

**НАУКОВА РОБОТА НА КОНКУРС
СТУДЕНТСЬКИХ НАУКОВИХ РОБІТ З
ІНФОРМАЦІЙНИХ СИСТЕМ ТА ТЕХНОЛОГІЙ**

на тему:

«Інформаційна технологія визначення впливу погодних умов на продуктивність альтернативних джерел енергії»

АНОТАЦІЯ

Шифр наукової роботи: «Tanzherin».

Тема роботи: «Інформаційна технологія визначення впливу погодних умов на продуктивність альтернативних джерел енергії».

Мета: створення інформаційної технології, яка буде виконувати дослідження впливу постійно-змінних погодних умов на продуктивність альтернативних джерел енергії.

Актуальність: Все більше країн використовують концепцію розподільної генерації енергії, тому все більше набирає попит використання власниками домашніх господарств гібридних електросистем з відновлювальними джерелами енергії. У зв'язку з регіональними відмінностями метеорологічних умов, необхідно завчасно оцінювати продуктивність відновлювальних джерел енергії. Власнику такої енергоустановки доводиться аналізувати великі обсяги інформації та приймати рішення щодо ефективного управління. Покращити процеси управління та вирішити проблеми взаємодії користувача зі складним технічним об'єктом можна лише використовуючи інформаційні технології.

Об'єкт дослідження – процес прийняття рішень при оцінці впливу погодних умов на продуктивність альтернативних джерел енергії.

Предмет дослідження – моделі та інформаційна технологія для прийняття рішення щодо оцінки впливу погодних умов на продуктивність відновлювальних джерел енергії.

Наукова робота складається зі вступу, трьох розділів, висновків, списку використаних джерел (28) та п'яти додатків на 12 сторінках. Повний обсяг роботи складає 40 сторінок, основний текст роботи викладено на 23 сторінках. Робота містить 2 таблиці, 12 рисунків.

Результати дослідження доповідались на 2-х конференціях:

- Науково-технічна конференція «Інформатика, Математика, Автоматика», м. Суми, 23-26 квітня 2019 р.
- XV Міжнародний форум молоді «Молодь та сільськогосподарська техніка в 21 столітті», м. Харків, 4-5 квітня 2019 р.

Опублікована стаття у виданні, що обліковується базою даних Scopus.

Авторське право на авторський продукт захищено авторським правом №94425.

Ключові слова: РУТНОН, ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ, ВДЕ, ГІБРИДНА ЕЛЕКТРОМЕРЕЖА, НЕЧІТКЕ ЧИСЛО, КЛАСТЕРИЗАЦІЯ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ

ВДЕ – відновлювальні джерела енергії

ЕС – енергетична система

ГЕСВДЕ – гібридна енергетична система з відновлювальними джерелами енергії

АБ – акумуляторна батарея

СБ – сонячна батарея

ВЕУ – вітрогенератор

БД – база даних

А – потужність заряду акумуляторної батареї

В – потужність генерації від вітроустановки

СБ+А – потужність генерації від комбінації сонячної батареї та акумулятора

В+А – потужність генерації від комбінації вітрогенератора та акумулятора

СБ+В – потужність генерації від сонячної батареї та вітрогенератора

СБ+В+А – потужність генерації від комбінації сонячної батареї, вітрогенератора та акумулятора

ЗМІСТ

ВСТУП.....	4
1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ	6
2 МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПРОЦЕСІВ	8
2.1 Модель генерації електроенергії у залежності від погодних умов.....	8
2.2 Модель споживання електроенергії	13
2.3 Модель операційної логіки	16
2.4 Модель вибору ефективного режиму функціонування електросистеми	18
3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ.....	23
ВИСНОВКИ	26
СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ.....	27
ДОДАТОК А	30
ДОДАТОК Б.....	31
ДОДАТОК В	32
ДОДАТОК Г	36
ДОДАТОК Д	40

ВСТУП

Сьогоденний розвиток світу та зокрема економіки залежить від безперервного розвитку енергетики. Суспільство в багатьох випадках використовує органічне паливо, таке як нафтопродукти, газ та вугілля, для генерації електричної енергії. Але в силу обмеженості запасів природних копалин та нераціонального їх використання, утворюється небезпека енергетичної кризи, а також створення складних екологічних умов [24]. Тому постає питання про розробку заходів та застосування певних дій для подолання даної проблеми. Ефективним рішенням вбачається використання альтернативних джерел енергії.

У більшості випадків на сьогодні електроенергія виробляється централізовано на електростанціях. Не зважаючи на те, що великі електростанції мають великий енергетичний потенціал, існує необхідність одразу передавати електроенергію, адже її не можна накопичувати та зберігати у великих об'ємах без значних втрат, а потрібно одразу споживати [23]. Передача електроенергії на великі відстані також супроводжується втратами напруги. Тому все більше країн використовують концепцію розподільної генерації енергії, що полягає в генерації електроенергії кінцевими споживачами для особистих потреб та передача надлишку до загальної мережі, у випадку його наявності [26]. Об'єкти розподільної генерації використовують локальні відновлювальні джерела енергії (сонце, вітер та ін.). Енергетична система може бути гібридною за умови використання декількох джерел енергії [27].

У зв'язку з регіональними відмінностями метеорологічних умов, необхідно завчасно оцінювати продуктивність відновлювальних джерел енергії (ВДЕ). Вирішення даної проблеми потребує більш детального дослідження та створення результативного інструментарію з метою управління енергією за умови ефективного виробництва енергії. Однак, на початковому етапі необхідно виконати аналіз впливу погодних умов на продуктивність альтернативних джерел енергії.

Власнику гібридної енергоустановки доводиться сприймати, аналізувати великі обсяги інформації та приймати рішення щодо ефективного управління. Зростання рівня складності технічної системи створює на людину інформаційний тиск. Покращити процеси управління та вирішити проблеми взаємодії користувача зі складним технічним об'єктом можна лише використовуючи інформаційні технології.

Обов'язковою умовою для коректної роботи інформаційної технології є наявність поточних даних та прогнозних показників функціонування сонячних батарей та вітроустановок. Поточні дані збираються за допомогою різноманітних датчиків та з метеорологічного сайту, тоді як прогнозні можливо отримати лише на основі математичних моделей.

1 ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ ДОСЛІДЖЕННЯ

Інформаційна технологія – це процес збору, обробки, аналізу використання даних і формування управлінських рішень щодо вибору ефективного джерела енергії. На вході інформаційної технології є набори дискретних даних, які складаються зі зібраних прогнозних метеорологічних даних та даних про поточний технічний стан гібридної електросистеми. Обробка даних та систематизація виконується засобами інформаційної технології для забезпечення формування необхідних рішень. Для формалізації задачі прийняття рішень потрібно розробити відповідні математичні моделі оцінки потужності генерації від різних джерел та потужності споживання, а також визначити можливі варіанти використання джерел ВДЕ в залежності від поточних метеорологічних умов.

Тому метою даної роботи є створення інформаційної технології, яка буде виконувати дослідження впливу постійно-змінних погодних умов на продуктивність альтернативних джерел енергії. Практичною реалізацією інформаційної технології є відповідний програмний продукт, який допомагає комплексно підійти до вирішенні цієї проблеми, збираючи погодні показники з відповідного метеорологічного сайту, зберігаючи їх в базі даних, і допомагає швидко обробити і видати найефективніший варіант для оцінки, що задовольняє всім поставленим умовам.

Об'єкт дослідження – процес прийняття рішень при оцінці впливу погодних умов на продуктивність альтернативних джерел енергії.

Предмет дослідження – моделі та інформаційна технологія для прийняття рішення щодо оцінки впливу погодних умов на продуктивність ВДЕ.

Створена інформаційна технологія повинна вирішувати поставлені задачі:

- визначення рівня генерації енергії від різних типів ВДЕ в залежності від метеорологічних факторів;
- визначення рівня споживання електроенергії в господарстві;
- розробка моделі операційної логіки електросистеми;

- вибір ефективного режиму функціонування електросистеми;
- розробка архітектури та реалізація програмного продукту;

Наукова новизна полягає в наступному: вперше використано метод кластеризації для вибору ефективного режиму функціонування ГЕСВДЕ в залежності від погодних умов та технічного стану електросистеми. Вдосконалено нечітку модель генерації електроенергії сонячними батареями в залежності від нечітких значень інсоляції кожного сезону року.

У даній роботі розглядається гібридна електросистема, що обслуговує одно або декілька домашніх господарств. Електросистема складається з набору вітряних генераторів, сонячних батарей та акумуляторної батареї для накопичення електроенергії. Окрім того, існує наявний зв'язок з зовнішньою електромережою для передачі надлишкової електроенергії. Схема такої системи зображена на рисунку 1.1.

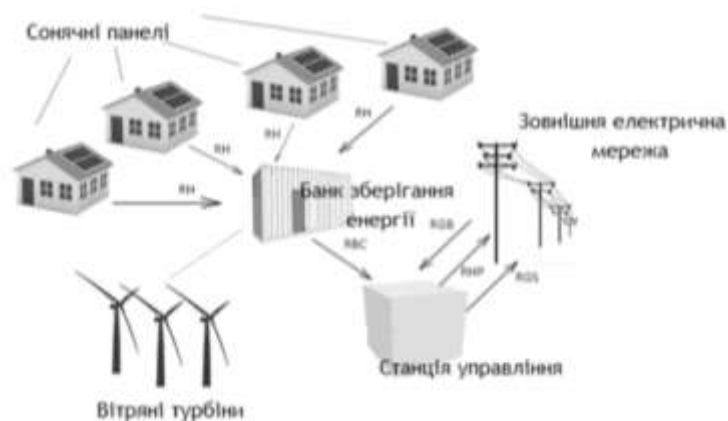


Рисунок 1.1 – Схема гібридної електросистеми

Електроенергія виробляється сонячними батареями та вітряними турбінами, та використовується для власних потреб. У разі генерації надлишкової електроенергії вона буде зберігатися в акумуляторних батареях або може бути передана до загальної електричної мережі.

Дані про технічний стан збираються з датчиків рівня заряду акумуляторної батареї, інші необхідні дані можливого рівня споживання та рівня генерації електроенергії прогноуються за допомогою математичних моделей в залежності від технічних та прогнозних метеорологічних умов. Результати прогнозування

оцінюються методом кластеризації, і на основі даної оцінки обирається найефективніше рішення у відповідний проміжок часу при заданих факторах.

Тестування моделей виконувалося для наявної ГЕСВД, що складається з сонячних батарей Amerisolar AS-6P30 загальною площиною 20 м², вітроустановки FLAMINGO AERO, а також акумуляторної батареї Pulsar HTL12-300.

2 МОДЕЛЮВАННЯ ОСНОВНИХ ПРОЦЕСІВ

2.1 Модель генерації електроенергії у залежності від погодних умов

Розроблена математична модель генерації електроенергії від ВЕУ враховує фактор впливу температури повітря та залежність аеродинамічних характеристик вітроротора від швидкості вітру.

Відповідно до результатів роботи вчених останніх років, аеродинамічна характеристика вітроротора $C_p(\lambda)$ не є постійним значенням, а змінюється зі швидкістю вітру за певною закономірністю[16]:

$$C_p(\lambda, V_w) = 1,14\left(\frac{9,47}{\lambda} - 1\right)e^{-\frac{f(V_w)}{\lambda}}, \text{ де } f(V_w) = 0,003869V_w^2 - 0,128V_w + 6,627 \quad (2.1)$$

Залежність густини повітря від температури повітря $t_{\text{п}}$ визначається наступним чином:

$$\rho(t_{\text{п}}) = 0,00001661t_{\text{п}}^2 - 0,004764t_{\text{п}} + 1,2924 \quad (2.2)$$

Кількість енергії, що виробляє вітроустановка за проміжок часу t визначається за формулою:

$$Ew(t) = \rho(t_{\Pi}) \times S \times C_p(\lambda, V_w) \times V_w^3(t) \quad (2.3)$$

де S – площа омивання ротора вітряної турбіни, m^2 ; $C_p(\lambda, V_w)$ – залежність коефіцієнта використання потужності вітру від швидкохідності вітроротора $\lambda = \omega r / V_w$; ω – кутова швидкість вітроротора, рад/с; r – радіус вітроротора, м; V_w – швидкість вітру, м/с; t – час, год.

Потужність генерації від сонячних батарей пропонується визначити як трикутне нечітке число [18]:

$$E_p = \langle E_{p_{min}}, E_{p_{mod}}, E_{p_{max}} \rangle \quad (2.4)$$

де $E_{p_{mod}}$ – модальне значення; $E_{p_{min}}, E_{p_{max}}$ – ліва та права межа інтервалу невизначеності.

Для визначення залежності $E_{p_{min}}, E_{p_{mod}}, E_{p_{max}}$ від зовнішніх та конструктивних факторів було оброблено набір експериментальних даних, що визначають вплив факторів на електричні характеристики сонячних батарей. Було досліджено 16 наборів сонячних батарей площиною $0,0403 m^2$ при інсоляції (550-1260) Вт/м² та температурі (12-70)°С. Набори містять фотоелементи різних розмірів для врахування невизначеності і такого роду [18].

У результаті обробки даних отримано залежності нечіткої моделі потужності СБ (2.4) [11]:

$$\begin{aligned} E_{p_{mod}} &= (0,0901E + 0,0873t - 0,00032Et)S, \\ E_{p_{min}} &= (0,0876E + 0,0499t - 0,00027Et)S, \\ E_{p_{max}} &= (0,0918E + 0,1055t - 0,00035Et)S, \end{aligned} \quad (2.5)$$

де S – загальна площа сонячних батарей, що входять до складу гібридної електромережі; E – освітленість; t – температура повітря.

Відповідно до представлення потужності СБ у вигляді нечіткого кортежу Er , де $Er_{min} < Er_{mod} < Er_{max}$, функція належності $\mu_p(x)$ має вигляд:

$$\begin{aligned} \mu_p(x) &= \frac{x - Er_{min}}{Er_{mod} - Er_{min}}, x \in [Er_{min}, Er_{mod}]; \\ \mu_p(x) &= \frac{Er_{max} - x}{Er_{max} - Er_{mod}}, x \in [Er_{mod}, Er_{max}]; \\ \mu_p(x) &= 0, x \notin [Er_{min}, Er_{max}], \end{aligned} \quad (2.6)$$

де для довільного числа $x \in [Er_{min}, Er_{mod}]$ справедливим є представлення $x = Er_{min} + \alpha(Er_{mod} - Er_{min})$, а для довільного $x \in [Er_{mod}, Er_{max}]$ – $x = Er_{max} - \alpha(Er_{max} - Er_{mod})$, де $\alpha \in [0, 1]$ – заданий рівень належності числа x нечіткій множині Er .

Для визначення значення коефіцієнта α опрацьовано дані освітленості в різних умовах хмарності протягом одного року (таблиця 2.1). У зв'язку з тим, що дані про освітленість визначаються у якісних показниках та характеризуються ступенем хмарності (слабка хмарність, помірна хмарність та ін.) у відсотках по-різному на різних сайтах прогнозу погоди, тому вирішено взяти за основу дані сайту Gismeteo.com [4], де зазначалось, що:

- «Ясно» - 0% хмарності;
- «Слабка хмарність» - 25% хмарності;
- «Помірна хмарність» - 50% хмарності;
- «Хмарно» - 100% хмарності.

Також слід враховувати, що рівень інсоляції залежить від сезону, дані про рівень інсоляції по місяцях при різних умовах хмарності наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 Інсоляція в умовах хмарності

Місяць	При безхмарному небі, Вт*год/м ²	В умовах повної хмарності, Вт*год/м ²
Січень	63,25	38,75
Лютий	94,37	59,08
Березень	160,99	95,48
Квітень	197,34	131,4
Травень	240,51	175,15
Червень	245,57	175,5
Липень	244,57	187,24
Серпень	207,51	165,23
Вересень	166,81	117,9
Жовтень	119,06	78,12
Листопад	76,31	42,16
Грудень	56,44	32,34

Визначено, що за умови сильної та помірної хмарності потужність СБ належить проміжку $[E_{p_{min}}, E_{p_{mod}}]$, а за умови безхмарної погоди або малої хмарності – $[E_{p_{mod}}, E_{p_{max}}]$.

На основі попередніх даних коефіцієнт α для випадків «Хмарно» та «Помірна хмарність» визначається за формулою:

$$\alpha = \frac{E2(n) + (E1(n) - E2(n)) \times \varphi}{E1(n)} \quad (2.7)$$

де $E2(n)$ – значення інсоляції в умовах повної хмарності, кВт*год/м²; $E1(n)$ – значення інсоляції в умовах безхмарного неба, кВт*год/м²; n – номер місяця у році; φ – рівень безхмарності, % (для «Хмарно» - 0, для «Помірна хмарність» - 0,5).

Для випадку малохмарної та ясної погоди коефіцієнт α визначається за формулою:

$$\alpha = 1 - \frac{E2(n) + (E1(n) - E2(n)) \times \varphi}{E1(n)} \quad (2.8)$$

де $E2(n)$ – значення інсоляції в умовах повної хмарності, кВт*год/м²; $E1(n)$ – значення інсоляції в умовах безхмарного неба, кВт*год/м²; n – номер місяця у році; φ – рівень безхмарності, % (для «Ясно» - 0, для «Помірна хмарність» - 0,25).

Результати обчислення коефіцієнта α по місяцях представлено в таблиці 2.2.

З наведених результатів розрахунку коефіцієнта α можна побачити, що за умови безхмарності потужність СБ приймає максимальне значення при заданих технічних та погодних умовах.

Таблиця 2.2 – Значення коефіцієнта α

Місяць	Сильна хмарність	Хмарність	Слабка хмарність	Ясно
Січень	0,6126	0,8063	0,0970	0
Лютий	0,6261	0,8130	0,0935	0
Березень	0,5931	0,7966	0,1017	0
Квітень	0,6658	0,8329	0,0835	0
Травень	0,7282	0,8641	0,0679	0
Червень	0,7146	0,8573	0,0713	0
Липень	0,7656	0,8828	0,0586	0
Серпень	0,7963	0,8982	0,0509	0
Вересень	0,7068	0,8534	0,0733	0
Жовтень	0,6561	0,8281	0,0860	0
Листопад	0,5525	0,7763	0,1119	0
Грудень	0,5713	0,7857	0,1072	0

Згідно з операційною логікою роботи гібридної електросистеми, за умови недостатнього рівня вироблення електроенергії СБ та ВЕУ використовується накопичена енергія акумуляторної батареї, що працює в режимі заряд-розряд.

Якщо акумуляторна батарея заряджається, то значення величини енергії E_B в батареї за час t дорівнює:

$$E_B(t) = E_B(t - 1) + (E_{Gen}(t) - E_L(t)) \quad (2.9)$$

де $E_{Gen}(t)$ – погодинне значення згенерованої електроенергії СБ та ВЕУ у час t , кВт×год; $E_L(t)$ – електроенергія, що необхідна споживачу час t , кВт×год; $E_B(t - 1)$ – кількість електроенергії в АБ за годину до часу t , кВт×год.

Кількість енергії E_B АБ за час t , якщо батарея розряджається, визначається за формулою:

$$E_B(t) = E_B(t - 1) + (E_L(t) - E_{Gen}(t)) \quad (2.10)$$

Якщо кількість виробленої електроенергії більше, ніж потрібно споживачу, то надлишок передається до акумуляторної батареї, доки кількість енергії в батареї не досягне свого максимуму $E_{B \max}$.

У випадку генерації надмірної кількості енергії та повністю зарядженої АБ, надлишок $EPG(t)$ буде передано до зовнішньої електромережі. Погодинне значення $EPG(t)$ визначається за формулою:

$$EPG(t) = E_{Gen}(t) - (E_L(t) + \frac{E_{B \max} - E_{Gen}(t-1)}{\eta_B}) \quad (2.11)$$

де $E_{B \max}$ – максимальне значення енергії в АБ, кВт×год.

2.2 Модель споживання електроенергії

Наступний етап полягає в визначенні кількості спожитої електроенергії. Досліджено, що процес електроспоживання є циклічним та залежить від ряду

внутрішніх (календар вихідних та святкових днів) та зовнішніх факторів (кліматичні особливості та ін.). На рисунку 2.1 представлено нерівномірний добовий графік споживання електроенергії, що явно можна поділити на 3 періоди: ранковий, вечірній та фоновий.

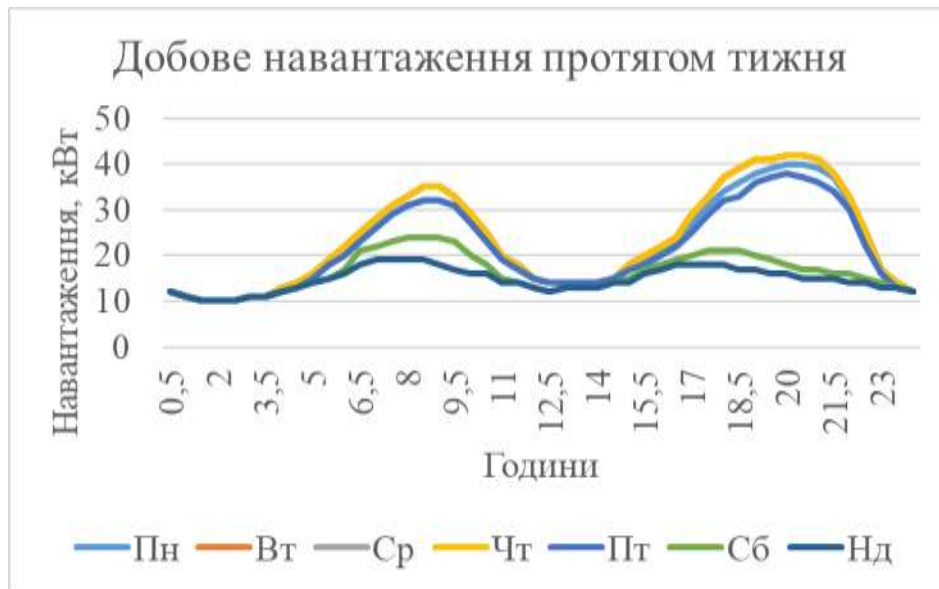


Рисунок 2.1 – Приклад добового графіка споживання електроенергії

Оскільки на графіку демонструється чітко виражені піки, то доцільно прогнозу функцію представити для піків споживання електроенергії як композицію функцій Гаусових кривих та для фоновому споживання як пряму (рис. 2.2).

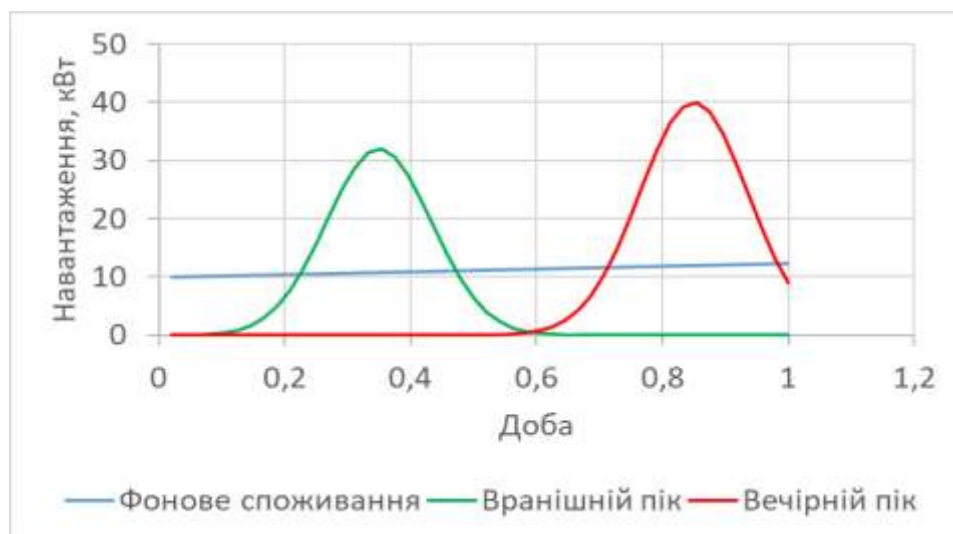


Рисунок 2.2 – Прогнозна добова функція споживання

Процес електроспоживання несе в собі певного роду невизначеність, тому миттєве споживання будується в нечіткому виді та апроксимується нечітким трикутним числом $W(t) = \langle W^{mod}(t), W^{min}(t), W^{max}(t) \rangle$. Отже, добовий цикл споживання електроенергії описується функцією виду:

$$\begin{aligned}
 W(t) &= \langle W^{mod}(t), W^{min}(t), W^{max}(t) \rangle, \\
 W^{mod}(t) &= W_{фон}^{mod}(t) + W_{1ник}^{mod}(t) + W_{2ник}^{mod}(t), \\
 W^{min}(t) &= W_{фон}^{min}(t) + W_{1ник}^{min}(t) + W_{2ник}^{min}(t), \\
 W^{max}(t) &= W_{фон}^{max}(t) + W_{1ник}^{max}(t) + W_{2ник}^{max}(t).
 \end{aligned}
 \tag{2.12}$$

$$\begin{aligned}
 W_{фон}^{mod}(t) &= a_1 t + a_2; W_{фон}^{min}(t) = b_1 t + b_2; W_{фон}^{max}(t) = c_1 t + c_2; \\
 W_{1ник}^{mod}(t) &= a_3 \cdot \exp(-(t - a_4)^2 / a_5); W_{1ник}^{min}(t) = b_3 \cdot \exp(-(t - b_4)^2 / b_5); \\
 W_{1ник}^{max}(t) &= c_3 \cdot \exp(-(t - c_4)^2 / c_5); \\
 W_{2ник}^{mod}(t) &= a_6 \cdot \exp(-(t - a_7)^2 / a_8); W_{2ник}^{min}(t) = b_6 \cdot \exp(-(t - b_7)^2 / b_8); \\
 W_{2ник}^{max}(t) &= c_6 \cdot \exp(-(t - c_7)^2 / c_8).
 \end{aligned}
 \tag{2.13}$$

де t – поточний час протягом доби; a_1 - a_8 , b_1 - b_8 , c_1 - c_8 – коефіцієнти. Відповідно, функція добового споживання електроенергії набуває вигляду, який представлено на рис. 2.3.

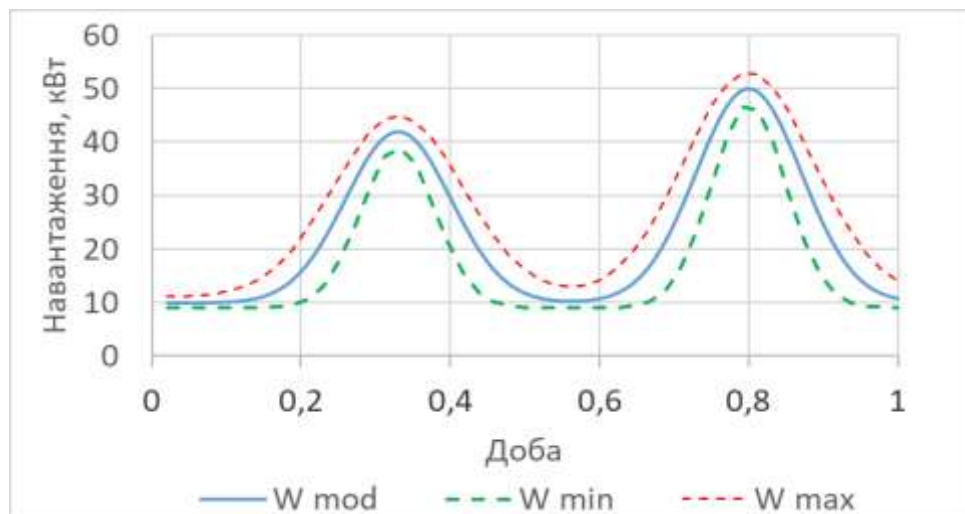


Рисунок 2.3 – Залежність прогнозу добового електроспоживання

Коефіцієнти a_1 - a_8 , b_1 - b_8 , c_1 - c_8 містять в собі інформацію про річні та тижневі цикли. Оскільки сезонні зовнішні коливання несуть в собі нелінійний характер, то оптимально представити модель у вигляді поліноміальної:

$$\begin{aligned} a_i &= a_{i1}d_n^2 + a_{i2}d_n + a_{i3}, \\ b_i &= b_{i1}d_n^2 + b_{i2}d_n + b_{i3}, \\ c_i &= c_{i1}d_n^2 + c_{i2}d_n + c_{i3}, \\ i &= \overline{1,8}, \end{aligned} \tag{2.14}$$

де d_n – номер дня тижня. У свою чергу отримані коефіцієнти залежать від номера тижня в році в наступному виді, де n – номер тижня в році:

$$\begin{aligned} a_{ij} &= a_{ij1}n^2 + a_{ij2}n + a_{ij3}, \\ b_{ij} &= b_{ij1}n^2 + b_{ij2}n + b_{ij3}, \\ c_{ij} &= c_{ij1}n^2 + c_{ij2}n + c_{ij3}, \\ i &= \overline{1,8}, j = \overline{1,3}, \end{aligned} \tag{2.15}$$

Таким чином, за допомогою запропонованих моделей одержимо прогнозні залежності споживання протягом доби для будь-якого дня року, які враховують добові, тижневі і річні цикли електроспоживання.

2.3 Модель операційної логіки

Відповідно до логіки роботи ГЕСВДЕ необхідно на першому етапі визначити потужність СБ, ВЕУ та АБ, що описуються наведеними у пунктах 2.1 математичними моделями. Далі прогнозується споживання електроенергії за визначений проміжок часу. Відповідно до даних метеорологічного сайту [4] вирішено приймати часовий інтервал рівним кожні 3 години протягом доби.

Далі визначається загальна кількість споживаної та згенерованої енергії в залежності від погодних та технічних факторів. Поточна потужність, E_{LG} та потужність зовнішньої мережі E_{GRID} може бути виражена наступним чином [1]:

$$E_{GEN} = E_P + E_w \quad (2.16)$$

$$E_{LG} = E_{LOAD} - E_{GEN} \quad (2.17)$$

$$E_{GRID} = E_{LG} - E_B, \quad (2.18)$$

де E_{GEN} – загальна потужність ВДЕ, кВт×год; E_P – потужність СБ, кВт×год; E_w – потужність ВЕУ, кВт×год; E_B – потужність АБ, кВт×год; E_{LOAD} – потужність навантаження на електричну систему, кВт×год.

Потужність акумуляторної батареї напряму залежить від заряду батареї, SOC , що в будь-який момент часу повинен бути між мінімальним та максимальним значенням, SOC_{MIN} та SOC_{MAX} , відповідно, щоб подовжити термін життя акумулятора, а саме [1]:

$$SOC_{MIN} \leq SOC(n) \leq SOC_{MAX}, \quad (2.19)$$

$$SOC_{MIN} = (1 - DOD) * SOC_{MAX}, \quad (2.20)$$

де DOD – глибина розряду акумулятора. У даному дослідженні максимальна глибина розряду вважається рівною 50% від загального заряду акумулятора, щоб подовжити термін роботи такого роду акумулятора.

Далі на основі отриманих даних методом кластеризації визначається ефективний режим функціонування у залежності від метеорологічних факторів, а саме визначення виду підключеного ВДЕ або їх комбінації. Якщо кількість згенерованої енергії недостатньо, то відбувається підключення акумулятора. В

іншому випадку надлишок електроенергії спрямовується до акумулятора чи зовнішньої електромережі.

2.4 Модель вибору ефективного режиму функціонування електросистеми

Для подальшої обробки прогнозних даних представляємо нечітке трикутне число споживання електроенергії у вигляді кластеру, для якого знаходимо його центр. Центр кластера – це середнє геометричне місце точок у просторі змінних:

$$W_{s_i}(t) = \sqrt[n]{|\prod_{i=0}^n W_i(t)|} \quad (2.21)$$

де n – кількість елементів кластеру, од.; W_i – кількість споживаної електроенергії за час t , кВт×год; t – проміжок часу, год.

За умови недостатньої генерації електроенергії відбувається підключення до акумулятора. Для запобігання раннього зносу акумуляторної батареї та подовження строку її служби необхідно не допускати 50% рівня заряду батареї [1]. За умови рівня заряду батареї нижче мінімально допустимого, до визначеного рівня споживання електроенергії додається кількість енергії, що потрібна для заряду акумулятора, яка відбирається від наявних у даний проміжок часу джерел енергії. У такому випадку загальне споживання визначається за формулою:

$$w(t) = W_{s_i}(t) + W_{bat}(t), \quad (2.22)$$

де W_{s_i} – споживання електроенергії в заданий період часу, кВт×год; W_{bat} – потужність, що необхідна для заряду акумулятора за час t , кВт×год; t – часовий період визначення загального рівня споживання, год.

У свою чергу кількість енергії, яка необхідна акумулятору для заряду за визначений період часу дорівнює:

$$W_{bat} = \frac{E * t}{T} * U, \quad (2.23)$$

де E – загальна ємність акумулятора (визначається за паспортними даними відповідного типу акумуляторної батареї), А×год; T – загальний час заряду акумулятора $T = \frac{E}{\eta * I}$, год; η – ККД акумулятора; I – зарядний ток зарядного пристрою (за паспортними даними), А; U – номінальна напруга акумулятора (за паспортними даними), В.

Тестування обраного методу визначення режиму функціонування енергосистеми виконувалося для найбільш характерних днів кожного сезону (а саме, літнє та зимове сонцестояння та весняне, осіннє рівнодення) кожні три години протягом доби при погодних умовах, які були на визначені дати, для різного рівня заряду акумулятора (Додаток В). Розглянемо можливі варіанти режимів функціонування енергосистеми на найбільш характерні дні кожного сезону, використовуючи прогнози погодні дані, та визначимо ефективність даного методу вибору кращого в заданих умовах джерела ВДЕ. Вибір ефективного режиму виконується методом кластеризації, що полягає в знаходженні найближчого за Евклідовою відстанню значення потужності джерела ВДЕ або їх композиції до центру кластера рівня споживання за показниками рівня генерації енергії.

Розглянемо найбільш характерні можливі варіанти функціонування енергосистеми для кожного сезону року, що демонструють особливості генерації енергії в заданий період року. Рівень енергії різних комбінацій джерел ВДЕ (табл. А.1) для 21 березня 2019 року о 8 годині ранку зображено на рис.2.4.

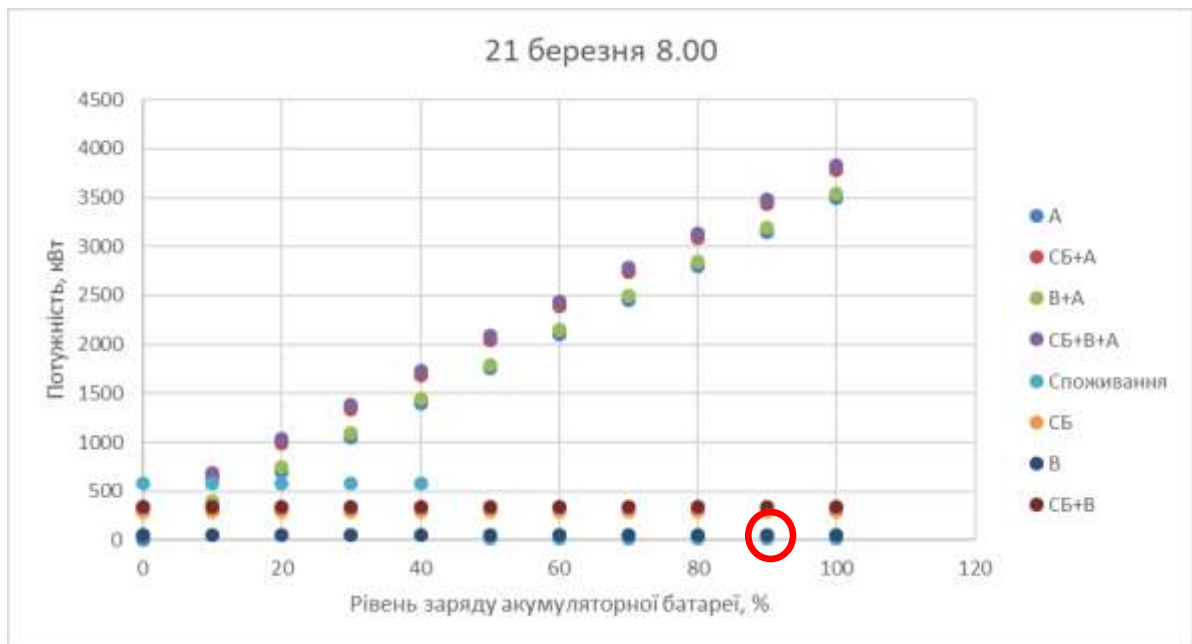


Рисунок 2.4 – Приклад рівня електроенергії в мережі

Рівень заряду акумулятора визначається за показниками відповідного датчика, рівень споживання та рівень генерації обраховується за запропонованими у розділі 2 моделями, погодні дані на визначений час збираються з сайту прогнозу погоди [4] (див. Додаток Б). Наприклад, при рівні заряду батареї 90% та споживанні електроенергії рівному 11,29 кВт×год найближчим є В джерело. Кількість згенерованої вітроустановкою енергії повністю покриває споживання електроенергії при цьому надлишок є в межах допустимих значень, які не призводять до втрат енергії, що забезпечує ефективне функціонування енергосистеми.

Рівень заряду батареї менше 50% не є ефективним у зв'язку з сильним зносом та скороченням терміну служби АКБ, а також спричиняє провал рівня електроенергії в нашій системі, тому не рекомендується допускати такий рівень заряду. Такі випадки обраховуються, але не розглядаються як можливі до вибору для визначення режиму функціонування. Рекомендовано працювати на рівні заряду більшому від 50% та заряджати її при наявності надлишково згенерованої електроенергії, що і забезпечує обраний метод визначення режиму [1].

Далі для літнього періоду обрано дату 21 червня 2019 року. На рисунку 2.5 розглядається приклад рівня генерації від різних джерел та споживання

електроенергії об 11 ранку при визначених погодних умовах та рівнях заряду акумулятора. При рівні заряду акумулятора 100 % та споживанні електроенергії 11,74 кВт×год та наявних на даний період погодних умов (див. Додаток Б) також найефективнішим виявилось джерело В.



Рисунок 2.5 – Приклад рівня електроенергії в мережі

Для осіннього періоду обрано дату 22 вересня 2019 року. На рисунку 2.6 розглядається приклад рівня генерації від різних джерел та споживання електроенергії при визначених погодних умовах та рівнях заряду акумулятора о 17 годині дня. При рівні заряду акумулятора 60 %, споживанні електроенергії 0,67 кВт×год та наявних на даний період погодних умов (див. Додаток Б) ефективним джерелом живлення є СБ.



Рисунок 2.6 – Приклад рівня електроенергії в мережі

Зимовий період представляється 22 грудня 2019 року. На рисунку 2.7 розглядається приклад рівня генерації від різних джерел та споживання електроенергії при визначених погодних умовах та рівнях заряду акумулятора о 20 годині. При рівні заряду акумулятора 70 %, споживанні електроенергії 1,47 кВт×год та наявних на даний період погодних умов (див. Додаток Б) ефективним джерелом живлення як і в попередньому випадку є СБ.

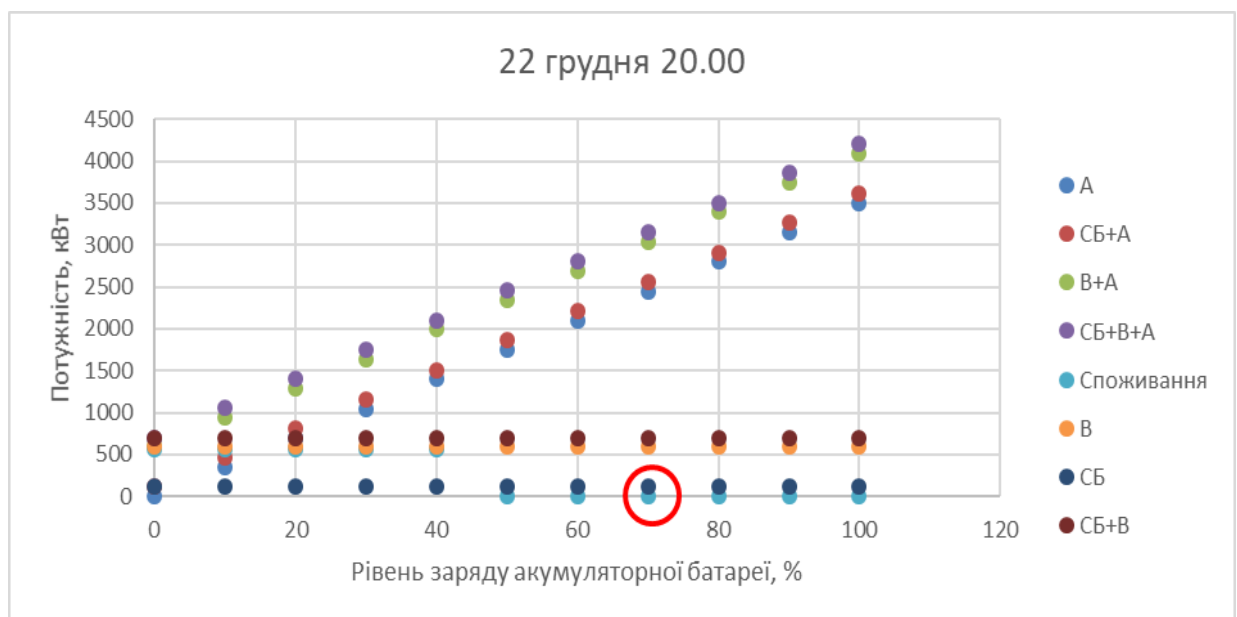


Рисунок 2.7 – Приклад рівня електроенергії в мережі

На основі отриманих даних генерації та споживання електроенергії за допомогою математичних моделей та прогнозних погодних даних [4] виконано вибір найефективнішого джерела електроенергії методом кластеризації. А також протестовано визначений метод на основі даних найбільш характерних днів кожного сезону та підтверджено працездатність даного методу.

3 ПРОГРАМНА РЕАЛІЗАЦІЯ

Запропонована інформаційна технологія має практичну реалізацію у вигляді програмного продукту, в якому вся логіка обробки операцій відбувається за моделями, наведеними в попередньому розділі. Для відображення залежностей етапів роботи інформаційної технології від наявних даних було створено функціональні моделі інформаційної технології у нотації IDEF0 [21]. На рисунку 3.1 представлено контекстну діаграму інформаційної технології нульового рівня. Декомпозиції інших рівнів наведені у додатку Г. Також для відображення взаємодії компонентів програмного продукту створено діаграму варіантів використання, що наведено в додатку Д [15].



Рисунок 3.1 – Контекстна діаграма

Архітектура програмного продукту зображена на схемі рис. 3.2. У зв'язку з тим, що оброблюються дані з зовнішніх джерел, програмний продукт збирає прогнозні погодні дані, дані інсоляції протягом року у вигляді Excel-таблиці, а також дані показників датчиків заряду акумуляторних батарей.

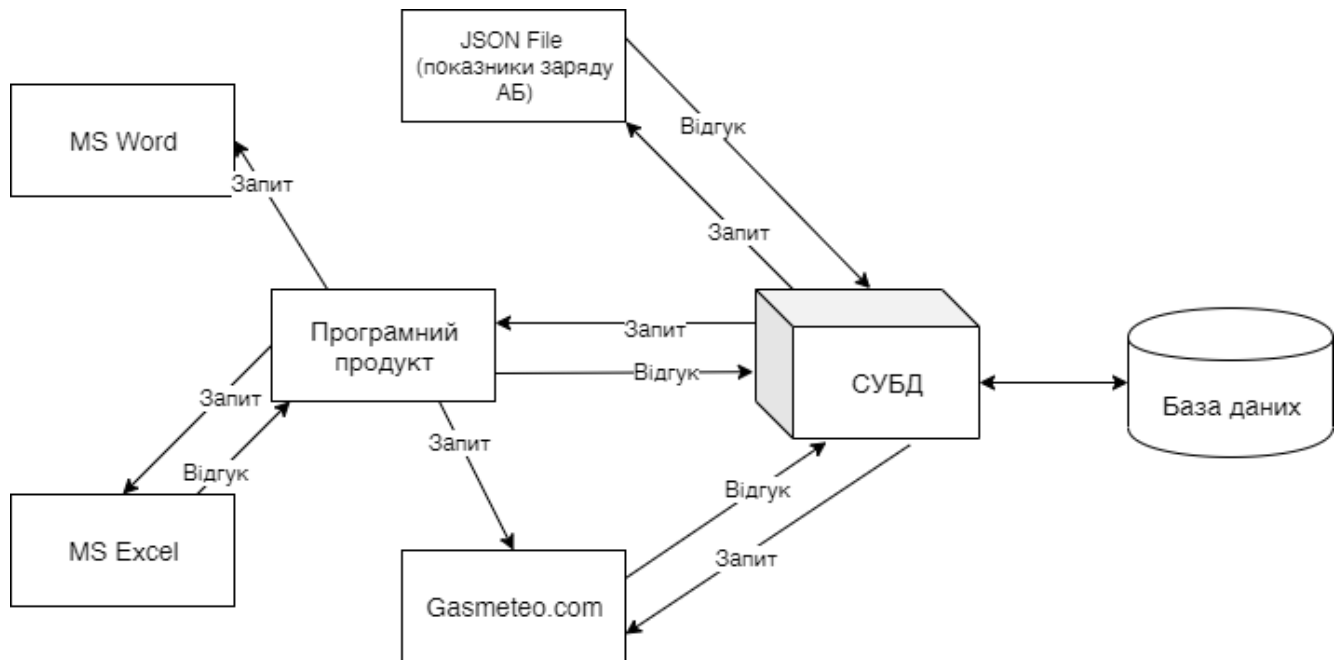


Рисунок 3.2 – Архітектура програмного продукту

За допомогою СУБД MySQL вони зберігаються в базу даних і взаємодія з базою даних відбувається під керівництвом СУБД MySQL [7]. Сам програмний продукт координує всі ці дії, а також бере дані з бази даних і видає їх в певному форматі: на екран користувачу та у вигляді звітів за запитом користувача. Після цього дані зберігаються в базу даних, концептуальна модель якої представлена у вигляді ER-діаграми (рис. 3.3) [16].

Програмний продукт розроблено засобами мови програмування Python [8, 20]. Для реалізації діалогового вікна з відповідним функціоналом застосовано інструменти програми QT Designer [10]. На рисунку 3.4 зображено головне вікно програмного продукту.

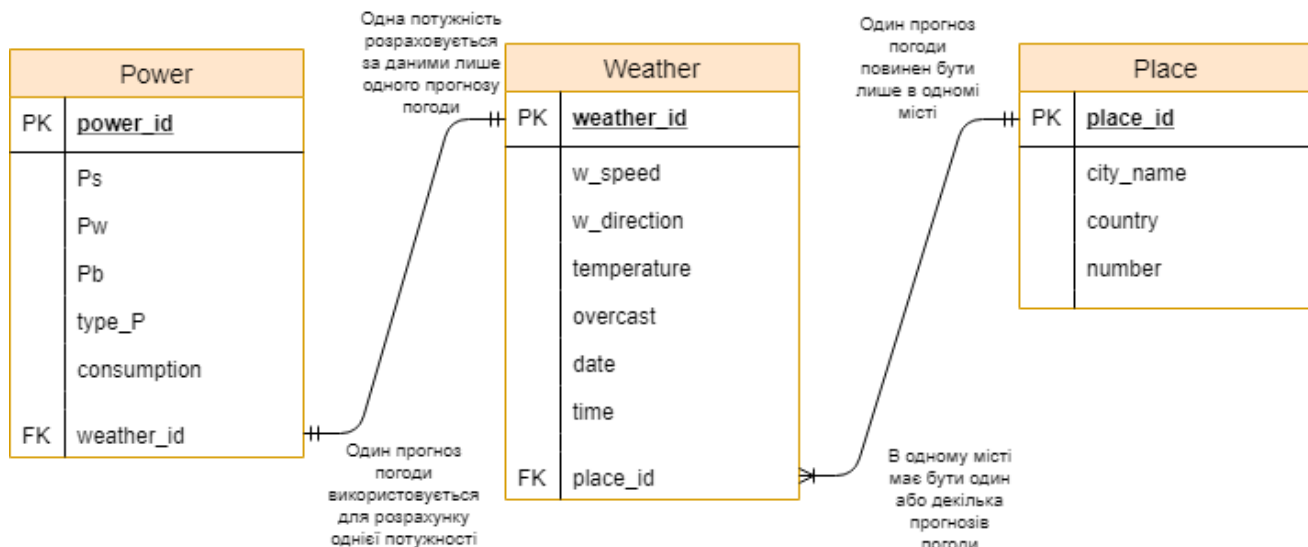


Рисунок 3.3 – Концептуальна модель бази даних

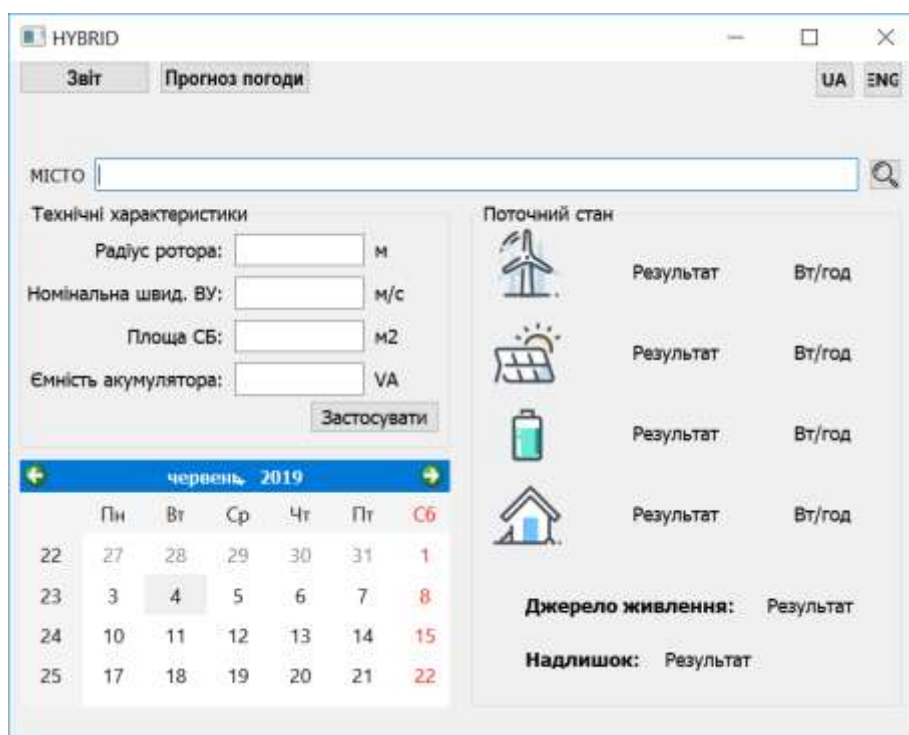


Рисунок 3.4 – Головне вікно програмного продукту

Розроблений програмний продукт захищено авторським правом та має авторське свідоцтво на комп'ютерну програму «Hybrid» №94425.

ВИСНОВКИ

У даній роботі було розроблено інформаційну технологію оцінки впливу погодних умов на продуктивність альтернативних джерел енергії. Розроблена інформаційна технологія, яка за допомогою математичних моделей формалізує процес визначення потужності генерації джерел енергії відповідно до погодних даних і технічних показників, дозволяє визначити загальний рівень генерації електроенергії ГЕСВДЕ, а також надає можливість, враховуючи операційну логіку роботи системи, визначити рівень споживання електроенергії в залежності від певного ряду внутрішніх та зовнішніх факторів.

Створена інформаційна технологія вирішує всі поставлені задачі, а саме:

- визначення рівня генерації енергії від різних типів ВДЕ в залежності від метеорологічних факторів, а також рівня споживання електроенергії користувачем в залежності від певних невизначених факторів;

- врахування операційної логіки електросистеми, що демонструють її роботу;

- вибір ефективного режиму функціонування електросистеми з використанням методу кластеризації.

Також запропонована інформаційна технологія реалізована у програмному продукті «Hybrid», на який отримано авторське свідоцтво №94425;

Було проведено тестування достовірності результатів вибору ефективного джерела ВДЕ, що забезпечує потреби користувача в електроенергії при визначених погодних умовах. Відповідні результати, що представлені в додатку Б продемонстрували працездатність обраного методу.

Отже, розроблена інформаційна технологія матиме попит серед домашніх господарств, бо дозволяє власникам гібридних електросистем швидко обробити наявну інформацію і обрати найефективніший варіант джерела електроенергії, що задовольняє всім поставленим вимогам без докладання додаткових зусиль.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Diego Arcos-Aviles. Fuzzy Logic-Based Energy Management System Design for Residential Grid-Connected Microgrids [Text] / Diego Arcos-Aviles, Julio Pascual, Luis Marroyo, Pablo Sanchis, Francesc Guinjoan // IEEE Transactions on Smart Grid – 2016 – P. 530 – 543. doi: 10.1109/TSG.2016.2555245
2. Konechenkov, A. Renewable Energy. Focusing: Ukraine Vision 2050 [Електронний ресурс] / А. Konechenkov. – режим доступу: <https://bitly.su/N8R3tCK6>.
3. GE Power ИБП [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://bitly.su/aXqNEv>
4. Gismeteo [Електронний ресурс] – режим доступу: gismeteo.com
5. MAN: Hybrid power plants [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://bitly.su/iDBI>
6. Multin, M. Integration of electric vehicles in smart homes – an ICT-based solution for V2G scenarios [Text] / M. Multin, F. Allering, H. Schmeck // 2012 IEEE PES Innovative Smart Grid Technologies (ISGT). – IEEE, 2012. – P. 1–8. doi:10.1109/isgt.2012.6175624
7. MySQL [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://bitly.su/xbHLDWb>
8. Python (programming language) [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://bitly.su/paHJe>
9. Ringel, M. Fostering the use of renewable energies in the European Union: the race between feedin tariffs and green certificates [Text] / M. Ringel // Renewable Energy. — 2006. — Vol. 31, № 1. — P. 1–17. doi:10.1016/j.renene.2005.03.015
10. Riverbank | Software | PyQt | What is PyQt? [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://bitly.su/7QdxtQIJ>
11. Shulyma, O. The Features of the Smart MicroGrid as the Object of Information Modeling [Text] / O. Shulyma, V. Shendryk, I. Baranova, A. Marchenko

// Communications in Computer and Information Science. — 2014. — Vol. 465. — P. 12–23. doi:10.1007/9783319119588_2

12. Tymchuk, S. Fuzzy Predictive Model of Solar Panel for Decision Support System in the Management of Hybrid Grid [Text] / S. Tymchuk, S. Shendryk, V. Shendryk, O. Piskarov, A. Kazlauskayte // ICIST 2019: Information and Software Technologies – 2019 – P. 416-427. doi: 10.1007/978-3-030-30275-7_32

13. Альтернативні джерела енергії [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://bitly.su/MFMQX>

14. Гибридные инверторы с функцией ИБП [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://bitly.su/gdhi>

15. Грекул В. И. Методические основы управления ИТ-проектами / В. И. Грекул, Н. Л. Коровкина, Ю. В. Куприянов. – Москва: Интернет-Университет Информационных Технологий: БИНОМ. Лаборатория знаний., 2010. – 391 с.

16. Діаграми „сутність-зв’язок”: призначення, місце застосування, правила побудови, ERD-стандарти. Сутності, відношення та зв’язки в нотації Чена [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://bitly.su/iUZ40>

17. Энергоэффективное керування вітроустановками малої потужності для генерування електричної і теплової енергії [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://bitly.su/nF4hvAn>

18. Казлаускайте А. С. Прогнозування рівня електрогенерації сонячних батарей при управлінні гібридною електромережею [Текст] / А. С. Казлаускайте, С. О. Шендрик // Информатика, математика, автоматика – 2019 – С. 138.

19. Кузьмин Е. В. Управление проектами с использованием Microsoft Project 2013: лабораторный практикум / Е. В. Кузьмин. - Самара: ПГУТИ, 2016. – 151 с.

20. Маккинли Уес Python и анализ данных. Руководство. – Пер. с англ. – М.: ДМК Пресс, 2015. – 482 с.

21. Методологія функціонального моделювання SADT [Електронний ресурс] – режим доступу: <https://bitly.su/kQFQ542>

22. На какие расстояния эффективно передавать электроэнергию? [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://bitly.su/iJk7sk>
23. Проблемы передачи электроэнергии на дальние расстояния энергии [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://bitly.su/rerniFAS>
24. Розвиток енергетичної кризи та її вплив на енергетичну безпеку країни [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://bitly.su/32qB>
25. Солнечная энергетика в Украине: кто и где строит новые станции [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://bitly.su/rFgV>
26. Українська Асоціація Відновлюваної Енергетики [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://bitly.su/wLQoj>
27. Чому в Україні слід розвивати децентралізовану енергетику вже сьогодні? [Электронный ресурс] – режим доступа: <https://bitly.su/Iuz3is>
28. Шендрик, В. В. Актуальность моделирования распределенных энергосистем эффективного использования возобновляемых источников энергии [Текст] / В. В. Шендрик, С. М. Ващенко, О. В. Шулима, К. А. Омеляненко // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 5/8(65). – С. 4–8. – Режим доступа: URL: <http://journals.uran.ua/eejet/article/view/18118/15866>.

ДОДАТОК А

Таблиця А.1 – Варіанти комбінацій джерел ВДЕ

Сонячні батареї	Вітрогенератори	Акумулятори	Загальна мережа
1	0	0	0
0	1	0	0
0	0	1	0
0	0	0	1
1	1	0	0
1	0	1	0
1	0	0	1
0	1	1	0
0	1	0	1
0	0	1	1
1	1	1	0
1	1	0	1
1	0	1	1
0	1	1	1
1	1	1	1

ДОДАТОК Б

Таблиця Б.1 – Прогноз погоди

		21.03.2019							
		2.00	5.00	8.00	11.00	14.00	17.00	20.00	23.00
t		0	-1	1	4	4	4	3	3
хмарність		ясно	нев. хмар	пом. хмар	хмарно	хмарно	пом. хмар	хмарно	пом. хмар
шв.вітру		1	2	3	5	5	5	3	3
вітер		з	юз	з	з	з	сз	сз	з
		21.06.2019							
		2.00	5.00	8.00	11.00	14.00	17.00	20.00	23.00
t		21	19	20	25	29	31	30	26
хмарність		нев. хмар	пом. хмар	пом. хмар	нев. хмар	пом. хмар	пом. хмар	нев. хмар	нев. хмар
шв.вітру		2	2	2	3	3	1	3	1
вітер		в	в	в	ю	юв	юв	юв	в
		22.09.2019							
		2.00	5.00	8.00	11.00	14.00	17.00	20.00	23.00
t		7	7	10	12	11	15	15	10
хмарність		пом. хмар	хмарно	хмарно	хмарно	хмарно	пом. хмар	пом. хмар	хмарно
шв.вітру		4	5	5	7	8	9	6	4
вітер		юз	юз	з	з	сз	з	з	сз
		22.12.2019							
		2.00	5.00	8.00	11.00	14.00	17.00	20.00	23.00
t		5	7	7	8	9	9	10	9
хмарність		хмарно	хмарно	хмарно	хмарно	хмарно	хмарно	хмарно	хмарно
шв.вітру		5	5	6	6	7	6	7	6
вітер		юв	ю	юв	ю	юв	ю	юв	ю

ДОДАТОК В

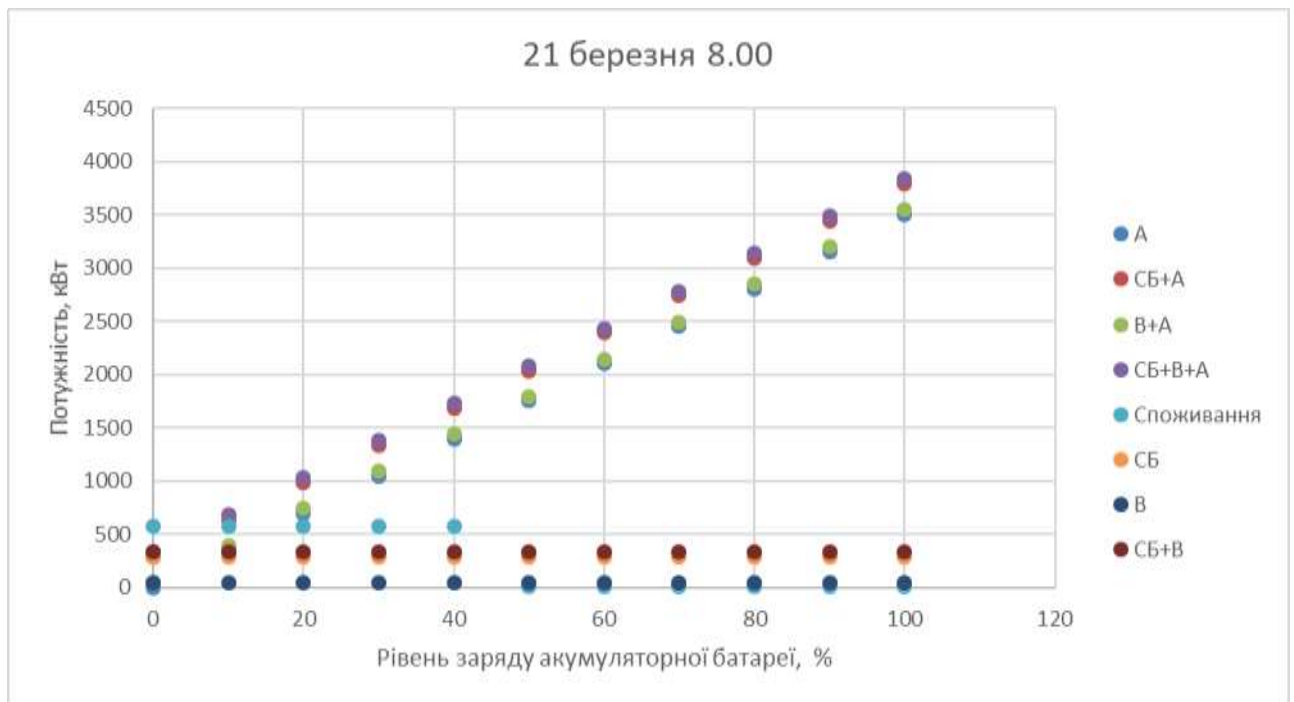


Рисунок В.1 – Приклад рівня електроенергії в мережі на 21 березня 8.00

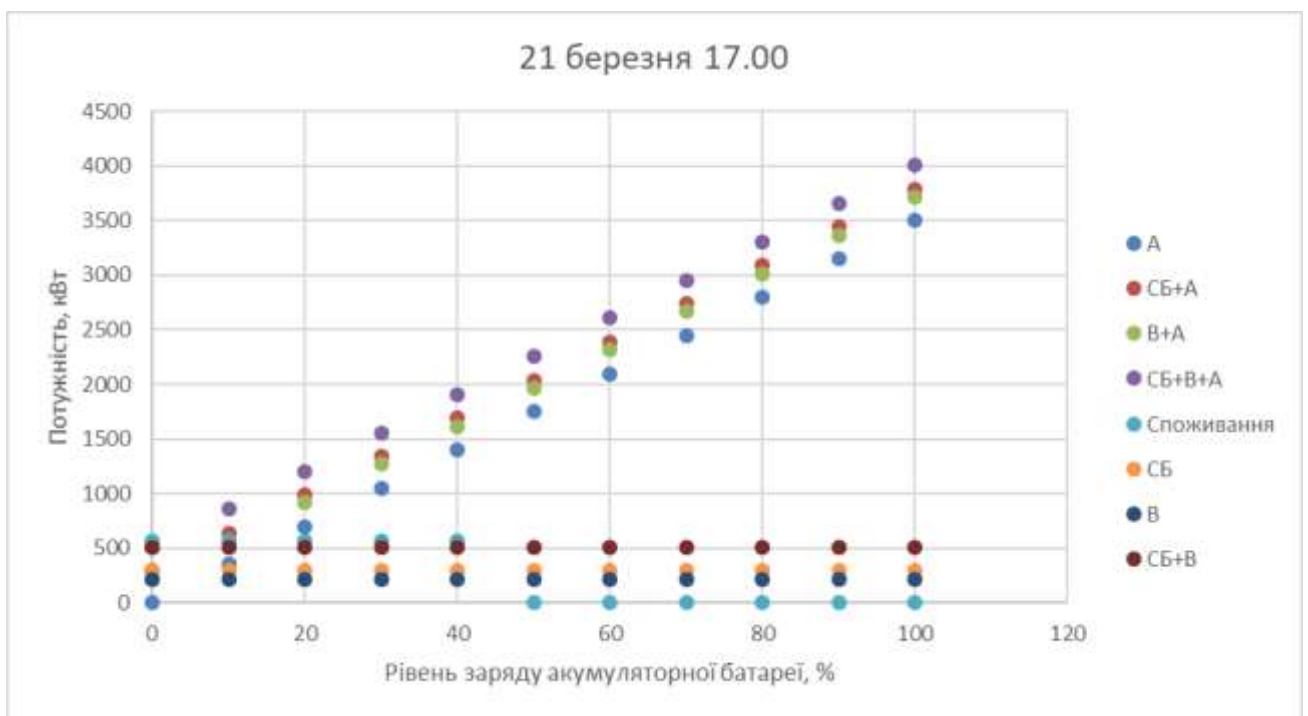


Рисунок В.2 – Приклад рівня електроенергії в мережі на 21 березня 17.00

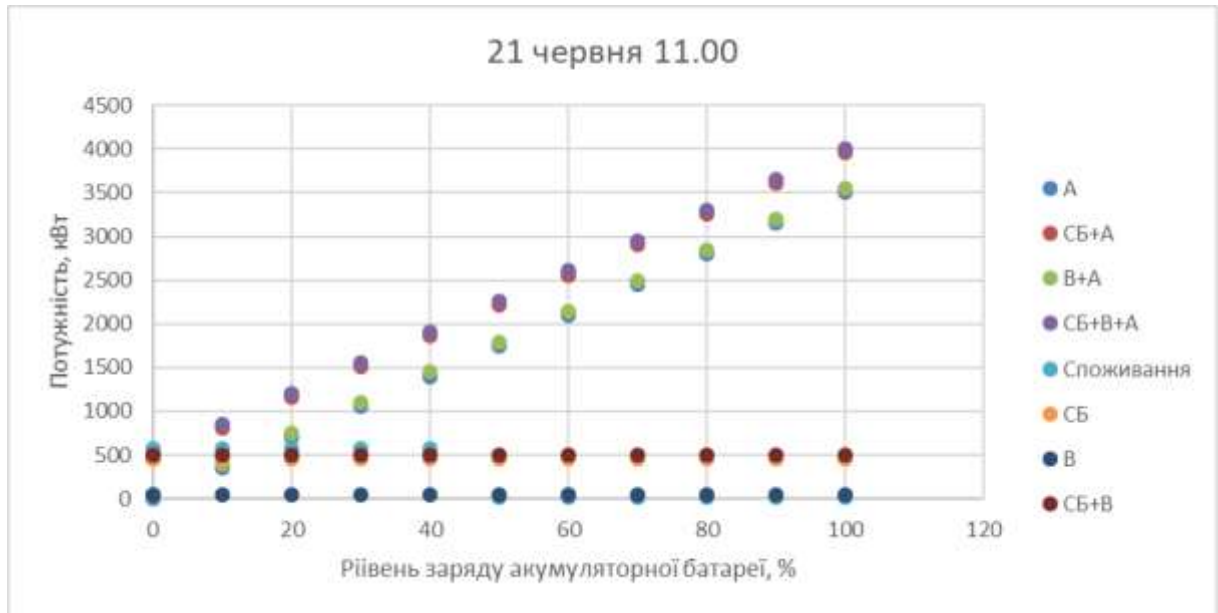


Рисунок В.3 – Приклад рівня електроенергії в мережі на 21 червня 11.00

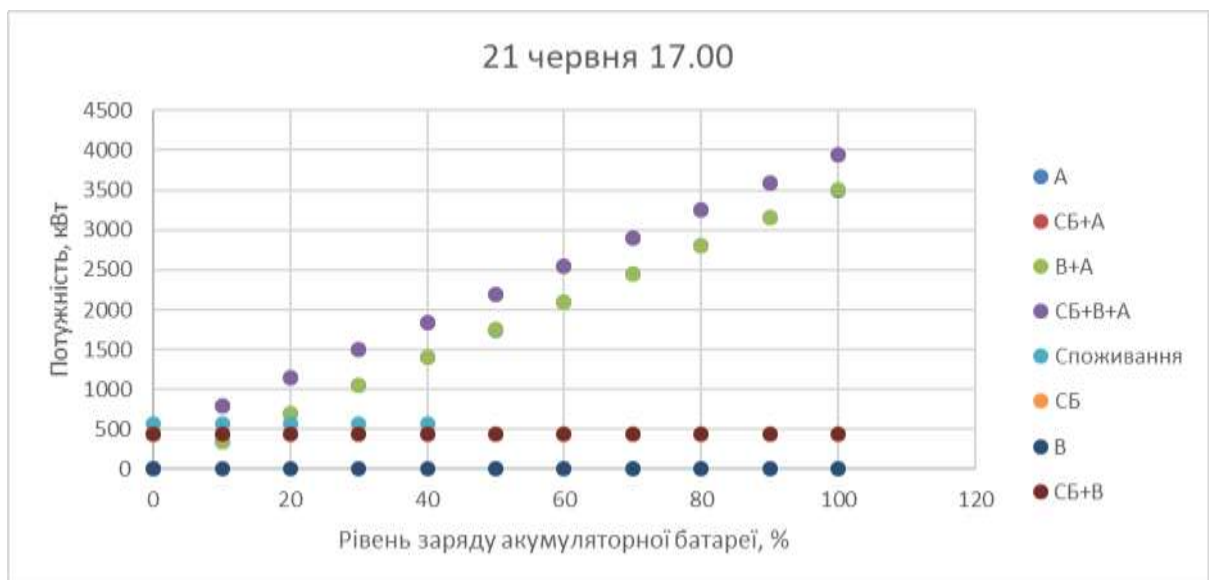


Рисунок В.4 – Приклад рівня електроенергії в мережі на 21 червня 17.00

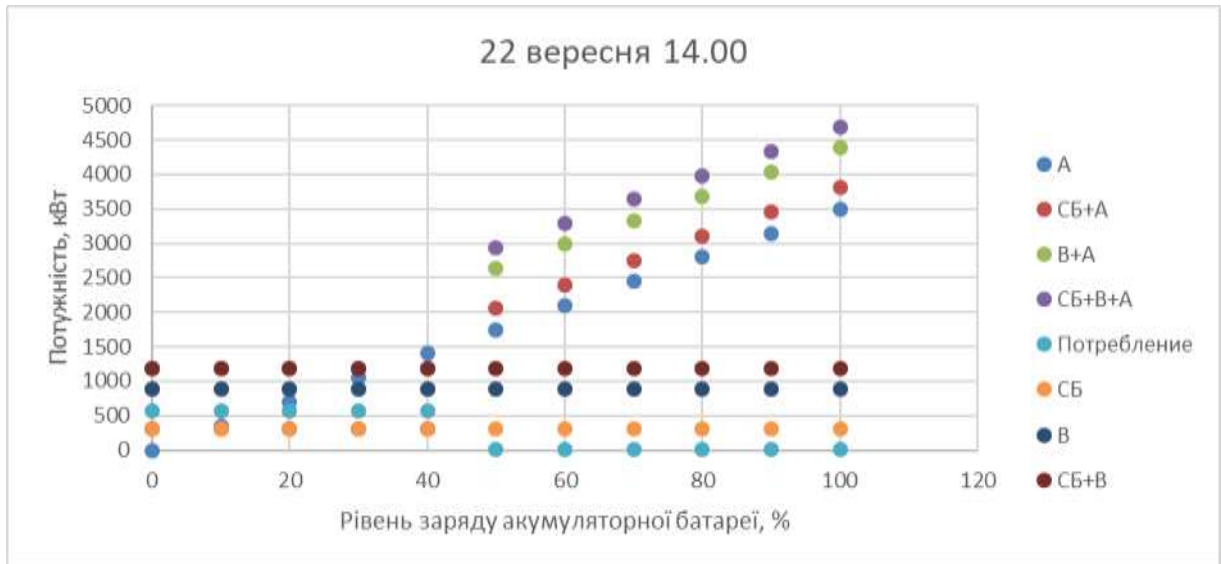


Рисунок В.5 – Приклад рівня електроенергії в мережі на 22 вересня 14.00

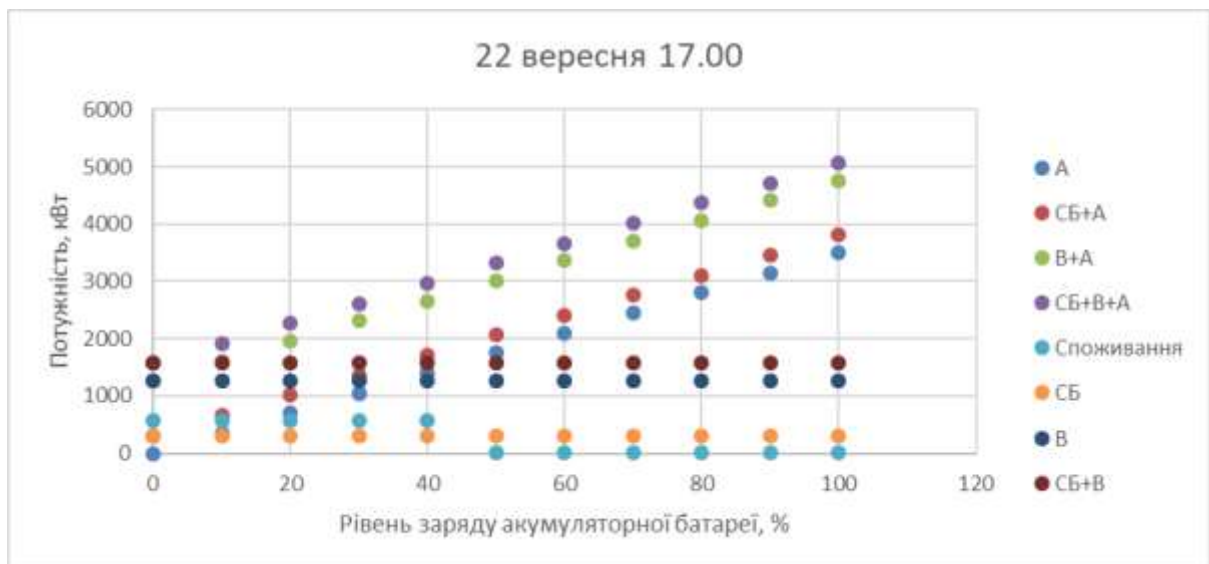


Рисунок В.6 – Приклад рівня електроенергії в мережі на 22 вересня 17.00

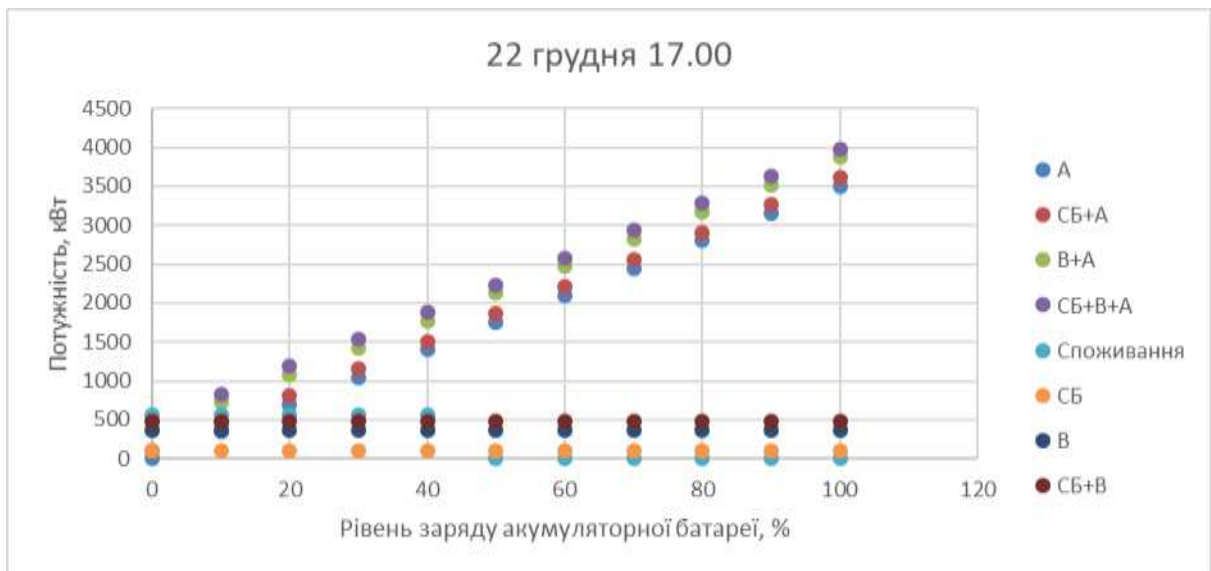


Рисунок В.7 – Приклад рівня електроенергії в мережі на 22 грудня 17.00



Рисунок В.8 – Приклад рівня електроенергії в мережі на 22 грудня 20.00

ДОДАТОК Г



Рисунок Г.1 – Контекстна діаграма

Вхідними даними до функції «Визначення впливу погодних умов на продуктивність альтернативних джерел енергії» є:

- Список міст;
- Погодні дані Gismeteo;
- Технічні характеристики ВЕУ та СБ;
- Дані інсоляції;
- Показники датчиків АБ.

На виході ми отримуємо визначене джерело електроенергії.

Визначення впливу погодних умов керується вимогами користувача, функціональними обмеженнями сайту Gismeteo, документацією phpMyAdmin та математичною моделлю.

Механізмами або ресурсами є Інтернет, БД та програмний продукт.

У зв'язку з тим, що контекстна діаграма надає лише загальний опис системи, то необхідно декомпонувати її для деталізації структури. Цей процес

дозволяє детально ознайомитись з послідовністю виконання робіт для досягнення потрібного результату.

Дана діаграма має 2 рівні деталізації. На першому рівні деталізації моделі батьківська діаграма декомпозується на 3 блоки, що представлені на рис. А.2:

- Заповнення Баз Даних;
- Розрахунок потужностей;
- Визначення пріоритетності.

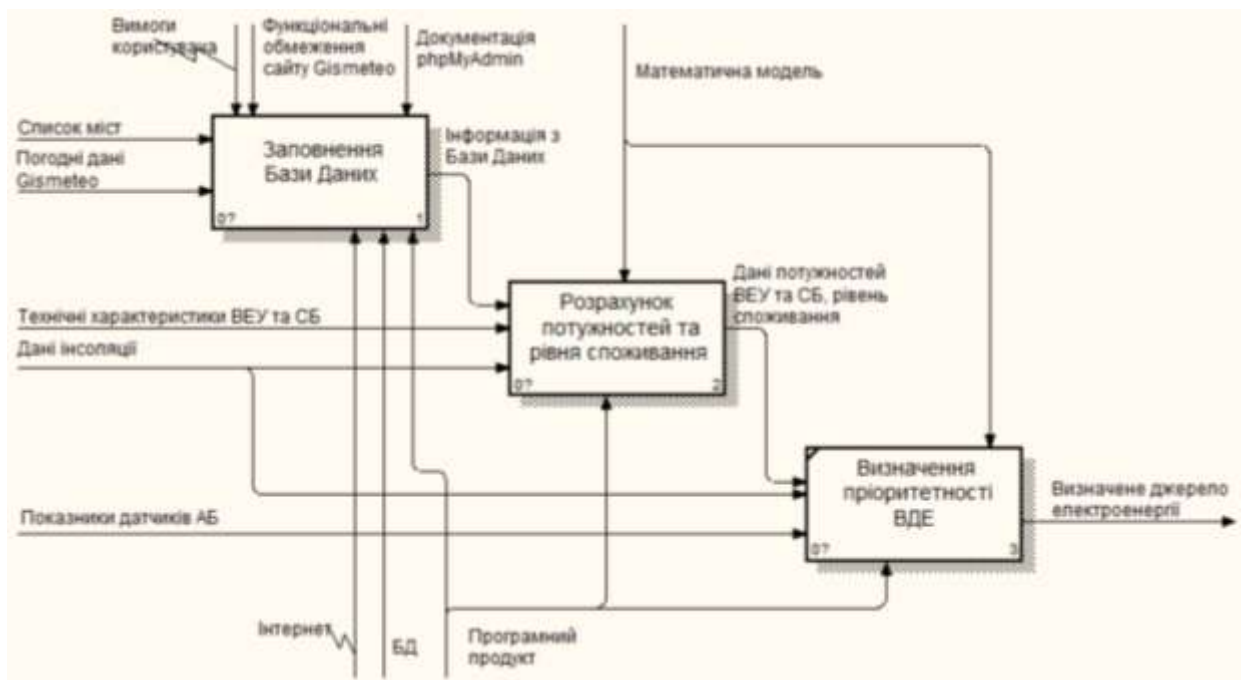


Рисунок Г.2 – Діаграма декомпозиції IDEF0

Вхідними стрілками до діяльності «Заповнення Баз Даних» є «Список міст» та «Погодні дані Gismeteo»; вихідними – «Інформація з заповненої Баз Даних»; стрілками контролю – «Вимоги користувача», «Функціональні обмеження сайту Gismeteo» та «Документація phpMyAdmin»; стрілками механізмів – «Інтернет», «БД» та «Програмний продукт».

Вхідними стрілками до діяльності «Розрахунок потужностей» є «Інформація з заповненої Баз Даних», «Технічні характеристики ВЕУ та СБ» та «Дані інсоляції»; вихідними – «Дані потужностей ВЕУ та СБ, рівень споживання»; стрілкою контролю – «Математична модель»; стрілкою механізмів – «Програмний продукт».

Вхідними стрілками до діяльності «Визначення пріоритетності ВДЕ» є «Дані потужностей ВЕУ та СБ, рівень споживання», «Дані інсоляції», «Показники датчиків АБ»; вихідною – «Визначене джерело електроенергії»; стрілкою контролю – «Математична модель»; стрілкою механізмів – «Програмний продукт».

Як було зазначено раніше, контекстна діаграма має 2 рівні декомпозиції. Діаграму декомпозиції процесу «Заповнення Баз Даних» зображено на рис. А.3.

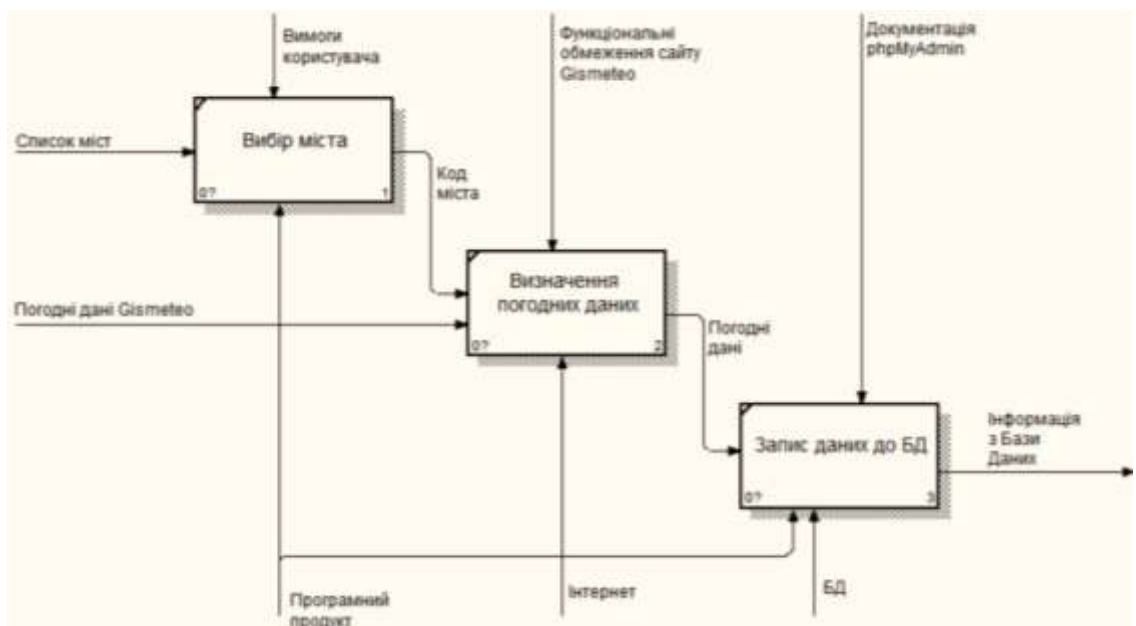


Рисунок Г.3 – Діаграма декомпозиції IDEF0 «Заповнення Баз Даних»

Вхідною стрілкою до діяльності «Вибір міста» є «Список міст»; вихідною – «Код міста»; стрілкою контролю – «Вимоги користувача»; стрілкою механізмів – «Програмний продукт».

Вхідними стрілками до діяльності «Визначення погодних даних» є «Код міста» та «Погодні дані Gismeteo»; вихідною – «Погодні дані»; стрілкою керування – «Функціональні обмеження сайту Gismeteo»; стрілкою механізмів – «Інтернет».

Вхідними стрілками до діяльності «Запис даних до БД» є «Погодні дані»; вихідними – «Заповнена База Даних»; стрілкою керування – «Документація phpMyAdmin»; стрілками механізмів – «БД» та «Програмний продукт».

На рисунку А.4 зображено діаграму декомпозиції процесу «Розрахунок потужностей та рівня споживання».

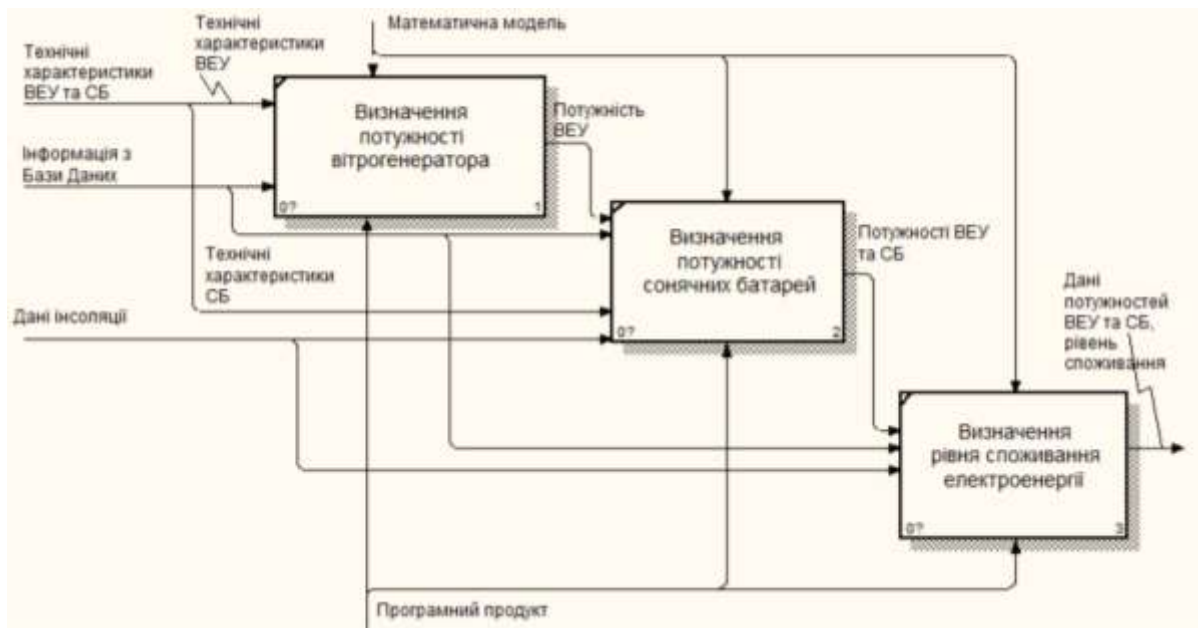


Рисунок Г.4 – Діаграма декомпозиції IDEF0 «Розрахунок потужностей та рівня споживання»

Вхідними стрілками до діяльності «Визначення потужності вітрогенератора» є «Технічні характеристики ВЕУ» та «Заповнена База Даних»; вихідними – «Потужність ВЕУ»; стрілками контролю – «Математична модель»; стрілками механізмів – «Програмний продукт».

Вхідними стрілками до діяльності «Визначення потужності сонячних батарей» є «Заповнена База Даних», «Технічні характеристики СБ» та «Дані інсоляції»; вихідними – «Потужності ВЕУ та СБ»; стрілками контролю – «Математична модель»; стрілками механізмів – «Програмний продукт».

Вхідними стрілками до діяльності «Визначення рівня споживання електроенергії» є «Заповнена База Даних», «Дані інсоляції» та «Потужності ВЕУ та СБ»; вихідними – «Потужності ВЕУ та СБ, рівень споживання»; стрілками контролю – «Математична модель»; стрілками механізмів – «Програмний продукт».

ДОДАТОК Д

Для кращого розуміння роботи системи часто використовують опис функціональності через варіанти використання. Діаграми варіантів використання описують перелік функцій, які повинна робити система, для формування загальних вимог до поведінки системи, що проектується.

Для розробки моделі варіантів використання інформаційної технології було визначено відповідний перелік акторів:

- User – користувач, який має на меті настроїти гібридну мережу під власні потреби;
- Gismeteo.com – сайт прогнозу погоди, дані якого використовуються для подальших підрахунків;
- MS Excel – файли програми Microsoft Office Excel, які містять необхідні дані інсоляції для коректних розрахунків;
- Data Base – База Даних, яка накопичує всі необхідні для роботи програмного продукту дані;
- MS Word – файл програми Microsoft Office Word для запису звіту;

Після визначення всіх можливих акторів, які взаємодіють з системою, формується перелік варіантів використання:

- Parsing – визначення погодних умов певного міста;
- Search – пошук міста;
- Calculation – обчислення потужностей та рівня споживання електроенергії;
- Priority – визначення пріоритетного джерела енергії;
- Save – збереження отриманого результату;

Використовуючи сформовані дані можливих варіантів використання та акторів було розроблено діаграму варіантів використання, що зображено на рисунку Д.1.

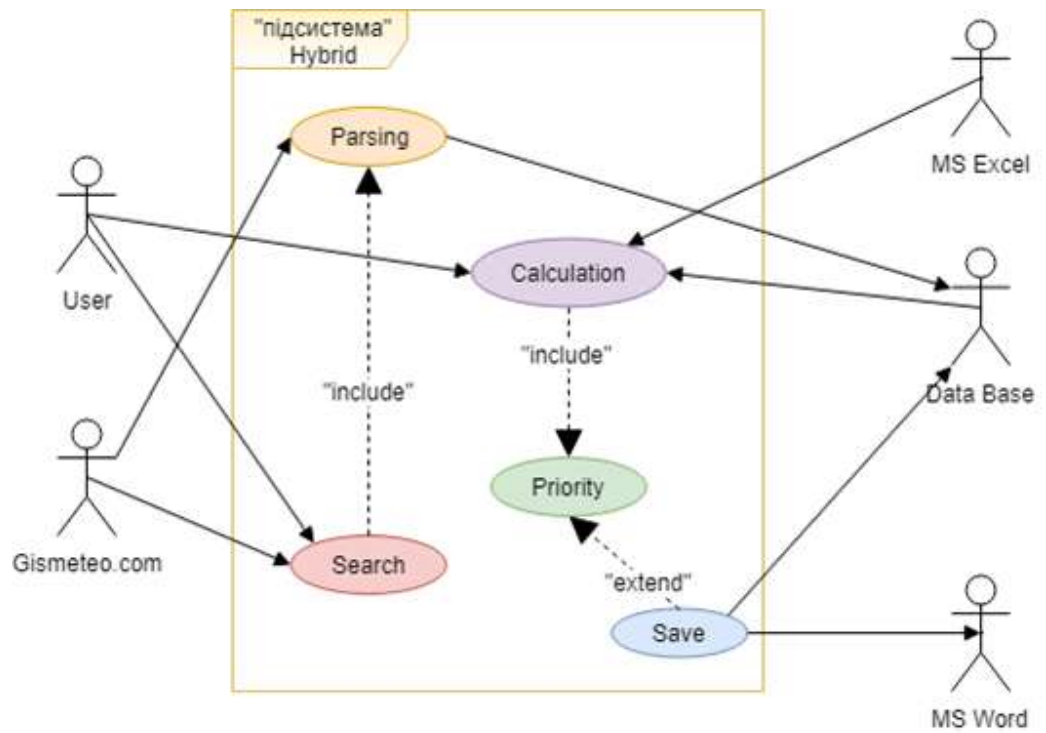


Рисунок Д.1 – Діаграма варіантів використання