МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
УМАНСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ САДІВНИЦТВА

Факультет економіки і підприємництва

Кафедра інформаційних технологій

Допущено до захисту
"_____" _____ 2023 р.
Зав. кафедри, к.т.н., доцент
_____ **Ліщук Р.І.**

КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА МАГІСТРА

РОЗРОБКА ВЕБ-ДОДАТКУ ДЛЯ ІМІТАЦІЇ РОБОТИ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ МІКРОМЕРЕЖІ

Виконав – студент 2 курсу, групи 21м-кн
освітньої програми "Комп’ютерні науки"
спеціальності 122 Комп’ютерні науки
Слизький Богдан Олегович

Науковий керівник – к.е.н., доцент
Концеба Сергій Михайлович

Умань – 2023

ЗМІСТ

ВСТУП 4

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОМЕРЕЖ

1.1 Застосування інформаційних технологій для вирішення енергетичних проблем

1.2 Моделювання роботи енергетичних мікромереж з відновлювальними джерелами електроенергії

1.3 Огляд програм моделювання роботи мікромереж

РОЗДІЛ 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Мета та задачі дослідження

2.2 Вибір інструментів реалізації

2.3 Математичний опис моделі мікромережі

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ WEB-ДОДАТКУ

3.1 Структурно-функціональний аналіз

3.2 Моделювання бази даних

3.3 Моделювання варіантів використання

РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ

4.1 Архітектура web-додатку

4.2 Реалізація бази даних

4.3 Використання web-додатку

ВИСНОВКИ

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

ДОДАТКИ

ВСТУП

Електрична енергія на сьогодні займає точно не останнє місце у житті людини, адже вона забезпечує невід'ємними перевагами від звичайного освітлення до живлення складних систем, що допомагають всюди. Промислове виробництво електроенергії стало проривним методом забезпечення людей джерелом дешевої електроенергії, але також і стало причиною великих викидів в атмосферу. Вирішення цієї проблеми – генерація екологічно чистої енергії з допомогою альтернативних джерел енергії. Впровадження відновлювальних джерел енергії (ВДЕ) у системи електропостачання у вигляді створення окремих мікромереж потребує детальної обробки даних роботи такої системи та її аналізу. Задачі, які необхідно вирішити перед тим, як приймати рішення щодо обладнання мікромережі, доцільно розглянути через імітаційну модель.

Актуальність імітаційного моделювання полягає у тому, що його можна використовувати як на етапі планування так і експлуатації, змінюючи конфігурацію системи. Витрачаємо мінімум ресурсів, щоб отримати дані про систему і відносно них, можна відповісти, чи є сенс встановлення запропонованої конфігурації, чи краще додати чи змінити тип, характеристики ВДЕ для максимальної ефективності.

Мета кваліфікаційної роботи магістра – створення web-додатку, який буде імітувати роботу мікромережі з використанням ВДЕ для дослідження впливу змінних погодних умов та параметрів системи на ефективність її роботи.

Задачі:

- провести детальний аналіз предметної області моделювання роботи енергетичних мікромереж;
- розробити математичну модель імітаційної роботи мікромережі;
- реалізувати web-додаток з допомогою визначених програмних засобів;
- протестувати розроблену модель.

Практичне значення: web-додаток надає можливість аналізувати роботу мікромережі на базі її заданої моделі. Погодинний процес імітації надає інформацію, щодо ефективності використаних видів відновлювальних джерел.

РОЗДІЛ 1. АНАЛІЗ ПРЕДМЕТНОЇ ОБЛАСТІ МОДЕЛЮВАННЯ МІКРОМЕРЕЖ

1.1 Застосування інформаційних технологій для вирішення енергетичних проблем

Сфера інформаційних технологій тісно пов’язана з вирішенням багатьох функцій та проблем у сучасному світі. Електроенергетика не є виключенням.

Наразі напрямками розвитку сучасної електроенергетики [1] є вдосконалення інфраструктури, використання цифрових технологій та модернізація процесів під час вироблення, передавання, розподілення, постачання та використання електроенергії. Підвищення оперативності моніторингу енергоспоживання, збільшення точності прогнозування енергоспоживання в умовах невизначеності та забезпечення інформаційної підтримки прийняття рішень [2] дозволяє підвищити ефективність використання енергії.

Використання інформаційних технологій (ІТ) прискорює створення високотехнологічної електроенергетичної системи, яка б об’єднала генеруючі установки різної фізичної природи, як відновлювальної так і невідновлювальної електроенергії, та потужності, з’єднані сучасними електричними мережами на базі мікропроцесорів з автоматичною роботою прийняття рішень [3], що має на меті забезпечити надійне електропостачання споживачів, підвищити ефективність генерації і мінімізувати втрати під час передавання та перетворення електроенергії в інші види за необхідності.

Стаття [4] присвячена опису системи підтримки прийняття рішень (СППР) для ефективного керування режимами MicroGrid з різними видами відновлюваних джерел енергії (ВДЕ). СППР – це комп'ютеризована система, яка через збирання та аналіз великого обсягу інформації може впливати на процес ухвалення рішень, обираючи оптимальні значення у системі для її ефективного та безперебійного функціонування. Процеси прийняття рішень у

системі мікромереж ускладнені необхідністю підтримувати баланс в електромережі з урахуванням результатів прогнозування рівня генерації та рівня споживання електроенергії. Запропонована у статті СППР була розроблена як web-додаток, і його аналіз роботи підтвердив зниження споживання електроенергії з централізованої мережі. Саме даний приклад показує, що інформаційні технології в змозі ефективно вирішувати задачі постачання та генерації електричної енергії в мережі електропостачання.

У табл. 1.1 зображено, як відбувалася взаємодія інформаційних та енергетичних технологій і як розв'язуються проблеми минулих та теперішніх років. Науковцям довелося працювати близько 25 років, щоб досягнути теперішнього етапу розвитку інформаційних технологій.

Таблиця 1.1

Характеристика етапів розвитку інформаційних технологій

Етап	Період	Назва	Схема розв'язання задач
I	1963-1972 роки	Системи обробки даних	↓Дані↓ ↓Задачі↓ Модель
II	1972-1985 роки	Управлінські інформаційні системи	↓База даних↓ ↓Задача↓ Модель
III	Від 1985 і до сьогодні	Системи підтримки прийняття рішень	↓База даних↓ ↓Задача↓ База моделей

Проблеми, які виникають на різних стадіях під час генерації, споживання та моніторингу систем електропостачання, спираються на ІТ сферу. Звичайно всі ці процеси необхідно контролювати та оброблювати, а тим паче коли мова йде про масштаби не просто міста, а цілої країни.

Генерація сама по собі має декілька факторів розрахунку, але єдине, що потрібно робити – визначити кількість необхідної електроенергії для споживачів на даний період часу. Звичайно генеруючі станції не мають повноцінно достовірних даних по кожному споживачу, а значить необхідно спрогнозувати ту кількість електроенергії, яку теоретично можемо спожити. Об'єкти електропостачання об'єднані в систему, що може повноцінно

забезпечувати споживачів завдяки розподілу навантажень. У даній ситуації генерація електроенергії регулюється розрахунковими даними, прогнозованими з врахуванням вже здобутих даних по споживанню, очевидно з використанням найбільш ефективного наразі способу зберігання та відтворення інформації – інформаційних технологій.

Дані про споживання у свою чергу припадають певному споживачу. Наприклад, можуть бути дані як за будинком чи містом, або ж і взагалі за областю чи в цілому споживання країною електроенергії. Зберігання інформації про споживання необхідно не тільки для прогнозування генерації, але й звичайно для обліку – за спожиту електроенергію треба платити. З такою кількістю інформації звичайно не може справитись людина без використання прогресивних технологій, як зберігання на серверах та доступ до цієї ж інформації з боку користувачів.

Моніторинг електросистем – це третя та не менш важлива проблема, яку вирішують з допомогою ІТ. Не всі задумуються, чому генеруюча напруга на станціях близько тисяч кіловольт, а вдома маємо 220 В. При передачі електроенергії витрачається її частина на нагрів кабелю та деякі більш складні процеси. У даному випадку моніторинг збирає не тільки кількості генерованої та спожитої електроенергії, а також і втрати на передачу та трансформацію. Також не менш важливо підтримувати параметри електросистеми: напругу, частоту та інші не менш важливі, згідно норм встановлених законодавством.

Як і для інших сфер, де застосовується програмне вирішення задач, доцільність використання математичних моделей для моделювання енергетичних мереж зумовлена можливістю визначення з їх допомогою значення впливу зовнішніх факторів на стан системи, взаємозв'язки та залежності між різними елементами системи, які залишилися б не виявленими, аналіз альтернатив розвитку моделі. Однак складність реальних процесів унеможливлює знаходження ідеального вирішення задачі, але перевагою моделювання є певне спрощення її математичної проекції. Такі спрощення та обмеження приносять неточності, а з іншого боку – будь-які непередбачувані

явища життя суттєво знижують достовірність моделі, та не виключено, що задача взагалі буде невирішена.

На базі модельних розрахунків можна навіть навчити систему приймати рішення автоматично, в залежності від параметрів та ситуацій, що виникають в системі, використати автоматизоване управління. Складається дана система з комплексу технічних засобів збору, передачі, обробки, накопичення і видачі даних, а також пристроїв, що безпосередньо впливають на об'єкти управління. Однозначно також використовується спеціальне математичне забезпечення, яке включає пакети прикладних програм, що здійснюють обробку даних з метою визначення необхідних функцій прорахунку даних в рамках певних розрахованих моделей [5].

Згідно до [6] використання моделей слід швидше розглядати не як пошук чітких відповідей для прийняття рішень, а скоріше як спосіб вивчення процесів, що відбуваються у системі. Інформація та досвід, набуті в процесі побудови та експлуатації моделі, набагато важливіші за безпосередні результати модельних розрахунків, що дійсно справедливо в нашому випадку. Вивчаємо процес і його структуру, опираючись на базові знання і задані характеристики досліджуваної системи.

1.2 Моделювання роботи енергетичних мікромереж з відновлювальними джерелами електроенергії

Мікромережа – це локальна енергетична система, що складається з взаємопов’язаних споживачів і розподілених енергоресурсів, яка як система може працювати паралельно з мережею або в острівному режимі [7]. Мікромережа може містити невеликі генератори енергії, організовані для забезпечення енергією користувачів, які знаходяться в безпосередній близькості системи. Це поєднання джерел генерації, навантажень і накопичувачів енергії з’єднаних через швидкодіючу силову електроніку створює ефективну мікромережу.

Мікромережі являють собою форму розгалуження електричних мереж. Вони включають системи розподілу низької або середньої напруги з розподіленими джерелами енергії, накопичувачами та контрольованими навантаженнями. За кордоном мікромережі вже гарно прижились як невеликі системи розподілу електроенергії, які включають кількох користувачів. Зазвичай можуть забезпечувати енергією середні громади за низького рівня напруги. Це сигналізує про те, що ця технологія підходить не тільки для електрифікації невеликих «островів» або віддалених зон, але також для інтеграції в існуючі високовольтні електромережі. Під час збоїв генерація та відповідне навантаження можуть відключитися від розподільчої системи, щоб ізолювати навантаження мікромережі від збурення, не пошкоджуючи цілісності мережі розподілення енергії. З точки зору клієнта це можна розглядати як послугу розподілу низької напруги з додатковими функціями, такими як підвищення локальної надійності, покращення якості напруги, скорочення викидів в атмосферу, зниження вартості енергопостачання тощо.

Впровадження відновлюваних джерел енергії передбачає одну з найбільших змін у структурі енергетичних систем. Ці системи відходять від централізованої та ієрархічної енергетичної системи до нової – усі розподілені користувачі впливають на енергопостачання. Виробництво більше не обмежується великими постачальниками енергії, оскільки малі децентралізовані виробники можуть продавати енергію до електросистеми і завдяки цьому створювати конкурентну спроможність з великими бізнесами.

Облаштування мікромережі, що представляє собою локальну енергосистему, яка передбачає створення певної території електричних структур, здатних працювати зокрема автономно. Так, як і великі енергосистеми, мікромережі здатні самостійно генерувати та здійснювати доставку електроенергії споживачам, але тільки на місцевому рівні. Їх будують у віддалених місцях – у горах, лісах чи сільській місцевості, тобто там, куди великі електромережі вести дорого та недоцільно, але і облаштування таких систем разом із централізованим постачанням приносить ефективний результат.

Відновлювані джерела енергії зараз набагато дешевші через активний розвиток та вдосконалення пристроїв генерації. Відновлювана енергія – енергія отримувана з джерел, які можуть відновлюватися або ж є майже невичерпними. До таких відновлювальних джерел енергії відносять сонячну, вітрову, гідро, геотермальну енергію. Усі ці джерела мають низьку ефективність, і на даний час не можливо забезпечити перехід всіх користувачів на екологічну чисту енергію, але її використання для часткового забезпечення енергонезалежності від енергомереж – перший крок до цього. Стало це можливо завдяки збільшенню ефективності і зменшення вартості генеруючих пристроїв.

Сонячна енергія [8] є найбільш поширеною з усіх енергетичних ресурсів, і її можна використовувати навіть у хмарну погоду, але малоефективно. Вартість виробництва сонячних панелей різко впала за останнє десятиліття, що зробило їх не тільки доступним, але часто і найдешевшим видом електроенергії. Енергія вітру [9] використовує кінетичну енергію повітря, що рухається, за допомогою великих вітрових турбін, розташованих на суші або в морській чи прісній воді. Хоча середня швидкість вітру значно відрізняється залежно від місця розташування, світовий технічний потенціал вітроенергетики невпинно зростає з кількістю нових типів винайдених установок. Гідроенергетика [10] використовує енергію води, що рухається з вищої точки на нижчу. Біоенергія [11] виробляється з різноманітних органічних матеріалів, які називаються біомасою, таких як деревина, деревне вугілля, та інші, а також сільськогосподарські культури. Геотермальна енергетика [12] використовує доступну теплову енергію з надр Землі. Тепло видобувається з геотермальних резервуарів за допомогою свердловин. Енергія океану [13] походить від технологій, які використовують кінетичну та теплову енергію морської води – хвилі чи течії, для виробництва електроенергії. Теоретичний потенціал енергії океану значно перевищує поточні потреби людини в споживанні енергії.

Робота мікромережі полягає в кількісних розрахунках параметрів як вхідних так і вихідних, при цьому проводиться аналіз даних згідно правил – певною моделлю. Імітаційні моделі представляють енергетичну систему у вигляді сукупності рівнянь та характеристик, описують процеси в реальних

системах, що можна перевірити. Побудова таких моделей здійснюється «знизу вгору» з детальним описом досліджуваної системи. Ці моделі дозволяють проаналізувати сучасний стан системи, а також перспективи розвитку. Більшість моделей оптимізації в свою чергу використовують лінійне програмування [14]. Лінійне програмування зі змішаним цілочисельним програмуванням (ЛПЗЦП) застосовується в задачах визначення генеруючих блоків (вітрогенераторів, сонячних панелей).

Для моделювання мікромереж аналогічно використовуються моделі опису того чи іншого елементу системи. Так як мікромережа вважається досить складною системою. Набагато простіше аналізувати систему, якщо розбити її на частини. Описуючи елементи комп'ютерною мовою, з'являється можливість використати нейронні мережі для розрахункових дій над модельованою системою. Для прикладу у роботі [15] кожна нейронна мережа була навчена запропонованими даними перед підключенням системи. Моделі сонячної та вітряної енергії були навчені за допомогою алгоритму зворотного поширення Левенберга-Марквардта. Нейронні мережі були використані для моделювання вихідної потужності компонентів мікромережі. Кожен компонент розглядався як автономна система. Ці автономні компоненти співпрацювали для досягнення загальної мети, якою є розподіл електричної енергії у системі.

1.3 Огляд програм моделювання роботи мікромереж

Моделювання достатньо складний та ресурсоємнісний процес, окрім цього вимагає дотримання правил та обмежень, щоб згенерована система підпадала під умови реального часу. Не має сенсу моделювати те, що не буде використано у реальних умовах.

Існує багато програм моделювання мікромереж. Більшість із цих програм платні, так як це досить важкі розрахунки, що базуються на сотнях формул та залежностях. Існують і безкоштовні, але вони будуть мати значно менший функціонал.

Найбільш рекомендованою програмою на даний момент є пакет програм POWERSIM [16]. Звичайно вона платна, але ж і використовується для комерційних цілей. Мікромережі, що складаються з кількох перетворювачів електроенергії, джерел генерації, розподілених навантажень і складних схем керування, нескладно моделювати засобами POWERSIM. Ця програма має всеохоплюючу функціональну та програмну реалізацію у сфері розрахунків та симуляції електричних систем. Слово «мікромережа» може бути використано для охарактеризування широкого кола систем, але вони характеризуються тим, що містяться в собі величезні енергетичні проекти. Приклад мікромережі, побудованої у POWERSIM, наведено на рис. 1.1.

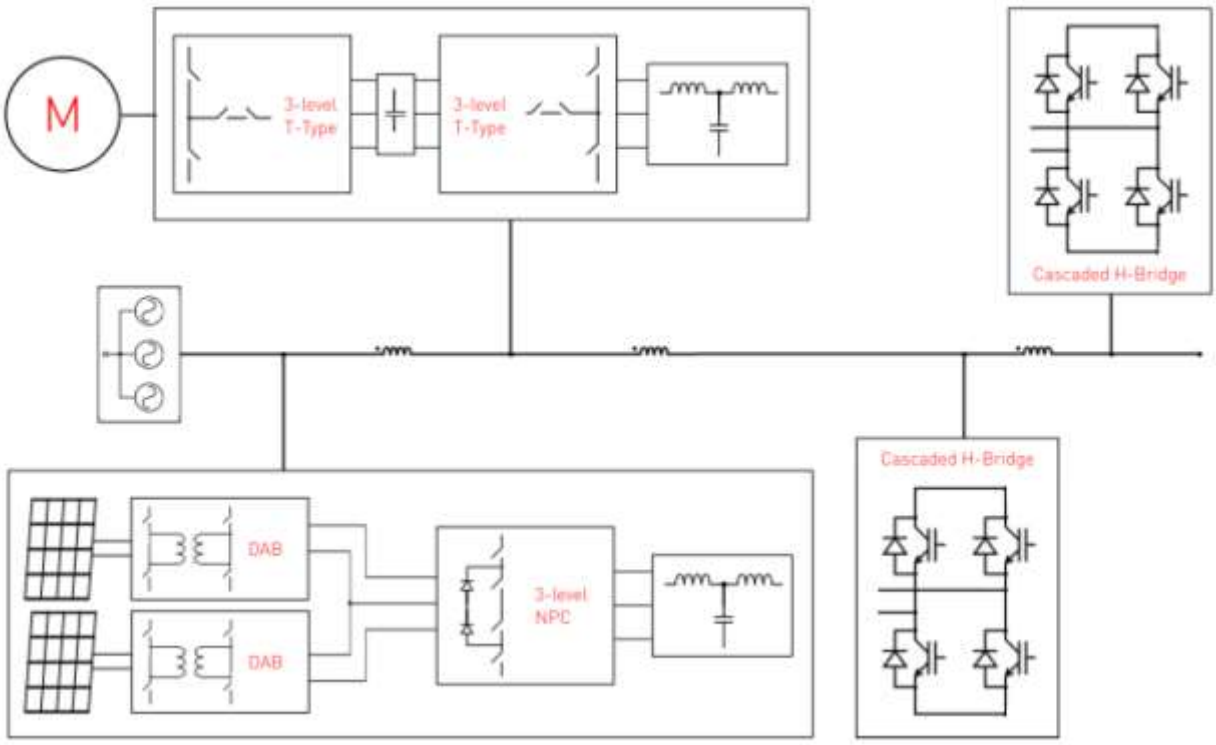


Рис. 1.1 Вигляд системи мікромережі у POWERSIM

Симуляція систем мікромереж досить затратна. Як приклад від компанії POWERSIM – «Найбільша мікромережа, змодельована за допомогою DSIM, наразі була з 10 комутаторами 1200, де інвертори були визначені як каскадні H-мостові MMC. 150 мс моделювання з DSIM зайняло 2:22 хвилини, та ж система в PSIM зайняла б 138 днів (4,6 місяця), неймовірна швидкість DSIM і багатофункціональні можливості PSIM дозволяють проектувати, моделювати та тестувати набагато більше, ніж ви хочете».

Ще одна платна програма – HOMER Pro [17]. Користувачі даного програмного пакету – професійні інженери, яким необхідно провести аналіз схеми або ж змоделювати майбутні проекти. У даній програмі використовуються формули, що включають в себе як параметри для ефективного та прогресивного досягнення результатів розрахунку, так і функції побудови майже будь яких як електричних, так і інших систем. В цілому задовільний результат розрахунків з відносно невеликою похибкою, але основною перевагою програми є можливість моделювання гібридних мікромереж, що моделюють роботу з декількома енергетичними ресурсами. Програма дозволяє включити в систему різні джерела енергії як відновлювальні: вітрові, гідрогенератори, сонячні батареї; так і невідновлювальні: електромережу, паливні елементи, когенераційні, а також додавання різних пристрої накопичення і зберігання електроенергії (рис. 1.2).



Рис. 1.2 Інтерфейс програми HOMER Pro

Основним принципом, що закладений в основу моделювання енергосистем від HOMER Pro, є мінімізація витрат. Задаючи умови змодельованій системі,

можна отримати результати різних системних конфігурацій, які потім будуть проаналізовані, з яких буде обрано найбільш вигідний варіант згідно мінімізації витрат на встановлення як мікромережі так і просто системи ВДЕ.

У висновку можна сказати, що HOMER Pro включає в себе великий об’єм функціоналу та розрахункових даних, що необхідно для імітаційного моделювання мікромереж.

Якщо вибирати із безкоштовного програмного забезпечення, то зупинимось на PVWatts [18]. Це онлайн калькулятор, який дозволяє користувачеві оцінити продуктивність сонячної електростанції. Розрахована на користувачів, що бажають обчислити приблизну вигоду, що отримають після установки певного набору устаткування, в основному розрахунок йде за потужністю генеруючих елементів. Національна лабораторія відновлюваних джерел енергії (NREL) розповсюджує даний програмний пакет за безкоштовною системою. З 2014 року розробники оновили і модифікували програму, значно оптимізувавши призначений для користувача інтерфейс. Більш точними стали проведені розрахунки, так як тепер враховувалися і втрати, що становлять близько 14%. Крім того з’явилося багато додаткових налаштувань у системі, що збільшують відсоток правильності розрахунків. Нова версія PVWatts наразі враховує бази Google Maps з даними про погоду та інсоляцію, що являє собою кількість сонячної радіації, що перпендикулярно поступає на один квадратний метр поверхні за один світловий день. Враховуються показання лише за один рік, розрахунки проводяться на базі минулорічних значень. Так як це зарубіжна програма, то звичайно, що вхідні дані щодо України там досить скудні.

Ефективність і затребуваність даної програми частково задовольнила потреби у моделюванні мікромережі, але все ж таки тут не враховуються розрахунки саме для систем з гібридною генерацією, що знижує ефективність генерації енергії у місцевостях, що не мають достатньої кількості сонячних днів та достатньої інсоляції сонця на цих ділянках, як в певних регіонах України, для доцільного використання.

Також має тільки числові результати за місяць, що не зовсім підходять для відображення ситуації генерації електроенергії. Результати тестового розрахунку можна побачити на рис. 1.3.

RESULTS

4,321 kWh/Year*

Month	Solar Radiation (kWh / m² / day)	AC Energy (kWh)
January	1.23	134
February	2.20	220
March	3.41	362
April	4.92	488
May	5.90	578
June	6.23	586
July	6.10	581
August	5.36	512
September	3.96	380
October	2.50	258
November	1.17	121
December	0.93	100
Annual	3.66	4,320

Location and Station Identification	
Requested Location	Ukraine
Weather Data Source	(INTL) KIEV, UKRAINE 104 mi
Latitude	50.4° N
Longitude	30.45° E

PV System Specifications	
DC System Size	4 kW
Module Type	Standard
Array Type	Fixed (open rack)
Array Tilt	20°
Array Azimuth	180°
System Losses	14.08%
Inverter Efficiency	96%
DC to AC Size Ratio	1.2

Performance Metrics	
Capacity Factor	12.3%

Рис.1.3 Результати програми PVWatts

Підведемо підсумок огляду, занесемо результати у табл. 1.2 для всіх аналогічних засобів моделювання мікромереж.

Проаналізувавши представлені варіанти аналогічних програм в табл. 1.2, прийнято рішення щодо створення власного додатку на базі мови програмування PHP у web-середовищі з використанням бази даних, з підтриманням функції розрахункового імітаційного моделювання простих систем електричних мереж сполучення. Для цього треба розробити власну

імітаційну модель для розрахунків мікромережі та помістити її до web-середовища, для забезпечення розрахунків ефективності та доцільності використання технології енергетичних мікромереж.

Таблиця 1.2

Порівняння аналогічних засобів

Аналог	Ціна	Зручність	Функціональність	Платформа
POWERSIM	Стартова версія: 1900$/рік	Потребує досить гарної конфігурації системи. Потребує встановлення. Примітивний інтерфейс, через що не перенасичений.	1) Імітування більше тисячі перемикачів; 2) Симуляції перехідних процесів; 3) Автоматизоване моделювання за сценарієм; Використовує оптимізовану симуляцію, що значно скорочує час розрахунків.	Програмне забезпечення для ПК, з великим навантаженням на систему.
HOMER Pro	249$/місяць	Необхідне встановлення на операційну систему. Приємний інтерфейс, але все ж таки розрахований на вмілого користувача, так як створювався для допомоги в роботі професійним інженерам.	Повноцінна функціональна база як для звичайних користувачів так і для професійних інженерів, набагато складніші формули розрахунку, що в свою чергу гарантує правильні розрахунки та мінімальні відхилення в системі. Також є створення власних моделей.	Програмне забезпечення для ПК, з великим навантаженням на систему.
PVWatts	Безкоштовний	Доступний у будь-якому форматі сайт, приємний та зрозумілий інтерфейс.	Прості розрахункові формули, але досить гарний результат розрахунків Головний мінус – розрахований лише для аналізу сонячної енергетики.	Представляється у вигляді сайту, який можна відвідати навіть з телефону.

Під час побудови власного додатку будуть використані аналогічні рішення для створення ефективного web-додатку імітаційного моделювання мікромереж. По-перше, відкидається непотрібний функціонал важких розрахункових програм як з боку системи, так і з боку займаного місця на комп’ютері. По-друге, налаштовується система під поставлені задачі. а не

згідно правил та математики подібних програм, що надає застосунку гнучкості. По-третє, додаток в комбінації з вже створеним сайтом на тематику мікромереж з відновлювальними джерелами енергії буде поєднано у більш функціональний сайт з аналізу мікромереж та ВДЕ.

Не виключається наявність похибки, яка випливає з обмеженої кількості параметрів при моделюванні системи, але для імітаційної моделі будуть використані усі параметри, що можуть вплинути на мережу при реальному встановленні такої системи.

РОЗДІЛ 2. ПОСТАНОВКА ЗАДАЧІ ТА МЕТОДИ ДОСЛІДЖЕННЯ

2.1 Мета та задачі дослідження

Метою даної роботи є створення web-додатку для імітаційного моделювання мікромережі за певною системою правил та залежностей. Розраховуватися модель імітації роботи мікромережі буде з відновлювальними джерелами генерації енергії, а саме сонячними панелями та вітряними турбінами. Мікромережа в цілому об’єднує як генеруюче обладнання, так і пристрої накопичення та споживання електроенергії у системі. Для її відповідного аналізу необхідно визначити параметри як вхідні, такі як погодні дані, дані генеруючих установок у системі, інформація про споживача, характеристику акумуляторних батарей, а також якщо система підключена до мережі то і її параметри. Вихідні дані – надають змогу оцінити ефективність працюючої системи, будуть розраховані за формулами. Так як розроблюється імітаційна модель то цілком логічно, що вона не може бути статичною. Змінюватися з часом будуть усі параметри системи, це потребує великої кількості вхідних даних, так як погодинний розрахунок мікромережі у реальному часі повинен бути максимально приближений до реальних умов використання мікромережі, тому що після розрахунків повинні мати можливість відповісти на питання чи функціонує мережа адекватно і заплановано.

Основне завдання полягає в тому, щоб даний додаток міг провести розрахунок заданої мікромережі з кроком у одну годину, де вхідні дані надаються з бази даних і при тому вихідні дані також у неї записуються – для генерації візуального відображення роботи змодельованої системи. Даний додаток має бути максимально направлений на користувача, мати інтуїтивно зрозумілий інтерфейс, зручне використання та виконувати заданий функціонал без помилок. Розроблений web-додаток має забезпечувати виконання поставлених задач:

- розрахунок параметрів заданої мережі, змінних у часі, для аналізу та збору інформації про систему;

- використання бази даних для доступу до вхідних даних та запис у неї вихідних;
- схематичне відображення імітаційної моделі мікромережі з параметрами;
- візуальне представлення погодинних результатів розрахунків на графіку, можливість завантажити файл формату Excel для детального аналізу;
- окремий розділ експерименту, де можна буде власноруч задати початкові дані системи та розрахувати її на певну кількість днів, щоб проаналізувати зміни. Можливість зберегти результати для порівняння чи дослідження;
- функціональне доповнення існуючого web-додатку підтримки управління енергетичними мікромережами.

2.2 Вибір інструментів реалізації

При створенні web-додатку необхідно врахувати те, що він повинен бути максимально збалансованим для роботи на виділеному сервері. Його архітектура буде написана на базі коду PHP та JavaScript, а також для роботи були використані HTML та CSS. Для розгортання, тестування, налаштування додатку було обрано Open Server. Середовищем для написання коду став PhpStorm. Основні інструменти продемонстровано на рис. 2.1 та описано нижче.



Рис. 2.1 Інструменти розробки web-додатку

Програмування на мові PHP повністю підходить під web-додатки, а ще й в поєднанні з JS отримаємо на виході функціональний сайт, що буде виводити не тільки динамічні дані, але дозволить підключити бібліотеки:

- GoJS [19] – для побудови схеми моделі (рис. 2.2);
- amCharts 4 [20] – функціональні графіки для всіх видів даних (рис.2.3);
- phpExcel – для зберігання вихідних даних у файл типу Excel.

Комбінація цих засобів надає змогу отримати функціонал з ідеальним співвідношенням ефективності та часу.

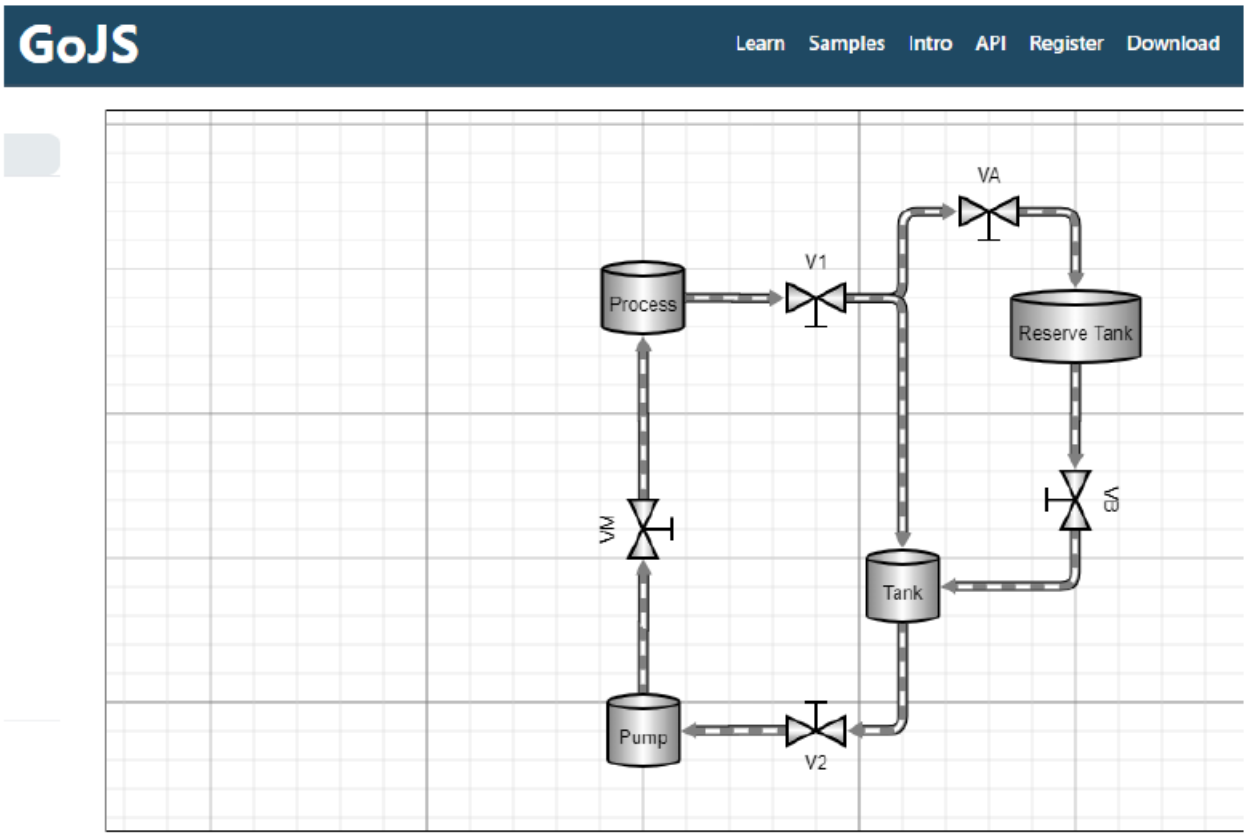


Рис. 2.2 Приклад побудованої схеми GoJS



Рис. 2.3 Приклад побудованого графіка amCharts 4

За структурну та візуальну частину сайту відповідають HTML та CSS – усім відомі засоби для оформлення web-сторінок. У якості середовища написання програмного коду обрано PhpStorm. Засобом для розгортання програмного додатку обрано OpenServer. Як СКБД використано MySQLi.

2.3 Математичний опис моделі мікромережі

Мікромережа у даній роботі буде представляти собою гібридну мережу з можливістю автономного та централізованого живлення споживачів. Модель роботи цієї мікромережі буде включати такі елементи, які треба описати формулою або ж задати їм правила поведінки у системі для імітації її роботи: сонячна батарея, вітряна турбіна, акумуляторна батарея, перетворювачі, споживач та централізована мережа. Усі вони будуть описуватися у системі як працюючі з часом елементи, а тому повинні бути обрані конкретні типи таких елементів, щоб провести аналітичний розрахунок системи.

Необхідно наповнити функціональними правилами та формулами модель, щоб імітувати роботу мікромережі з певною періодичністю у часі. Розіб'ємо даний етап на дві частини:

1) Формульна залежність розрахованих значень

Залежати від формул у даному випадку будуть кількості генерованої сонячної та вітрової енергії.

А) Потрібно визначити, скільки енергії можуть виробити сонячні панелі у той чи інший день, для цього треба врахувати фактори, які впливатимуть на розрахунки.

Формула (2.1) для погодинних розрахунків кількості енергії $\boldsymbol{W}$ соняч.:

$$\boldsymbol{W}_{\text{соняч.}} = \boldsymbol{P}_{\text{сон.панель}} * \frac{\boldsymbol{k}_{\text{іррадіації}}}{\boldsymbol{t}_{\text{трив.дня}} * \mathbf{0,5}} - \left(\boldsymbol{P}_{\text{сон.панель}} * \frac{\boldsymbol{k}_{\text{іррадіації}}}{\boldsymbol{t}_{\text{трив.дня}} * \mathbf{0,5}} * \left[\frac{\boldsymbol{t}_{\text{год}} - \boldsymbol{t}_{\text{трив.дня}} * \mathbf{0,5} + \boldsymbol{t}_{\text{захід}}}{\boldsymbol{t}_{\text{трив.дня}} * \mathbf{0,5} + \boldsymbol{t}_{\text{захід}}} \right] \right) \times \times \boldsymbol{k}_{\text{погоди}}, \quad (2.1)$$

де $\boldsymbol{P}_{\text{сон.панель}}$ – загальна потужність сонячних панелей, кВт·год;

$\boldsymbol{k}_{\text{іррадіації}}$ – коефіцієнт іррадіації;

$\boldsymbol{t}_{\text{трив.дня}}$ – тривалість дня, год;

$\boldsymbol{t}_{\text{год}}$ – година дня, для якої ведемо розрахунок, год;

$\boldsymbol{k}_{\text{погоди}}$ – коефіцієнт погодних умов;

$\boldsymbol{t}_{\text{захід}}$ – час заходу сонця, год.

Перелік факторів, що впливають на розрахунки:

- кут нахилу сонячних панелей (на південь, кут 43°);

•географічне положення (Південь України: Миколаїв, Мелітополь);

Основними параметрами, що потребують пояснення – це кут нахилу, погодні умови та сонячна іррадіація. Кут нахилу обирався для максимально ефективної роботи панелей протягом року у регіонах України. Дані були взяті на основі [21], де також можна визначити коефіцієнт іррадіації сонця – це міра того, скільки сонячної енергії приходить у певному місці. Цей параметр змінний протягом року в залежності від пори року. Він також змінюється протягом дня в залежності від положення сонця на небі та погоди. Представимо обрані середньорічні параметри на рис. 2.4.

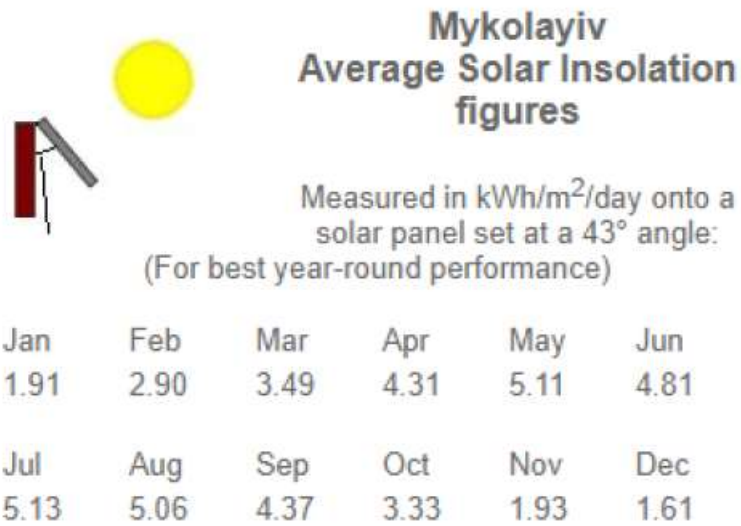


Рис. 2.4 Кут нахилу панелей та відповідно коефіцієнт іррадіації

Погодні умови враховуються, тому що сонячні панелі виробляють велику кількість енергії тільки, якщо повністю освітлені сонцем. Тому, аби врахувати години з хмарністю чи взагалі похмурим небом, необхідно у розрахунках врахувати коефіцієнт погоди. Типову характеристику розподілу коефіцієнту погоди [22] можна побачити на рис. 2.5.

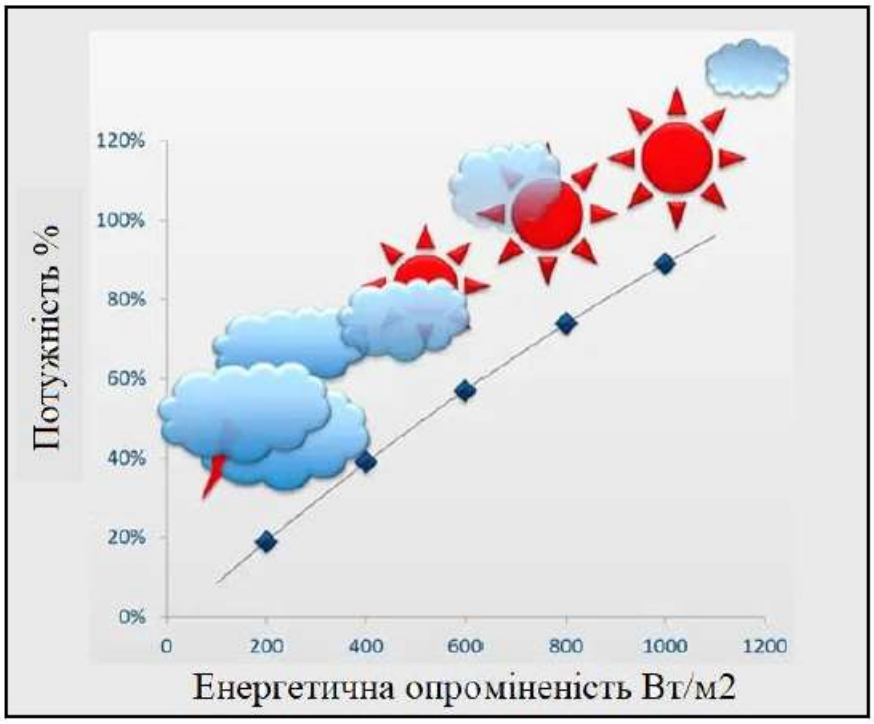


Рис. 2.5 Графік розподілу потужності від енергетичного опромінення

Б) Кількісно енергію вітру порахувати можна за допомогою кривої потужності вітрогенератора, яку отримують при детальному тестуванні характеристик при його виробництві. Для обраного типу турбіни характеристика зображена на рис. 2.6.

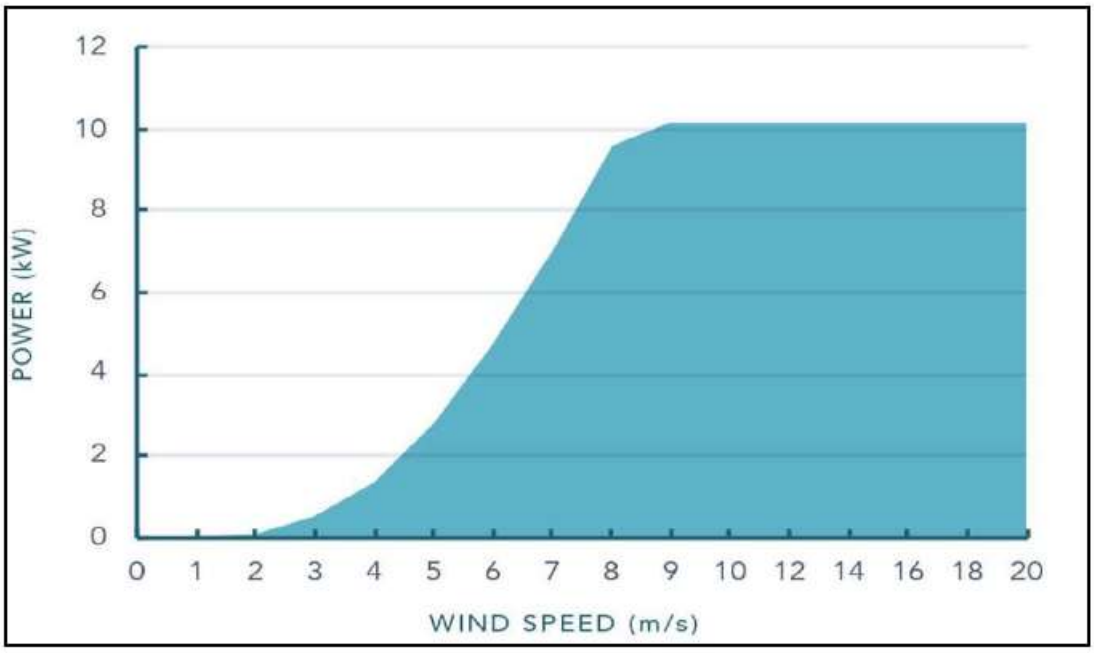


Рис. 2.6 Графік розподілу потужності від енергетичного опромінення

Треба визначитись з швидкістю вітру на висоті встановлення турбіни, для цього використані математичні розрахунки з джерела [23], у якому представлена формула визначення швидкості вітру на необхідній висоті, спираючись при цьому на відому швидкість на відомій висоті. Використавши ці формули, зможемо отримати приблизну швидкість на висоті 30 м, що є оптимальною для нашого генератора, так як його висота щогли близько 30 м.

Формула (2.2) для розрахунку швидкості вітру $\boldsymbol{V}_{\text{вітр.}}$ на висоті вітрогенератора $\boldsymbol{h}_{\text{щогли}}$ представлена нижче:

$$V_{\text{вітр}} = V_{10\text{м}} \frac{\ln(\frac{h_{10\text{м}}}{z_0})}{\ln(\frac{h_{\text{щогли}}}{z_0})} \qquad (2.2)$$

де $\boldsymbol{V_{10\text{ м}}}$ – відома швидкість вітру на висоті 10 м, м/с;

$\boldsymbol{h_{10\text{ м}}}$ – висота, на якій відома швидкість вітру, м;

$\boldsymbol{h}_{\text{щогли}}$ – висота щогли вітрогенератора, м

$\boldsymbol{z_0}$ – довжина нерівності земної поверхні.

2) Правила та обмеження роботи елементів у системі

Так як створюється імітаційна модель, а не фізична, то можна знехтувати певними параметрами системи. У розглянутому випадку правила та обмеження будуть впливати на логіку роботи акумуляторних батарей та мережі централізованого постачання. По-перше, прогнозується використання двох режимів у системі: звичайний та острівний. Острівний режим означає режим роботи, коли мікромережа, яка зазвичай працює в режимі підключення до мережі, від’єднана від системи централізованого постачання, і функціонує як мікромережа, що генерує або споживає енергію з акумуляторів для надання електричних послуг у межах мікромережі. По-друге, накладемо правила та залежності щодо стану батареї у певний період часу, що виливається у її логіку роботи у системі:

1. Стан батареї→Заряд>100%:

•Острівний режим(Увімк.): Спрацювання контролерів заряду, припинення заряду акумуляторних батарей.

•Острівний режим(Вимк.): Продаємо надлишок електроенергії у мережу, якщо такий є.

2. Стан батареї→Заряд<Мінімальна норма:

•Острівний режим(Увімк.): Не забезпечуємо споживача електроенергією, якщо заряд нижче ніж допустимий для батареї.

•Острівний режим(Вимк.): Купуємо електроенергію із мережі і забезпечуємо нею споживача.

3. Стан батареї→100%> Заряд<Мінімальна норма:

•Острівний режим(Увімк.): Забезпечуємо споживача енергією з батареї.

•Острівний режим(Вимк.): Забезпечуємо споживача енергією з батареї.

Усі описані елементи являють собою модель, що зображено на рис.2.7. Це схематичне зображення, який вигляд має мікромережа з відновлювальними джерелами генерації під час імітаційних процесів.

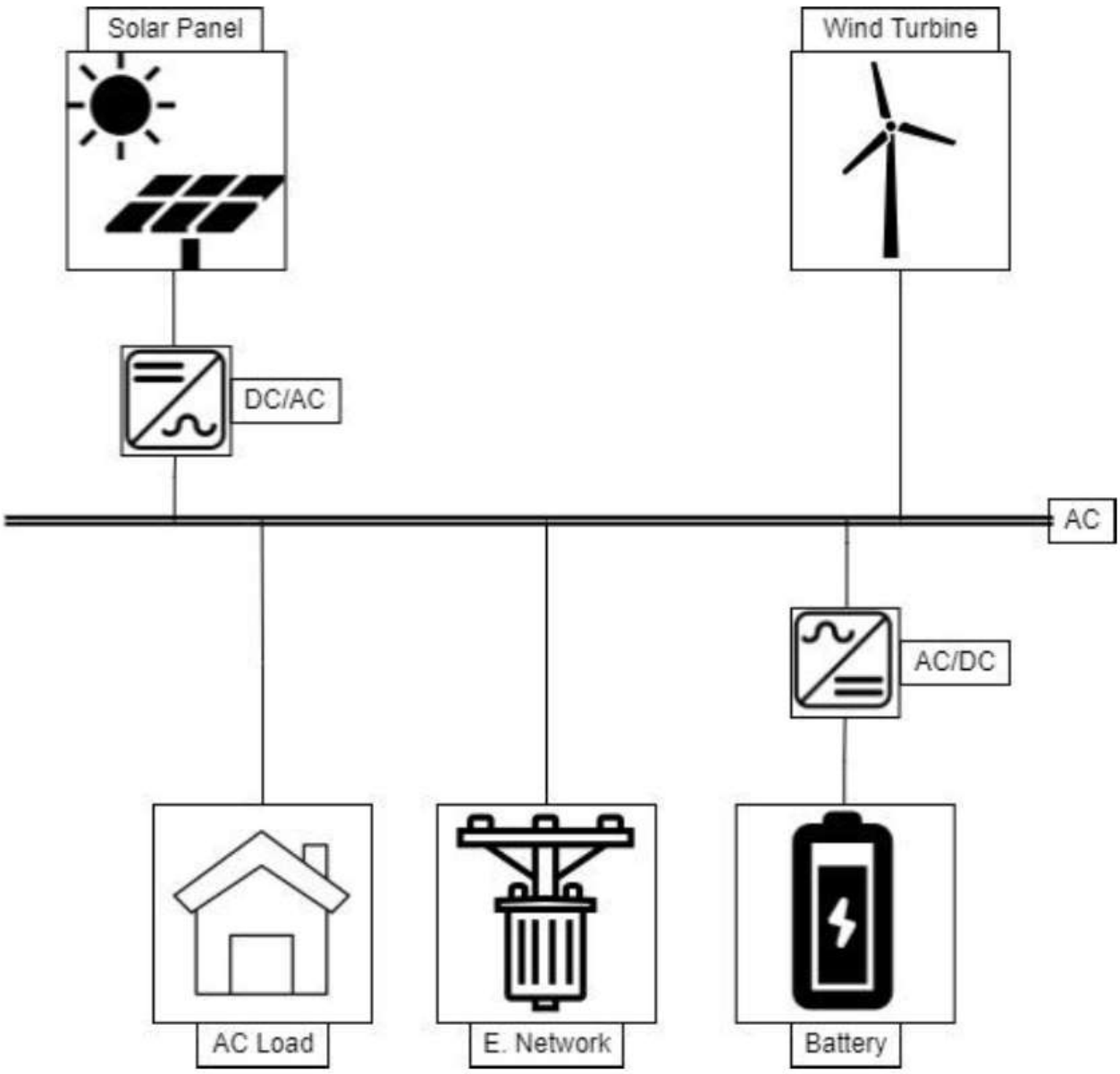


Рис. 2.7 Схема модельованої мікромережі

РОЗДІЛ 3. ПРОЕКТУВАННЯ WEB-ДОДАТКУ

3.1 Структурно-функціональний аналіз

Опис системи за допомогою IDEF0 називається функціональною моделлю. Функціональна модель призначена для опису існуючих бізнес-процесів, у якому використовуються як природна, так і графічна мови. Для передачі інформації про конкретну систему джерелом є сама методологія IDEF0. Контестна діаграма процесу імітаційного моделювання мікромережі показана на рис. 3.1.

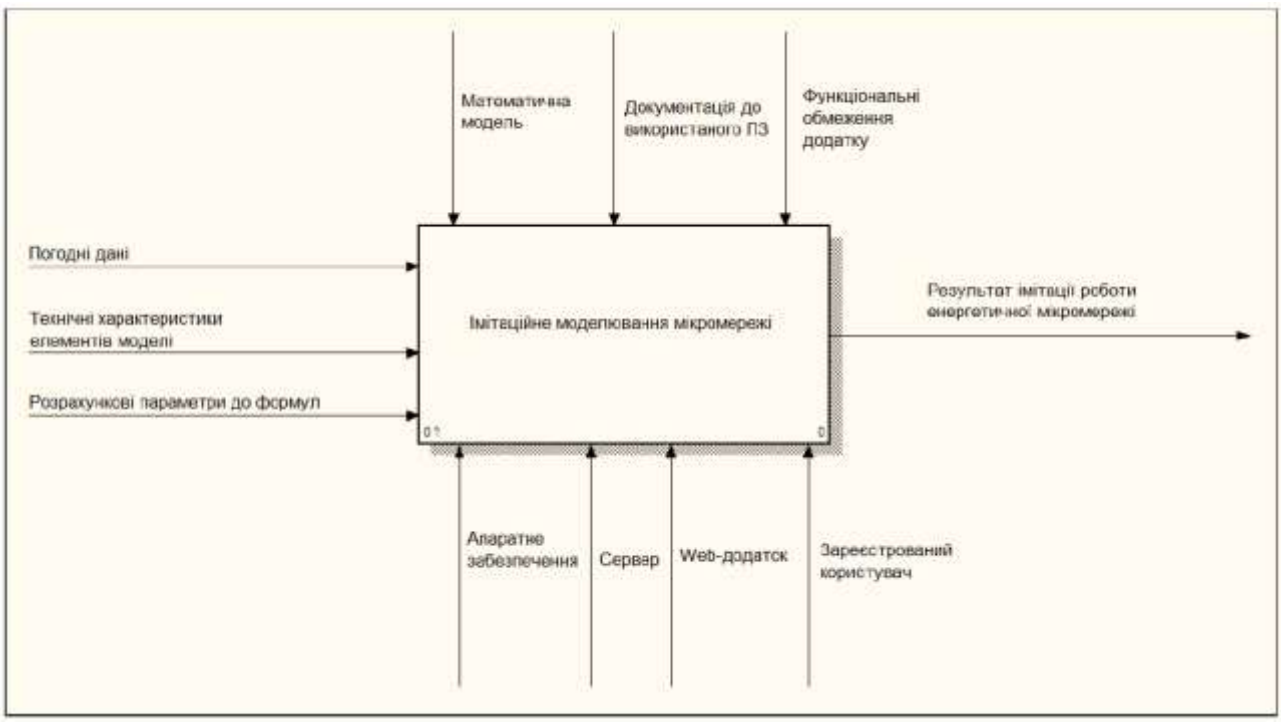


Рис. 3.1 Контекстна діаграма

Далі функції діляться на підфункції для досягнення необхідного рівня деталізації досліджуваної системи. Діаграми, що описують кожен такий фрагмент системи, називаються діаграмами декомпозиції (дочірніми діаграмами). А отже будуємо на основі контекстної діаграми діаграму декомпозиції, що показана на рис.3.2.

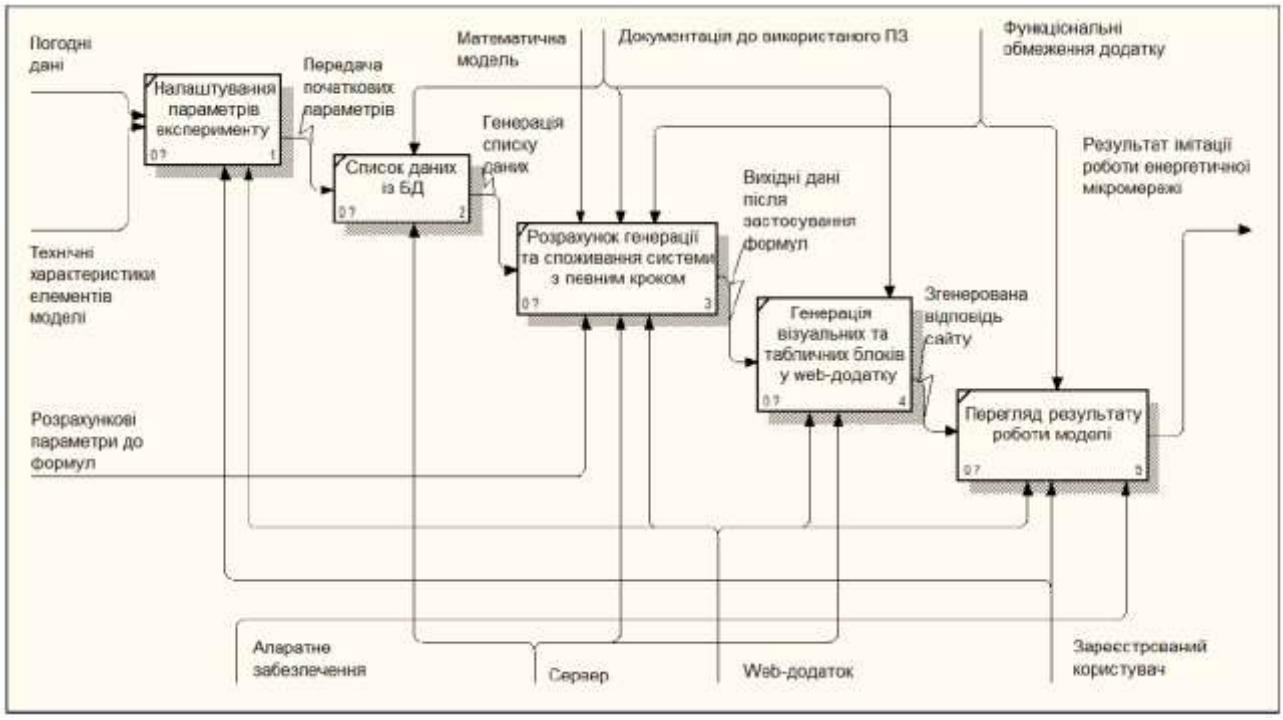


Рис. 3.2 Діаграма декомпозиції процесу імітаційного моделювання мікромережі

3.2 Моделювання бази даних

База даних (БД) – це значна кількість однорідних даних з конкретної предметної галузі, які зберігаються в пам’яті. Структура БД тотожна структурі двомірної таблиці, її основним елементом є запис – це сукупність деяких полів, до кожного з яких занесене деяке повідомлення. Кожен рядок бази даних називається записом, а стовпчик – полем. Характер зв'язку між записом і полем визначає тип організації баз даних. Діаграма «сутність-зв’язок» характеризує дані та зв'язок між ними, вона є основою для проектування структури БД.

ER діаграма бази даних представлена на рис. 3.3. Отримані при розрахунках дані зберігаються в базі даних. Потім за запитом користувача чи планувальника вихідні дані збираються та потрапляють у вихідні схеми та діаграми.



Рис. 3.3 ER діаграма бази даних

Кожна таблиця має свої атрибути, які описані нижче у табл. 3.1, 3.2, 3.3. Описувати будемо тільки 3 таблиці, так як output_data та output_data_experiment мають однакову структуру, але використовуються для різних функцій.

Таблиця 3.1

Таблиця даних dawn_sunset_data

Поле	Опис
id	Ідентифікатор запису
month	Місяць
day	День
dawn	Час сходу сонця
sunset	Час заходу сонця
day_lenght	Тривалість дня

Таблиця 3.2

Таблиця даних output_data та output_data_experiment

Поле	Опис
id	Ідентифікатор запису
month	Місяць
day	День
time	Час
temperature	Температура
solar	Величина згенерованої енергії сонячними панелями у кВт·год
wind	Величина згенерованої енергії вітряними турбінами у кВт·год
consumption	Споживання електроенергії у кВт·год
battery	Поточний заряд акумулятора у кВт·год
e_network	Величина проданої чи купленої енергії із мережі
battery_percent	Процентний заряд акумулятора у %
wind_speed_30	Розрахована швидкість вітру на висоті 30 м
weather	Погодні умови
irr_coeff	Коефіцієнт іррадіації сонця

Таблиця 3.3

Таблиця даних «input_data»

Поле	Опис
id	Ідентифікатор запису
month	Місяць
day	День
time	Час
temperature	Температура
wind_speed	Швидкість вітру на висоті 10 м
weather	Погодні умови
consumption	Споживання електроенергії у кВт·год

До бази даних необхідно занести вхідні дані по споживанню та характерним відмінностям погодинних розрахунків мікромережі. Спочатку визначимось з загальними даними, що є вхідними, а також змінюються під час імітаційного моделювання системи. Всі параметри, що використані, описано у табл. 3.4 та 3.5.

Таблиця 3.4

Вхідні дані

Параметр	Пояснення
Загальні дані	
Дата(month, day, time)	Час, день, місяць та рік проведення розрахункових дій над мікромережею.
Погодні умови	Цей показник є досить важливим і впливає на системи, де проходять 4 сезони за рік.
Температура	Температура повітря, що була зафіксована у час коли проводяться розрахунки, впливає на сонячні панелі.
Швидкість вітру	Швидкість вітру, що зафіксовано на висоті 10 м.
Споживач	
Споживання електроенергії	Головний параметр, за яким і буде вимальовуватися схема мікромережі. Споживання у даній системі задано з dataset-у, який досліджується.
Сонячна панель	
Потужність панелі	Потужність залежить від типу панелі та її специфікації, а також погодних умов та сонячного світла.
Необхідна кількість панелей	Кількість панелей пов’язана з потужністю панелі та необхідною величиною генерації для заданої системи.
Коефіцієнт сонячної іррадіації	Даний коефіцієнт має безпосередній вплив на кількість енергії, що буде згенерована відносно пори року, а саме розбитий на місяці.
Тривалість дня	Схід та захід сонця прямо впливають на генерацію сонячної енергії.
Вітряна турбіна	
Потужність турбіни	Залежить від типу та параметрів ротора, кількості лопатей і звично від швидкості вітру та висоти встановлення вітряка.
Кількість вітряних турбін	Визначається за потужністю генерації та забезпечення споживання або зарядки акумуляторних батарей.
Швидкість вітру	Значення вітру на висоті встановленої щогли генератора, у нашому випадку – найголовніший параметр генерації.
Висота щогли	Висота на якій необхідно встановити турбіну, щоб вона ефективно працювала за нормальних умов.
Шорсткість	У вітряній промисловості зазвичай посилаються на клас шорсткості або довжину шорсткості, коли оцінюють умови вітру певного ландшафту. Високий клас шорсткості від 3 до 4 відноситься до ландшафтів з великою кількістю дерев і будівель, тоді як поверхня моря має клас шорсткості 0.
Батарея	
Ємність батареї	Залежить від типу та характеристик обраної моделі, крім того значним параметром є напруга цієї батареї.
Напруга батареї	Визначається від 12 до 24/48 вольт, чим більше споживання – тим більша напруга для акумуляторних батарей.
Загальна кількість батарей	У цілому не має певних обмежень на встановлення їх кількості, все залежить від потреб споживача, але мінімальна ємність для підтримання роботи системи у автономному режимі розраховується за формулами.

Таблиця 3.5

Вихідні дані

Параметр	Пояснення
Енергія з сонячних панелей	Сума згенерованої енергії погодинно розрахована з використанням формул.
Енергія з вітряних турбін	Сума енергії, що віддають турбіни у систему мікромережі.
Зміни енергії у батареї	Погодинно вимірюється стан батареї, яка реагує на ситуації за заданою логікою.
Обмін енергією з мережею	Покупка або продаж електроенергії до енергосистеми, якщо не застосовано острівний режим.

3.3 Моделювання варіантів використання

Завершальним кроком у описанні проекту стане діаграма варіантів використання, як саме буде користувач взаємодіяти з додатком, діаграма представлена на рис. 3.4. Сценарій використання являє собою список кроків, що характеризують взаємодію між агентом (людиною або зовнішньою системою) та системою [24].

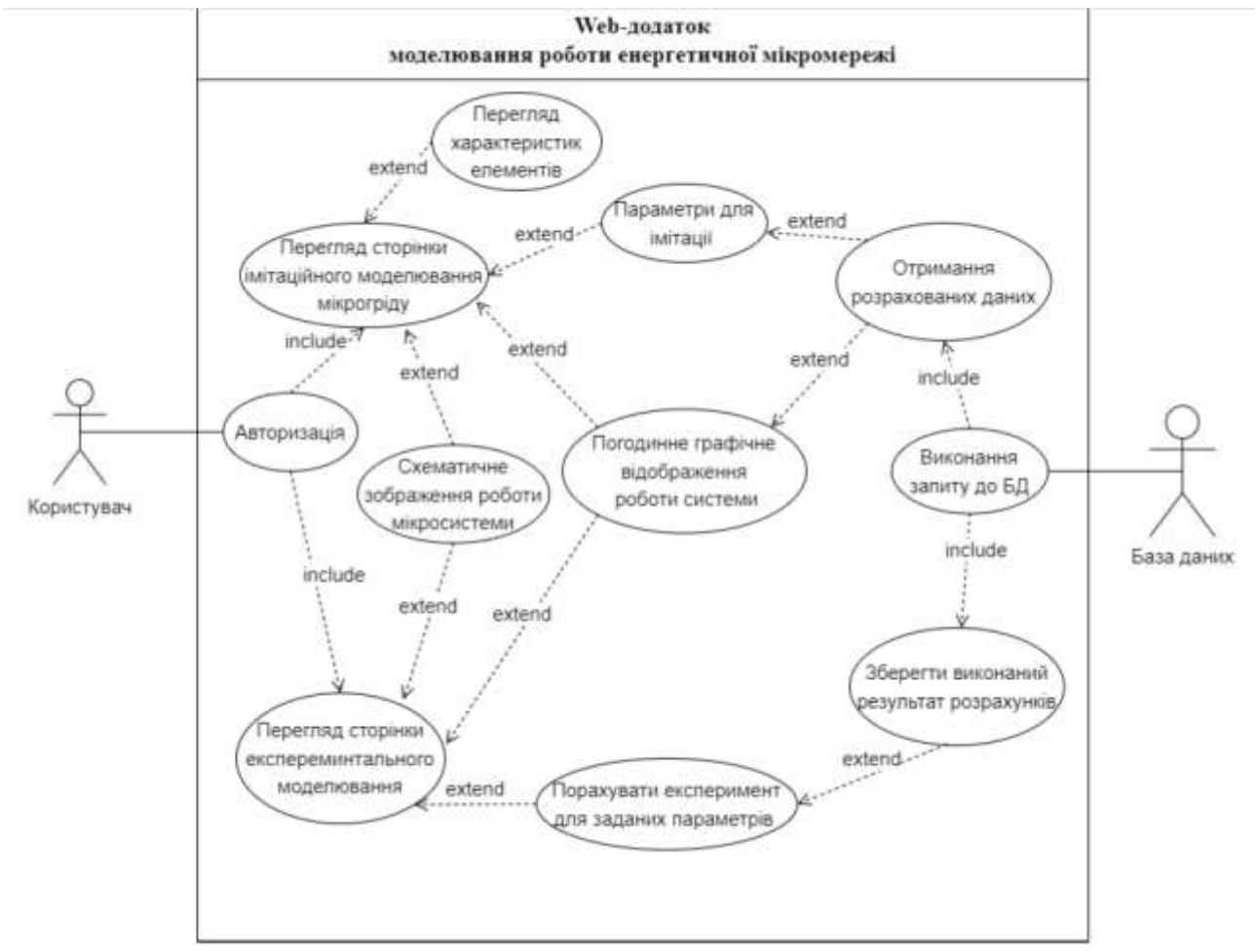


Рис. 3.4 Діаграма варіантів використання

РОЗДІЛ 4. РЕАЛІЗАЦІЯ ПРОЕКТУ

4.1 Архітектура web-додатку

Було описано архітектуру web-додатку на рис. 4.1, що розроблявся на основі окремих модулів та компонентів, які наведено в табл. 4.1.

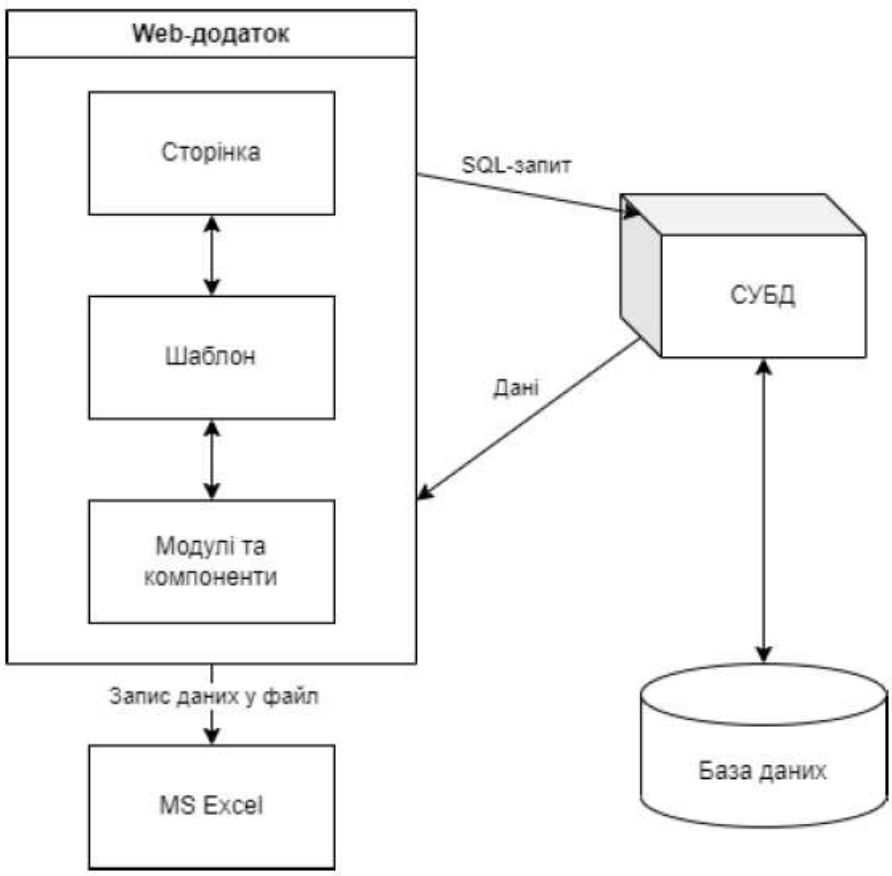


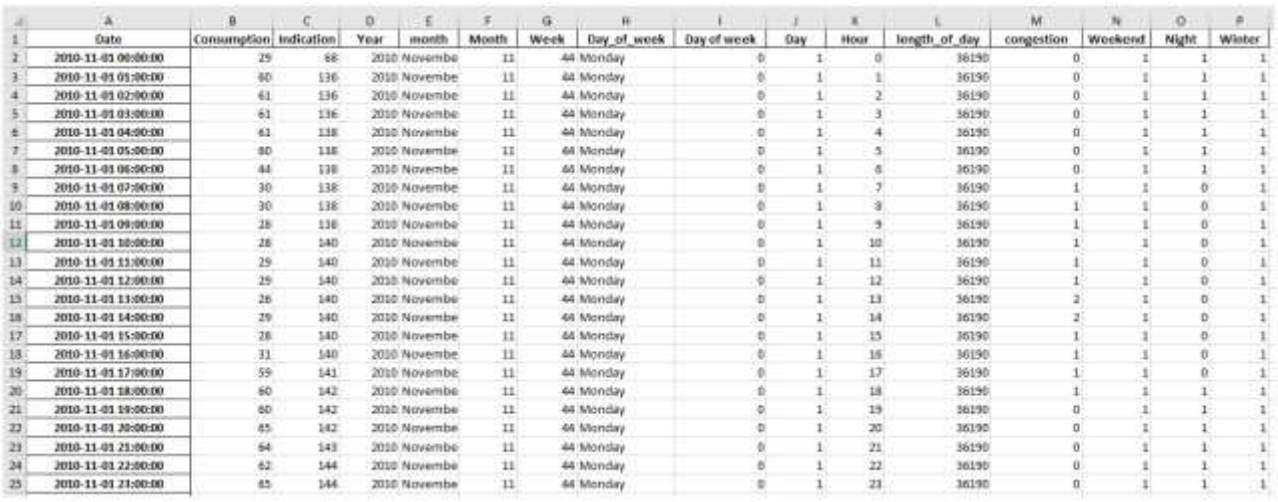
Рис. 4.1 Архітектура web-додатку

Таблиця 4.1

Призначення модулів та компонентів

Компонент	Призначення
model.php	Основна сторінка, що дозволяє переглянути характеристики та параметри погодинного моделювання мікромережі.
configDB.php	Налаштування підключення до БД.
result.php	Компонент з SQL запитами, для отримання погодинних результатів для сторінки model.php.
calculation.php	Компонент, що викликається з допомогою налаштованої утиліти cron на хостингу і завдяки цьому відбувається погодинний розрахунок та запис результатів сторінки model.php.
experiment.php	Сторінка, що має функціонал експерементального розрахунку мікромережі в залежності від обраних параметрів.
save.php	Робота з бібіліотекою PhpExcel, запис результатів сторінки experiment.php у файл.

Аналіз та обробка результатів імітації буде проведена з допомогою конкретних типів елементів системи. Саме їх параметричні значення будуть впливати на розрахункову частину даної імітаційної моделі, а тому їх необхідно детально оглянути. Головний критерій вибору даних елементів – кількість споживання у системі, що уже задана у вигляді набору даних, який представляється для розрахунків. Дані продемонстровано на рис. 4.2. Звідси будуть необхідні результати погодинних записів споживання за певний період.



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
1	Date	Consumption	Indication	Year	month	Month	Week	Day_of_week	Day of week	Day	Hour	length_of_day	congestion	Weekend	Night	Winter
2	2010-11-01 00:00:00	29	68	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	0	36190	0	1	1	1
3	2010-11-01 01:00:00	60	136	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	1	36190	0	1	1	1
4	2010-11-01 02:00:00	61	136	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	2	36190	0	1	1	1
5	2010-11-01 03:00:00	61	136	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	3	36190	0	1	1	1
6	2010-11-01 04:00:00	61	138	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	4	36190	0	1	1	1
7	2010-11-01 05:00:00	80	138	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	5	36190	0	1	1	1
8	2010-11-01 06:00:00	44	138	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	6	36190	0	1	1	1
9	2010-11-01 07:00:00	30	138	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	7	36190	1	1	0	1
10	2010-11-01 08:00:00	30	138	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	8	36190	1	1	0	1
11	2010-11-01 09:00:00	28	138	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	9	36190	1	1	0	1
12	2010-11-01 10:00:00	28	140	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	10	36190	1	1	0	1
13	2010-11-01 11:00:00	29	140	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	11	36190	1	1	0	1
14	2010-11-01 12:00:00	29	140	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	12	36190	1	1	0	1
15	2010-11-01 13:00:00	26	140	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	13	36190	2	1	0	1
16	2010-11-01 14:00:00	29	140	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	14	36190	2	1	0	1
17	2010-11-01 15:00:00	28	140	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	15	36190	1	1	0	1
18	2010-11-01 16:00:00	31	140	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	16	36190	1	1	0	1
19	2010-11-01 17:00:00	59	141	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	17	36190	1	1	0	1
20	2010-11-01 18:00:00	60	142	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	18	36190	1	1	1	1
21	2010-11-01 19:00:00	60	142	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	19	36190	0	1	1	1
22	2010-11-01 20:00:00	85	142	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	20	36190	0	1	1	1
23	2010-11-01 21:00:00	64	143	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	21	36190	0	1	1	1
24	2010-11-01 22:00:00	62	144	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	22	36190	0	1	1	1
25	2010-11-01 23:00:00	85	144	2010	Novembe	11	44	Monday	0	1	23	36190	0	1	1	1

Рис. 4.2 Дані з набору даних для розрахунків

Значення споживання за годину у середньому становить 35-45 кВт*год електроенергії, а тому треба обирати досить потужні генеруючі пристрої та великої ємності акумулятори, з напругою від 48 В. Нижче у цьому пункті представлені обрані елементи системи.

Сонячна панель: Один із представлених видів генеруючих пристроїв у табл. 4.2, що працює на енергії сонця та сильно залежить від погодних умов та зміни сезонів.

Таблиця 4.2

Обраний тип сонячної панелі

Огляд:	Jinko SolarJKM550M-72HL4 - потужна сонячна панель з високим показником ефективності (ККД) - 21.29 %.
Потужність	0,55 кВт
Напруга при Рмакс	40.90 В
Струм при Рмакс	13.45 А
Струм КЗ	14.03 А
ККД модуля	21.29%
Робоча температура	від -40 і до +85
Кількість фотоелементів	144 штук
Габарити	2278×1134×35
Вага	28 кг
Ступінь захисту	IP68
Тип фотомодуля	Монокристал

Вітряна турбіна: Досить ефективний прилад у регіонах з сильними та тривалими вітрами, ефективність повністю залежить від швидкості вітру, специфікації ландшафту та висоти щогла. Характеристики подано у таблиці 4.3.

Таблиця 4.3

Обраний тип вітрогенератора

Огляд:	E-10 здатний заміщати викиди парникових газів, еквівалентні 60 акрам лісу щороку.
Тип генератора	Постійний магніт
Максимальна потужність	20 кВт
Номінальна потужність	10 кВт (системно)
Конфігурація	Горизонтальна вісь
Кількість лопастей	3
Матеріал	Скловолокно
Довжина лопасті	4.5 м
Діаметр ротора	9.8 м
Номінальна швидкість ротора	120 об/хв
Стартова швидкість	2 м/с
Номінальна швидкість	9 м/с
Вага	1,000 кг
Висота щогла	15 – 36 м

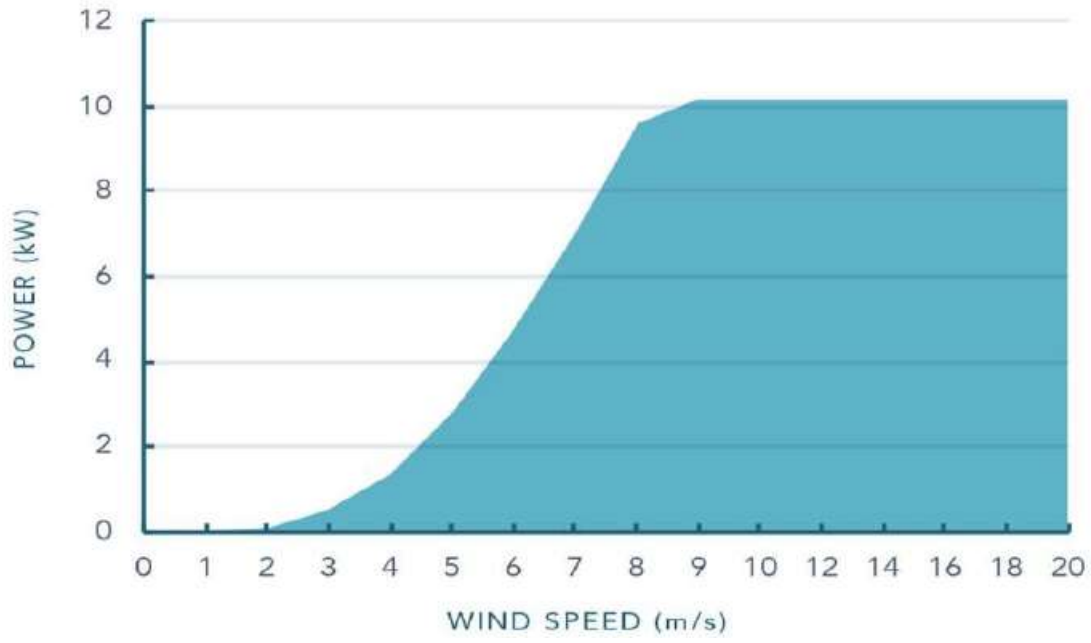


Рис. 4.3. Крива потужності вітрогенератора E-10

Перетворювачі: Перетворювачі енергії слугують необхідним устаткуванням при роботі з електричним струмом та напругою. Так як існує змінний та постійний тип передачі енергії, то необхідно перетворити напругу з постійної у змінну і навпаки за необхідності. У цьому допоможуть інвертор (DC/AC) та випрямляч (AC/DC).

1) Інвертор (DC/AC): Сонячні батареї генерують тільки постійний струм. Для того, щоб отриману енергію передати в загальну енергомережу або для енергозабезпечення споживачів, потрібно змінити постійний струм, що надходить від фотоелектричних елементів, на змінний.

2) Випрямляч (AC/DC): Напівпровідниковий перетворювач енергії, призначений для перетворення електричної енергії змінного струму на енергію постійного струму. Потреба у використанні випрямляча виникає тоді, коли для живлення споживача постійного струму необхідно використати енергію з джерела змінного струму (наприклад, промислової або побутової мережі змінного струму). У такому випадку випрямляч вмикають між джерелом змінного струму та споживачем постійного струму.

Постійний струм, що буде протікати у нашій системі буде з напругою 48 В, так як навантаження від споживача досить суттєве, а тому необхідно використати найбільші значення з представлених типів. Тому і батареї будуть обиратися з розрахунком на мережу у якій постійна напруга буде 48В. Для змінної ж напруги обрано режим у 220 В для забезпечення всіх приладів споживача електроенергією.

Акумуляторна батарея: Основним фактором при виборі батареї являються її напруга, ємність та тип цієї батареї. З типом визначатися не треба, так як для систем з високою кількістю циклів заряду та розряду акумуляторів підходять декілька варіантів – гелеві або з рідким електролітом. Напруга батареї 48 В і паралельно окреме з’єднання батарей. Ємність у даному випадку буде розраховуватися за величиною заряду та робочою напругою, при цьому треба враховувати наскільки відсотків можна розряджати даний тип. Під наші цілі повністю підходить варіант у табл. 4.4.

Таблиця 4.4

Обраний тип акумуляторної батареї

Огляд:	Літієві сонячні батареї Discover® Advanced Energy System (AES) LiFePO4 пропонують надійну продуктивність і найнижчу вартість накопичення енергії на кВт-год.
Заряд батареї	130 А*ч
Номінальна енергія віддачі(розряду)	7.39 кВт*год
Розряд батареї (у відсотках)	до 90%
Електроліт	LiFePO4
Зарядна напруга	54.4 В
Максимальна напруга	58.4 В
Мінімальна напруга	44.8 В
Максимальний струм заряду	130 А
Напруга в ланцюгу	51.8 В
Струм розряду	130 А
Максимальний піковий струм	300 А
Саморозряд(при 25°C)	<3% за місяць (батарея відключена)

4.2 Реалізація бази даних

База даних використовувалася для зберігання даних, що записуються та вибираються з допомогою запитів мови SQL. До вхідних таблиць можна віднести дві, а саме dawn_sunset_data та input_data, їх приклад заповнення зображено на рис. 4.4 та 4.5 відповідно.

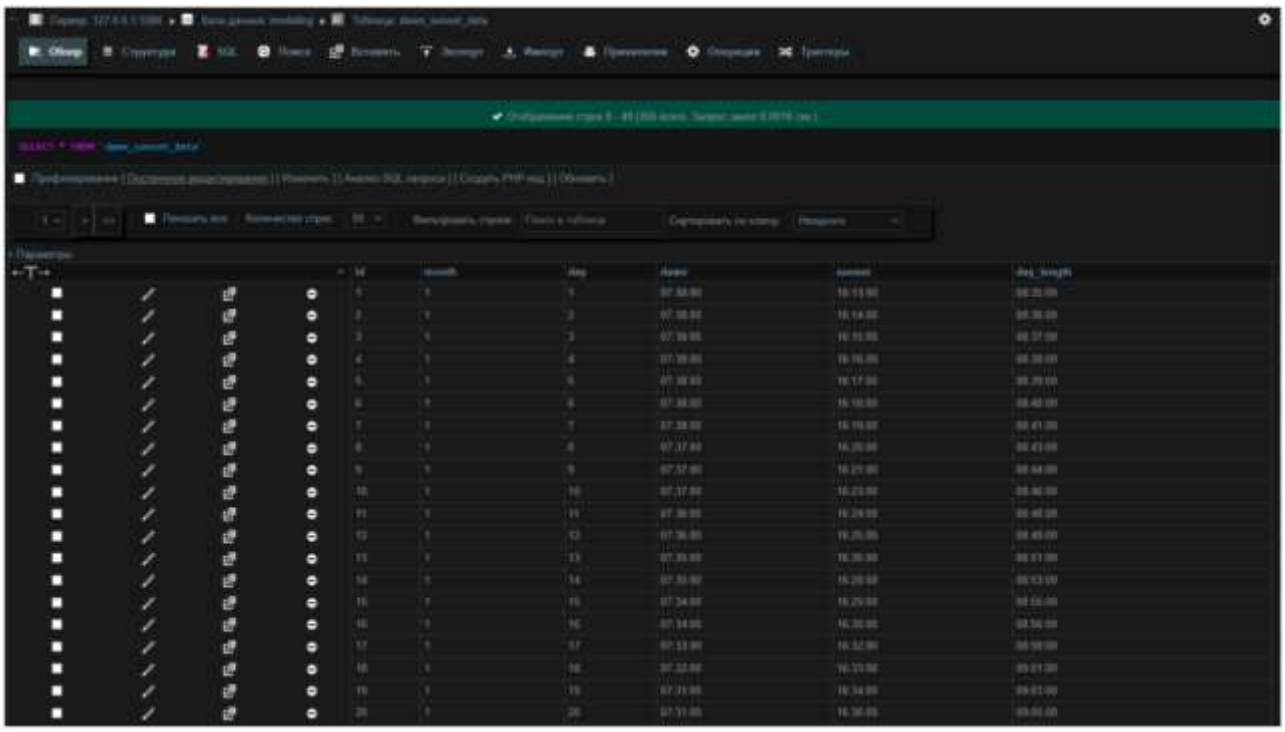


Рис. 4.4 Таблиця з даними dawn_sunset_data

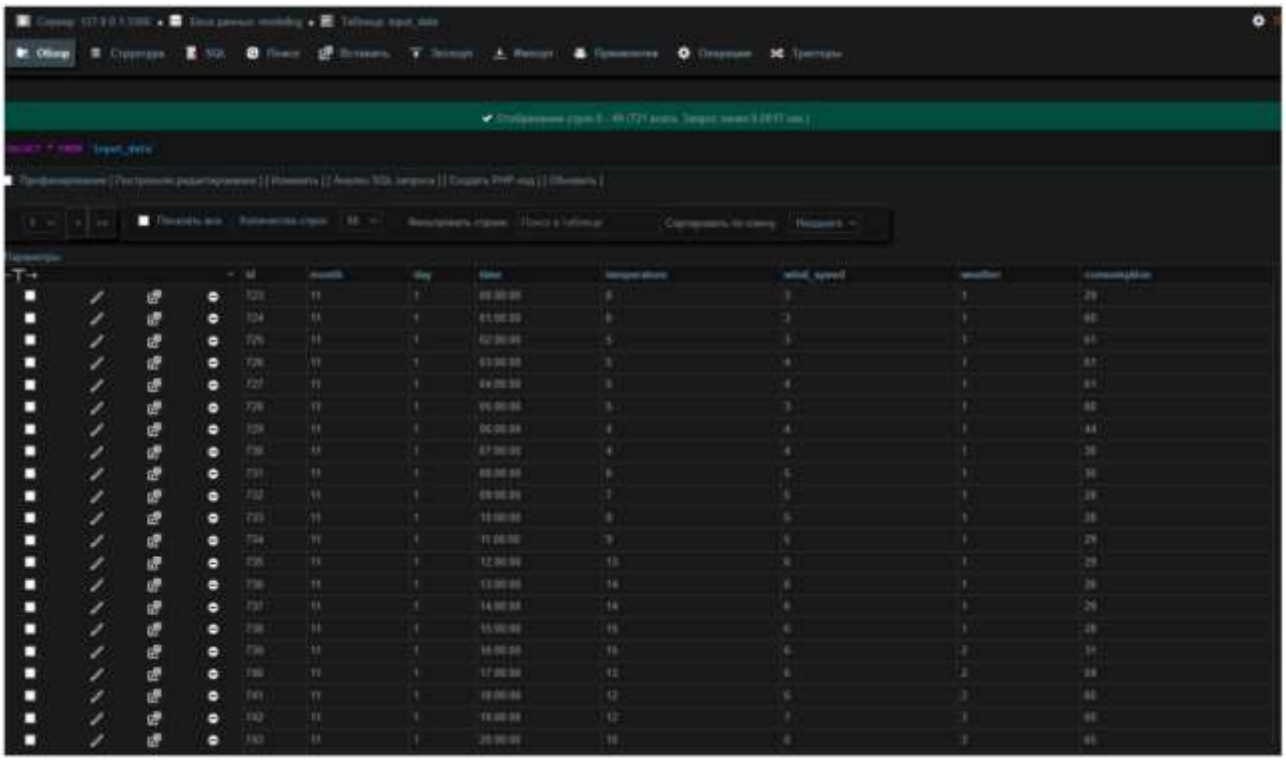


Рис. 4.5 Таблиця з даними input_data

До таблиць з вихідними даними відносимо output_data та output_data_experiment. Вони отримують записи розрахованих за формулами значень і слугують базою значень для побудови графіків чи заповнення текстових полів у web-додатку. Приклад заповненої значеннями таблиці output_data_experiment можна переглянути на рис. 4.6.

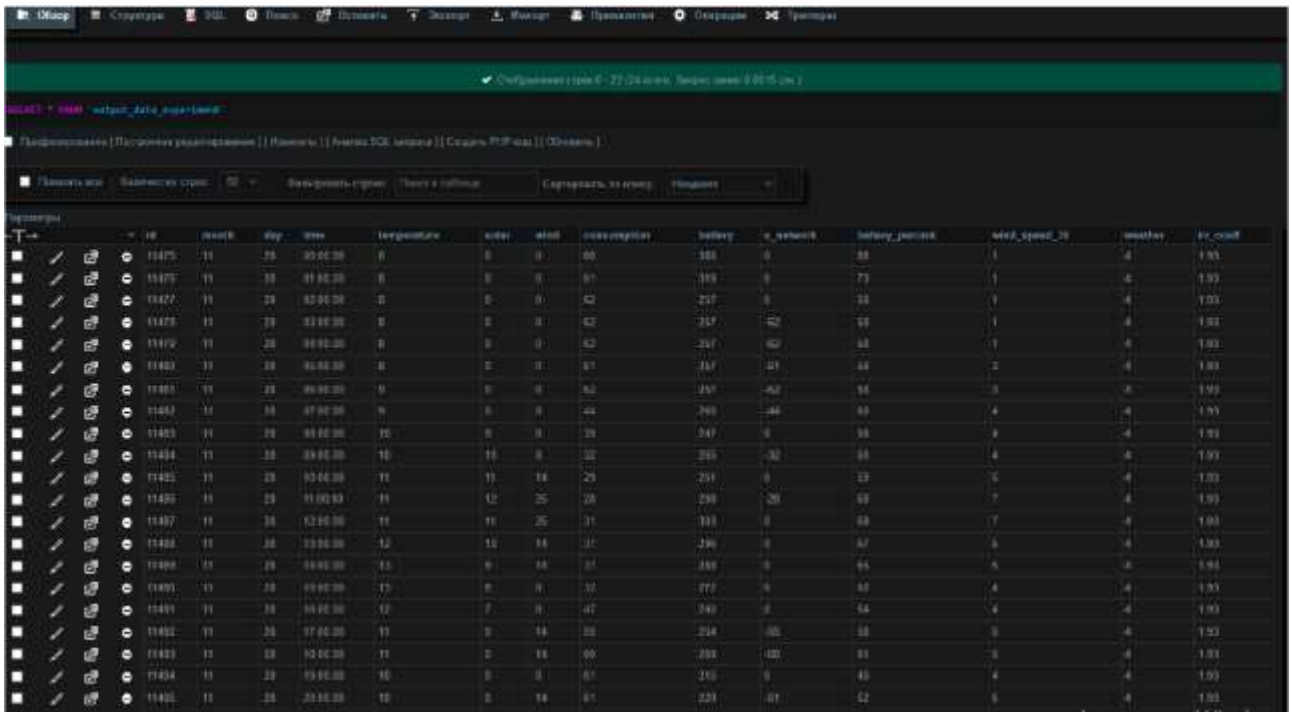


Рис. 4.6 Демонстраційний варіант таблиці output_data_experiment

4.3 Використання web-додатку

Усі файли проекту, що представлені у додатку Б, повністю розкривають функціональність та структуру проекту. Тому у цьому пункті наведено опис роботи додатку та його демонстрація. Загалом додаток призначений для перегляду погодинних змін параметрів системи з врахуванням імітаційних правил та формул.

Головна сторінка додатку представлена на рис. 4.7. На ній виводиться таблиця з даними та характеристиками досліджуваних елементів щодо імітації на дану годину, а також схема, на якій можна побачити візуально, як і куди перетікає енергія у системі, а також графік, що відображає погодинні записи із БД, на ньому генеруються криві із розрахованих параметрів.

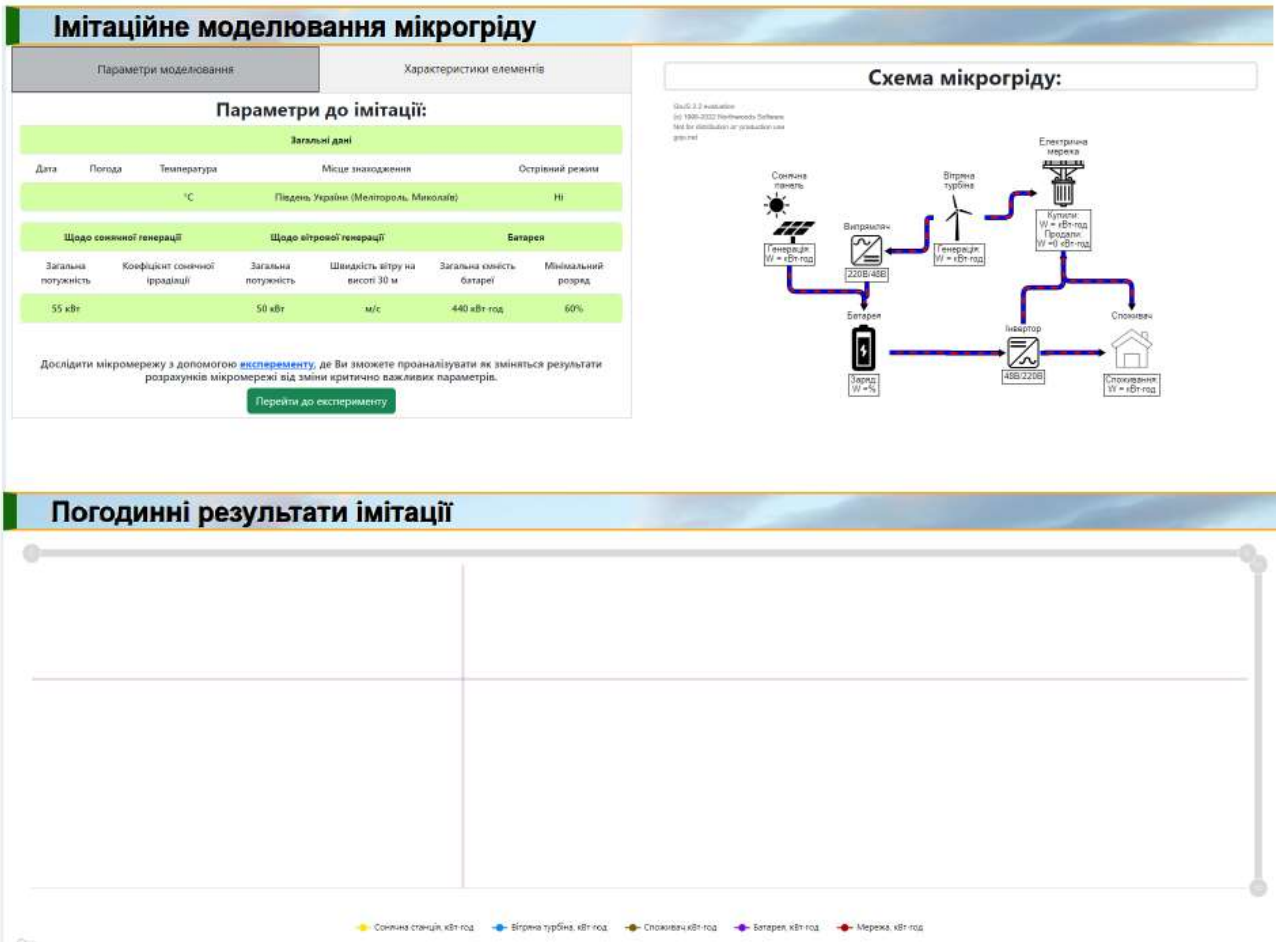


Рис. 4.7 Головна сторінка model.php

Аби відвідати сторінку з експериментом, необхідно натиснути на кнопку

«Перейти до експерименту». З даною сторінкою проявляється взаємодія як з функціональним елементом системи. Можна імітувати, як поведе себе система при зміні тих чи інших заданих параметрів, які можна змінити повзунками для обраної дати. Сторінка зображена на рис. 4.8, її основний функціонал можна побачити на рис. 4.9 та 4.10, де представлено графік, який заповнюється згідно виставлених параметрів. Реалізовано можливіть завантажити дані розрахунків і переглянути їх у файлі формату Excel.

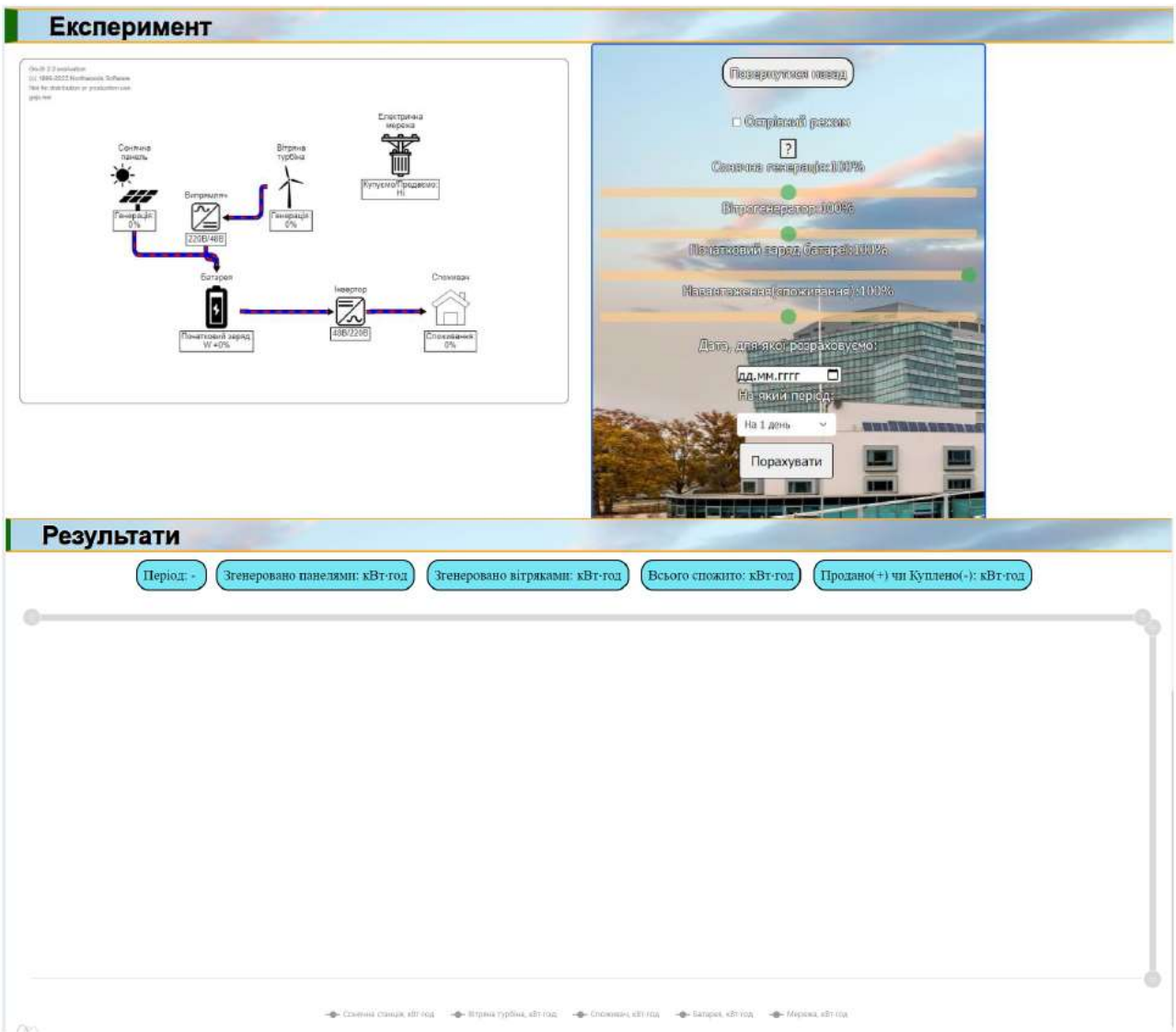


Рис. 4.8 Сторінка з експериментом experiment.php

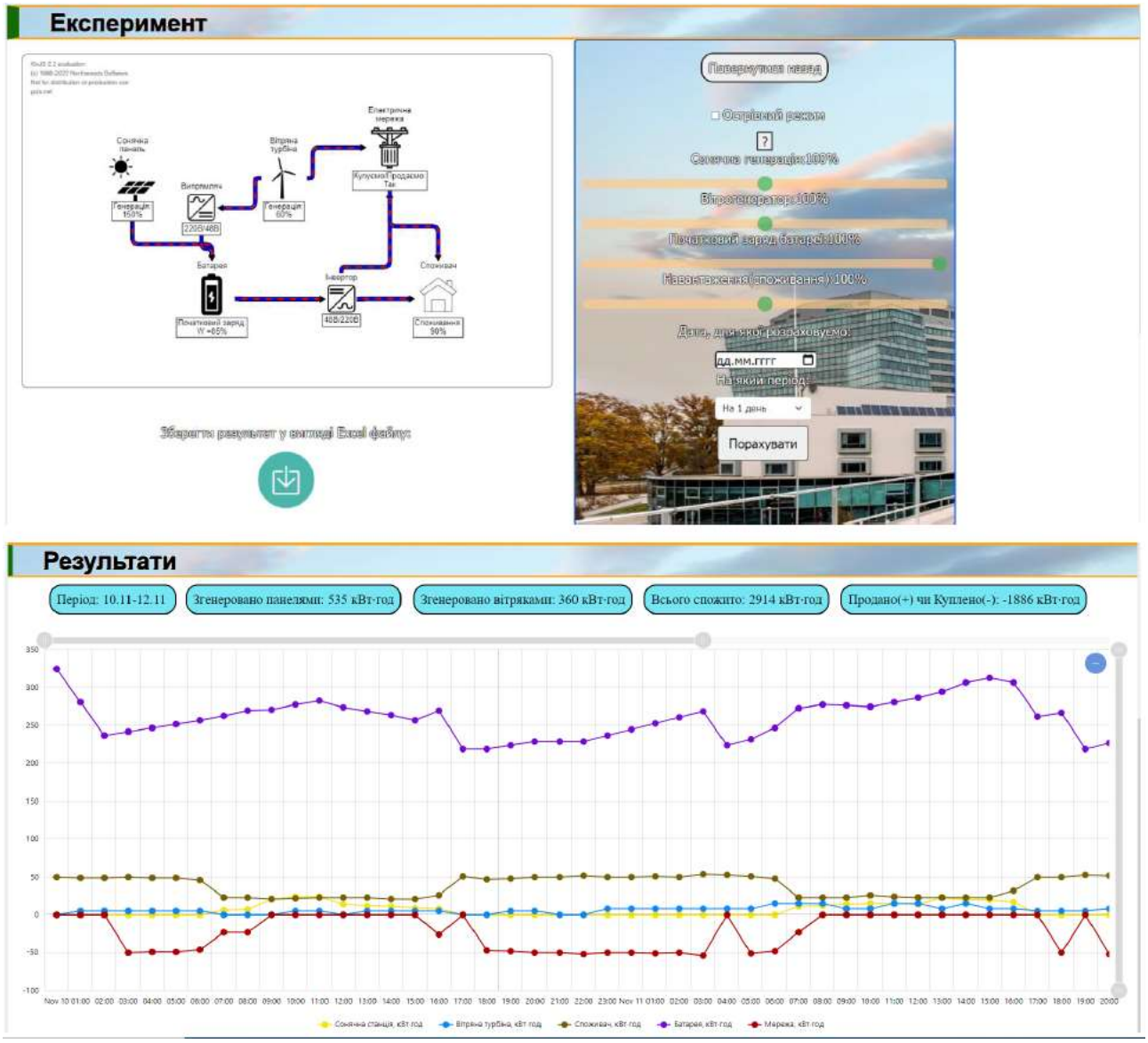
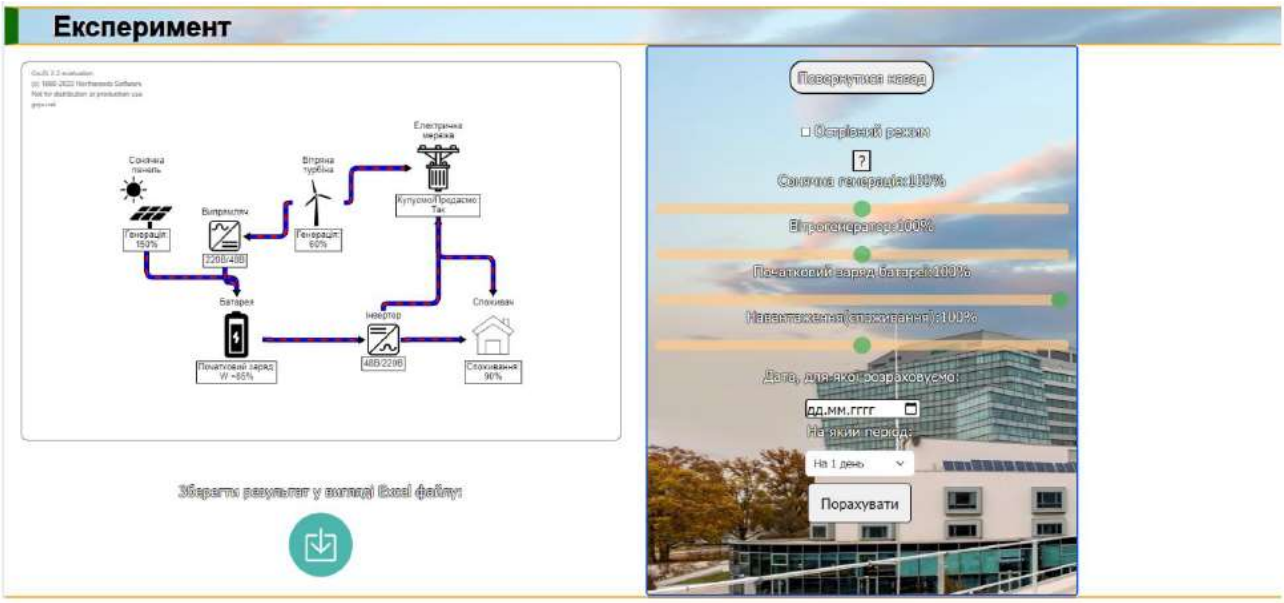


Рис. 4.9 Сторінка experiment.php з результатами імітації



	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J
1	**Результати розрахунків на 3 дні(-ів)**									
2	Дата	Температура, °C	Погода	Швидкість вітру (30м), м/с	Коефіцієнт іррадіації	Сонячна енергія, кВт·год	Вітряна енергія, кВт·год	Споживання, кВт·год	Батарея, кВт·год	Електрична мережа, кВт·год
3	00:00:00 10-11-2022	8	Похмуро	3	1,93	0	0	50	325	0
4	01:00:00 10-11-2022	8	Похмуро	4	1,93	0	5	49	281	0
5	02:00:00 10-11-2022	8	Похмуро	4	1,93	0	5	49	237	0
6	03:00:00 10-11-2022	8	Похмуро	4	1,93	0	5	50	242	-50
7	04:00:00 10-11-2022	7	Похмуро	4	1,93	0	5	49	247	-49
8	05:00:00 10-11-2022	7	Похмуро	4	1,93	0	5	49	252	-49
9	06:00:00 10-11-2022	7	охмуро+опад	4	1,93	0	5	46	257	-46
10	07:00:00 10-11-2022	8	охмуро+опад	3	1,93	6	0	23	263	-23
11	08:00:00 10-11-2022	8	охмуро+опад	3	1,93	7	0	23	270	-23
12	09:00:00 10-11-2022	9	Хмарно	3	1,93	21	0	21	271	0
13	10:00:00 10-11-2022	10	Хмарно	4	1,93	24	5	22	278	0
14	11:00:00 10-11-2022	11	Хмарно	4	1,93	24	5	23	283	0

Рис. 4.10 Збереження файлу та приклад його оформлення

ВИСНОВОК

У результаті виконання кваліфікаційної роботи магістра було розроблено web-додаток для імітаційного моделювання енергетичної мікромережі, досліджено як може працювати запропонована конфігурація мікромережі з часом. Визначено об’єкти, що генерують та споживають електричну енергію, з візуальним відображенням значень електричної енергії на схемі у додатку, розрахунки відносно заданих значень у базі даних з часовим інтервалом в 1 годину. Розроблено макет системи і проведені дослідження у визначених умовах, при цьому збирається вся необхідну аналітична інформація: генерація, споживання, потужність, ємність, напруга і тд.

Створено сторінку перегляду імітації роботи системи, що прив’язана до виконання розрахунків за вбудованою у сервер утилітою cron. Додано також сторінку експерименту, де з допомогою повзунків можна змінювати основні параметри системи. Можна перемикати також і функцію острівного режиму, що в сумі вплине на всю нашу систему та її роботу, а отже і результат.

Для аналізу даних була використана база даних, у якій зберігаються вхідні та вихідні параметри системи. Також для аналітичних можливостей за даними із БД будується графік, що вбудований у web-додаток. Він відображає основні дані про систему в залежності від конфігурації. Отримані аналітичні дані такої системи у дійсних умовах будуть доречними для подальшого вивчення та прогнозування мікромережі.

Отже, створений та протестований для моделювання роботи мікромережі, web-додаток слугує способом вивчення роботи процесів у мікромережі з отриманням аналітичної інформації про систему без врахування більш складних процесів.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Карпалюк І. Т. Комп'ютерні інформаційні технології в енергетиці. Конспект лекцій. Харків. ХНУМГ ім. О. М. Бекетова. 2018. 119 с.

2. Shendryk V., Parfenenko Yu., Pavlenko P., Boiko O., Shendryk S. Study of Structural Relationships and models of Information Support for Energy Life Cycle Management in Microgrid. *Intelligent Information Systems for Decision Support in Project and Program Management*: за ред. L. Linde. Riga: European University Press. 2021. С. 241-266.

3. Shendryk, Vira; Boiko, Olha; Parfenenko, Yuliia; Shendryk, Sergii; Tymchuk, Sergii Decision Making for Energy Management in Smart Grid. *Research Anthology on Smart Grid and Microgrid Development*: Hershey: IGI-Global. 2022. С. 1268 - 1301.

4. Shendryk, S., Shendryk, V., Parfenenko, Y., Drozdenko, O., Tymchuk, S. Decision Support System for Efficient Energy Management of MicroGrid with Renewable Energy Sources. *Proceedings of the 11th IEEE International Conference on Intelligent Data Acquisition and Advanced Computing Systems: Technology and Applications*. IDAACS 2021. 2021. 1. С. 225-230.

5. В.Л. Наумов. Автоматизована система управління. Юридична енциклопедія : у 6 т. / ред. кол.: Ю. С. Шемшученко (відп. ред.) та ін.. К.: Українська енциклопедія ім. М. П. Бажана. 1998—2004.

6. Подолець Р.З. Енергетичне моделювання: іноземний досвід і напрями перспективних досліджень в Україні. *Економіка і прогнозування*. 2006. № 1. С. 126-140.

7. What is renewable energy? URL: https://www.un.org/en/climatechange/what-is-renewable-energy

8. Solar Energy Basics URL: https://www.nrel.gov/research/re-solar.html

9. Wind energy URL: https://www.irena.org/wind

10. What is hydropower? URL: https://www.energy.gov/eere/water/hydropower-basics

11. Bioenergy Basics URL: https://www.energy.gov/eere/bioenergy/bioenergy-basics

12. Geothermal Energy URL: https://education.nationalgeographic.org/resource/geothermal-energy

13. Ocean energy URL: https://www.irena.org/ocean

14. Саух С.Є., Борисенко А.В. Математичне моделювання електроенергетичних систем в ринкових умовах: монографія. К.: «Три К». 2020. 340 с.

15. Alzahrani A. et al. Modeling and Simulation of Microgrid. *Procedia Comput Sci. Elsevier*. 2017. Vol. 114. P. 392– 400.

16. POWERSIM. Microgrid & grid connected design & simulation URL: https://powersimtech.com/solutions/microgrid-grid-connected/

17. The HOMER Pro® microgrid software by HOMER Energy URL: https://www.homerenergy.com/products/pro/index.html

18. PVWatts® Calculator URL: https://pvwatts.nrel.gov/index.php

19. Почніть роботу з GoJS. Підручники GoJS URL: https://gojs.net/latest/learn/#GoJSTutorials

20. amCharts 4 Документація URL: https://www.amcharts.com/docs/v4/

21. Solar Electricity Handbook 2019 Edition URL: http://www.solarelectricityhandbook.com/solar-irradiance.html

22. Скільки енергії генерують сонячні батареї? URL: https://ukrinnoteh.com.ua/ua/a181223-skolko-energii-generiruyut.html

23. Danish wind industry association URL: http://www.xn--drmstrre-64ad.dk/wp-content/wind/miller/windpower%20web/en/tour/wres/shear.htm

Що таке UML? URL: https://www.lucidchart.com/pages/ru/uml

25. Перспективи розвитку гібридних енергетичних систем URL: https://enerhodzherela.com.ua/analityka/Перспктиви-розвитку-гібридних-енергетичних-систем

26. Гібридні системи систем URL: https://smarteco.biz.ua/solution/ess/

27. Підходи до побудови ієрархічної структури робіт проекту (WBS) та обґрунтування вибору на прикладі. URL:

http://naukam.triada.in.ua/index.php/konferentsiji/45-p-yatnadtsyata-vseukrajinska-praktichno-piznavalna-internet-konferentsiya/306-pidkhodi-do-pobudovi-ierarkhichnoji-strukturi-robit-proektu-wbs-ta-obgruntuvannya-viboru-na-prikladi-proektu-stvorennya-sokovogo-baru-dnipro-the-juice

28. Поняття та різновиди організаційних структур проекту. Залежність організаційної структури проекту (OBS) від структурної декомпозиції проекту (WBS) URL: https://studfile.net/preview/4418235/

29. Що таке діаграма Ганта та як нею правильно користуватися? URL: https://nachasi.com/creative/2020/09/03/gantt-chart/

30. Управління ризиками в проектах URL: https://www.oa.edu.ua/download/Lektsija_8.pdf