галузь сільського господарства України, на частку якого доводиться 70,3% в структурі валової продукції сільського господарства.

За 2015 рік в Україні було вироблено майже 482 тис.

тонн овочів закритого ґрунту, з них 114 тис. тонн сільськогосподарськими виробниками і 368 тис. тонн приватними господарствами. За даними на 1 січня 2016 року в Україні загальна площа під тепличними комплексами становила – 4,5 тис. га [1].

Кліматичні умови України дозволяють вирощувати овочі на відкритому ґрунті лише 4-6 місяців, хоча така продукція користується попитом серед покупців протягом усього року. Таким чином, можна припустити подальше збільшення площ, зайнятих тепличними господарствами.

Теплиці представляють собою одну з найскладніших, капіталомістких і трудомістких галузей сільського господарства, що функціонують цілий рік.

Так само варто відзначити, що вирощування культур традиційно пов'язане з високими витратами на енергоресурси, а частка енергоресурсів у структурі

собівартості може досягати 60-70%.

Всі ці фактори, а також високий рівень конкуренції, роблять галузь вкрай привабливою для впровадження енергоефективних технологій та інновацій.

#### СИСТЕМА АВТОМАТИЧНОГО УПРАВЛІННЯ МІКРОКЛІМАТОМ В ТЕПЛИЧНИХ ГОСПОДАРСТВАХ

Сучасні технології вирощування вимагають постійної підтримки певних режимів мікроклімату в теплицях. Система автоматичного управління мікрокліматом призначена для підтримки заданої температури і вологості повітря в теплиці, температури

і вологості в субстраті, концентрації двоокису вуглецю ( $\text{CO}_2$ ), режимів опромінення та режиму харчування рослин, а також управління іншими параметрами. Підтримка заданих параметрів забезпечується шляхом автоматичного управління потужністю систем обігріву, положенням вентиляційних фрамуг, виконавчими механізмами системи живлення, системи штучного освітлення, опромінення, концентрації  $\text{CO}_2$  і іншим інженерним обладнанням.

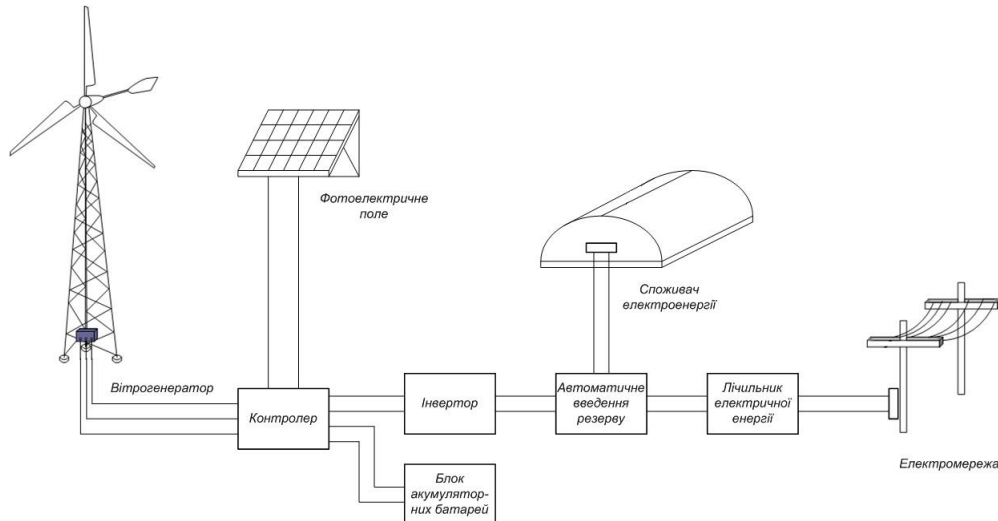


Рис. 1. Схема гібридної системи електропостачання

Варто відзначити, що окрім заощадження енергоресурсів, також актуальною є задача забезпечення безперервного енергоживлення, оскільки порушення кліматичних умов в період високих або низьких температур ззовні може призвести до втрати урожаю.

#### Сонячні ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Для перетворення енергії сонячного випромінювання в електрику використовують фотоелементи. Найбільш поширені технології виробництва фотоелементів:

Кристалічні фотоелементи: монокристалічні кремнієві фотоелементи (ККД 15-18%); полікристалічні фотоелементи (ККД 13-16%);

Тонкоплівкові фотоелементи: фотоелементи з використанням діселеніда індію і міді, CIS технологія (ККД 9-11%); фотоелементи з використанням телуриду кадмію, CdTe технологія (ККД 8,5%); фотоелементи з використанням аморфного кремнію (ККД 5-7%) [2,3].

Сонячне випромінювання не постійно в часі, тому вироблення фотомодулів не завжди відповідає споживанню енергії. Для накопичення надлишкової електроенергії і використанні її в випадках коли споживання перевищує вироблення використовують акумуляторні батареї.

#### Вітряні ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Вітроелектроустановки перетворюють кінетичну

енергію вітру в електричну за допомогою генератора в процесі обертання ротора.

Існують два основних типи вітрогенераторів. Вітрогенератор з горизонтальною віссю обертання, має дві або три лопаті, встановлені на вершині вежі, – найбільш поширений тип вітроелектроустановок. У вітроелектроустановках з вертикальною віссю обертання (Н-образні) провідний вал ротора розташований вертикально. Лопаті такої турбіни – довгі, зазвичай дугоподібні. Вони прикріплені до верхньої і нижньої частин башти. Завдяки вертикальному розташуванню ведучого вала ротора Н-образні турбіни, на відміну від турбін з горизонтальною віссю обертання, «захоплюють» вітер, що дме в будь-якому напрямку, і для цього їм не потрібно міняти положення ротора при зміні напрямку вітрових потоків [2,4].

#### ГІБРИДНІ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ

Енергії вітру і сонця можуть відмінно доповнювати або замінювати один одного. Гібридні системи електропостачання особливо ефективні для цілодобового автономного електропостачання. Ці системи являють собою станції на базі вітрогенераторів і сонячних фотовольтажних модулів приєднаних до єдиної енергосистеми. Продуктивність фотовольтажних батарей досить висока влітку і відносно низька взимку. У свою

чергу, забезпечення електроенергією, виробленою за рахунок енергії вітру, в літній період є проблематичним через часті безвітряні дні. Тому переваги гібридної системи «вітер-сонце» стає очевидним. Схему такої системи наведено на рис. 1.

Гібридна система з накопиченням електроенергії в акумуляторах може працювати паралельно з мережею. Паралельна робота здійснюється за допомогою пристрою АВР (автоматичне введення резерву). АВР дозволяє перемкнути живлення об'єкту за відсутності вітру (сонця) і повному розряді акумуляторів на електромережу або навпаки, перемикає навантаження на акумуляторні батареї при втраті живлення електромережі. Пріоритет може встановлюватися в ручну або програмним алгоритмом.

#### ВИСНОВКИ

В роботі розглянуто систему автоматичного управління мікрокліматом в тепличних господарствах. Проведено аналіз та обрано варіант реалізації системи альтернативного енергопостачання. Для завдання економії енергоресурсів ведуться подальші дослідження теплової енергії для використання її в тепличних господарствах в якості систем обігріву і охолодження.

#### ЛІТЕРАТУРА

1. Немного про тепличный бизнес в Украине и не только [Електронний ресурс]. – 2017. – Режим доступу до ресурсу: <http://agroportal.ua/publishing/analitika/nemnogo-pro-teplichnyi-biznes-v-ukraine-i-ne-tolko/> (дата звернення 01.09.2018).

2. Альтернативная энергетика [Електронний ресурс]. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: [https://ruхpert.ru/Альтернативная\\_энергетика](https://ruхpert.ru/Альтернативная_энергетика) (дата звернення 01.10.2018).

3. Типы солнечных панелей [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.atmosfera.ua/pvsolar/typy-solnechnyx-panelej/> (дата звернення 01.10.2018).

4. Типы ветрогенераторов [Електронний ресурс] – Режим доступу до ресурсу: <https://www.atmosfera.ua/winds/typy-vetrogeneratorov/> (дата звернення 01.10.2018).

