

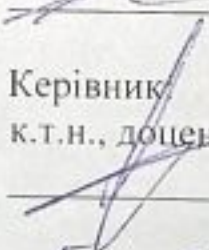
МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА

на тему:

«Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку»

Виконав: студент 2-го курсу, групи ЛТО-22м спеціальності
152 –Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка, освітня програма «Лазерна техніка та оптоінформатика»

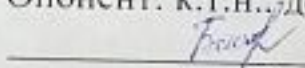

Кузьмін В.А.

Керівник
к.т.н., доцент каф. БМІОЕС

Кожем'яко А.В.

(прізвище та ініціали)

« 5 » грудня 2023 р.

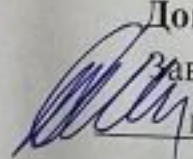
Опонент: к.т.н., доцент каф. АІТ


Богач І.В.

(прізвище та ініціали)

« 5 » грудня 2023 р.

Допущено до захисту


Завідувач кафедри БМІОЕС

к.т.н., доц. Коваль Л.Г.

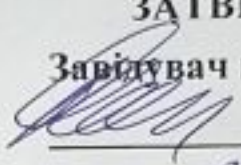
(прізвище та ініціали)

« 05 » 12 2023 р.

Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних електронних систем
Кафедра біомедичної інженерії та оптико-електронних систем
Рівень вищої освіти II-й (магістерський)
Галузь знань – 15- автоматизація та приладобудування
Спеціальність – 152 - метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
Освітньо-професійна програма – лазерна техніка та оптоінформатика

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БМІОЕС

 Л.Г. Коваль

8.09. 2023 року

ЗАВДАННЯ

НА МАГІСТЕРСЬКУ КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ СТУДЕНТУ

Кузьміну Владиславу Андрійовичу

(прізвище, ім'я, по батькові)

- Тема роботи: Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку
керівник роботи Кожем'яко Андрій Вікторович, к.т.н., доцент
затверджені наказом вищого навчального закладу від 18.09.2023 року № 247.
- Строк подання студентом магістерської дипломної роботи: 07.12.2023
- Вихідні дані до роботи:
 - Функціональне призначення розробки – визначення параметрів для ефективного автономного забезпечення житлових будинків із застосуванням сучасних систем сонячної енергії. Елементна база: Типи фотоелектричних елементів - монокристалічні, полікристалічні, тонкоплівкові; Напруга у фотоелектричних модулях – 0,5 Вт. Ефективність перетворення сонячного світла – не менше 10%. Термін служби та гарантія – не менше 50000 г.
- Зміст текстової частини: Вступ 1. Аналіз технологій енергозбереження в системах «розумних» будинків 2. Математичне моделювання роботи фотоелектричних перетворювачів 3. Комп'ютерне моделювання засобів забезпечення енергоспоживання розумних будинків. 4. Економічна частина. Висновки. Список використаних джерел. Додатки.
- Перелік ілюстративного матеріалу: 1. Схема автономної сонячної електростанції (off-grid). 2. Схема автономної сонячної електростанції під'єднаної до мережі (on-grid). 3. Схема сонячної електростанції з резервним (безперебійним) живленням.

6. Консультанти розділів роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Спеціальна частина, розділи 1-3	Кожем'яко А.В., к.т.н., доцент каф. БМІОЕС		
Економічна частина	Буреннікова Н.В., д.е.н., проф. каф. ЕПВМ		

7. Дата видачі завдання « 08 » _____ 09 _____ 2023 р

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Постановка задачі дослідження	18.09.2023	
2	Аналіз методів і систем керування розумними будинками	09.10.2023	
3	Розробка методу енергозабезпечення розумного будинка	09.11.2023	
4	Експериментальні дослідження системи	15.11.2023	
5	Економічний розділ	28.11.2023	
6	Попередній захист МКР	29.11.2023	
7	Нормоконтроль МКР	06.12.2023	
8	Рецензування МКР	07.12.2023	
8	Остаточний Захист МКР	14.12.2023	

Студент

Керівник роботи

В.А. Кузьмін

А.В. Кожем'яко

АНОТАЦІЯ

Кузьмін В.А. Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку. Магістерська кваліфікаційна робота зі спеціальності 152 - Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка, освітня програма - Лазерна техніка та оптоінформатика. Вінниця: ВНТУ, 2023. 124 с.

На укр. мові. Бібліогр. 43 назв.; рис. 52; табл. 13.

У магістерській кваліфікаційній роботі розроблено можливі варіанти схем сонячної електростанції для автономного забезпечення розумного будинку. Сонячна енергія може забезпечити розумному будинку джерело енергії, незалежне від централізованих енергетичних систем. Це може дозволити зберігати енергію в акумуляторах та використовувати її для живлення пристроїв та систем у будинку навіть у випадках перебоїв роботи централізованих електромереж. У першому розділі аналіз технологій енергозбереження в системах «розумних» будинків. У другому розділі проведено математичне моделювання роботи отоелектричних перетворювачів. У третьому розділі розроблено комп'ютерне моделювання засобів забезпечення енергоспоживання розумних будинків.

Ключові слова: сонячна енергетика, розумний будинок, автоматизована системи, аналіз даних.

ABSTRACT

Kuzmin V.A. Automated solar energy system for an autonomous residential building. Master's qualification work in the specialty 152 - Metrology and information-measuring equipment, educational program -.Laser technology and optoinformatics. Vinnytsia: VNTU, 2023. 124 c.

In Ukrainian. Bibliography. 43 titles; Fig. 52; Table 13.

In the master's qualification work, the researcher developed possible variants of solar power plant schemes for autonomous power supply of a smart home. Solar energy can provide a smart home with an energy source independent of centralized energy systems. This can allow storing energy in batteries and using it to power devices and systems in the house even in cases of interruptions in the operation of centralized power grids. The first section analyzes energy saving technologies in smart home systems. The second section analyzes the mathematical modeling of photoelectric converters. In the third section, computer modeling of means of ensuring energy consumption of smart homes is developed.

Keywords: solar energy, smart home, automated system, data analysis.

ЗМІСТ

ВСТУП.....	9
1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ «РОЗУМНИХ» БУДИНКІВ	12
1.1 -Аналіз актуальності застосування технологій енергозбереження в системах «розумних» будинків в сучасних умовах.....	12
1.2 Аналіз існуючих напрямків досліджень в технологіях «розумних будинків».....	17
1.3 Визначення складових структур енергонезалежного «розумного» будинку.....	20
1.4 Перспективи використання сонячних електростанцій батареях для автономного забезпечення «розумних будинків».....	23
1.5 Інтелектуальні системи керування сонячними системами розумного будинку.....	26
1.6 Контекст розумного будинку.....	28
1.7 Сценарій розумного будинку.....	29
2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ	31
2.1 Сонячне випромінювання.....	31
2.2 Глобальне горизонтальне опромінення	33
2.3 Дифузне горизонтальне опромінення	34
2.4 Температурні моделі сонячних панелей.....	36
2.5 Моделі еквівалентних схем з одним діодом.....	38
2.6 Моделі компонентів постійного струму	41
2.7 Процес перетворення сонячного світла.....	43
РОЗДІЛ 3. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ	48
3.1 Визначення параметрів енергозабезпечення «розумних будинків».....	48
3.2 Огляд програмного забезпечення для моделювання розумних будинків та сонячних панелей.....	53

3.3	Моделювання сонячної системи в середовищі LabVIEW	56
3.3	Відбір даних в LabVIEW	57
3.4	Моделювання характеристик споживання електроенергії в розумних будинках в системі LabView	61
3.5	Комп'ютерне моделювання системи сонячної електростанції для автономного забезпечення електроенергією розумного будинку	67
3.6	Розрахунок параметрів та моделювання системи в середовищі PVsyst.....	75
3.7.	Результат моделювання компонентів системи.....	80
3.8	Варіант реалізації запропонованої системи	83
4	ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА.....	89
4.1	Оцінювання наукового ефекту	89
4.2.1	Витрати на оплату праці.....	92
4.2.3	Сировина та матеріали.....	95
4.2.4	Розрахунок витрат на комплектуючі.....	97
4.2.5	Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт	97
4.2.6	Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт	98
4.2.7	Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень	99
4.2.8	Паливо та енергія для науково-виробничих цілей	100
4.2.9	Службові відрядження.....	101
4.2.10	Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації.....	102
4.2.11	Інші витрати.....	102
4.2.12	Накладні (загальновиробничі) витрати.....	102
	СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	108
	ДОДАТОК А (Обов'язковий) Протокол перевірки на плагіат магістерської кваліфікаційної роботи	113
	ДОДАТОК Б (Обов'язковий) Технічне завдання	114
	Додаток В (довідниковий) Варіанти схем автономної сонячної електростанції.....	118
	Додаток Г (довідниковий) Схеми роботи фотоелемента	119
	Додаток Д (обов'язковий) Ілюстративний матеріал.....	120

Додаток Е_(довідниковий) Схема проєкту сонячної електростанції для автономного забезпечення «розумного» будинку (модель середовища Helios)	121
Додаток Ж_(довідниковий) Алгоритм керування «розумним» з різними джерелами живлення	122
Додаток З_(довідниковий) Блок-схема в LabVIEW	123

ВСТУП

Клімат та географічне положення України сприятливі для розвитку сонячної енергетики і будівництва сонячних електростанцій (СЕС). Навіть північні області країни мають значний потенціал для розвитку даної галузі, який не поступається більшості європейських регіонів. Наразі розвиток сонячної енергетики в Україні знаходиться на стадії, яку Європа пройшла 7-10 років тому. Але ВДЕ одна з найпривабливіших сфер інвестицій в Європі для розвитку галузі. А саме, були створені сприятливі умови: наявність ресурсів і земельних ділянок, пільговий тариф, державна підтримка і цільова енергетична стратегія, мета якої – досягти 25% виробництва чистої енергії до 2035 року. В результаті інтерес до відновлюваної енергетики в Україні продовжує зростати, і, за оцінками уряду найближчим часом загальний обсяг інвестицій в альтернативну енергетику досягне 18 мільярдів доларів США [1-4].

Споживання електроенергії в будинках неухильно зросло протягом останніх кількох десятиліть. Ця тенденція створює певні проблеми для комунальних підприємств, споживачів та навколишнього середовища. Використання чистої енергії є важливим аспектом для застосування новітніх технологій в засобах інтелектуальних систем.

Звідси виникає потреба у засобах, які реалізують механізм автоматизованого прийняття рішень системами «розумного» будинку для забезпечення комфорту мешканців та підвищення показників енергоефективності без втручання користувачів системи. Тому впливає потреба в інструментах, що застосовують автоматизований механізм прийняття рішень для такого сучасного явища, як "розумний будинок" для підвищення енергоефективності та комфортних умов мешканців таких будинків. Актуальність роботи полягає в розробці системи енергонезалежності для "розумних" будинків із застосування відновлювальних джерел енергії.

Важливо забезпечити набір комплексних рішень, що включають апаратні і програмні засоби, для визначення важливих характеристик, як ззовні так всередині будинку, що впливають на поведінку пристроїв «розумного» будинку.

Мета і задачі роботи. Метою магістерської роботи є розширення функціональних можливостей автоматизованих систем сонячної енергетики для автономного житлового будинку і за рахунок застосування технологій управління елементами «розумних» будинків, що дозволить підвищити їх енергонезалежність та автономність.

Для досягнення поставленої мети в магістерській кваліфікаційній роботі необхідно вирішити такі завдання:

- провести аналіз розвитку сонячних електричних систем та аналіз існуючих методів, моделей та засобів автоматизованого управління «розумного» будинку;
- розробити математичну модель та визначити основні залежності в процесі перетворення сонячної енергії в електричну;
- запропонувати методи опрацювання вхідних даних для систем «розумного» будинку;
- визначити комп'ютерні методи керування системою «розумного» будинку в залежності від джерела живлення;
- Визначити параметри практичного застосування розроблених систем.

Об'єкт дослідження – процес автоматизованого керування системою «розумних» будинків з використанням автономних сонячних джерел енергії.

Предмет дослідження – методи та засоби управління сонячною системою для енергозабезпечення «розумного» житлового будинку.

Методи досліджень базуються на методах дослідження зображень грудної клітини, структурному синтезі експертних інформаційних систем, теорії математичної статистики та аналізу, методи побудови обчислювальних алгоритмів та теорії нейронних мереж.

Наукова новизна отриманих результатів: набув подальшого розвитку метод керування системою «розумних» будинків із використанням сонячних електричних джерел відновлювальної енергетики, які за рахунок застосування автоматизованих систем енергозабезпечення будинку дозволяють покращити автономність та захищеність житлових будинків.

Практична значимість отриманих результатів полягає в розробці архітектурних та програмних рішень визначення показників датчиків будинку для передбачення витрат енергії обрання найкращого варіанту застосування джерела електроенергії.

Основні теоретичні, розрахункові та експериментальні результати з формулюванням відповідних висновків отримані автором самостійно.

Апробація результатів роботи. Основні наукові та практичні результати, отримані в роботі, були на I і II науково-технічних конференціях професорсько-викладацького складу, співробітників та студентів факультету комп'ютерних систем і автоматики (м. Вінниця, 2019, 2021, 2022) [10].

Публікації. За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано статтю [1] у фаховому виданні та дві тези доповідей у матеріалах конференцій [2,3].

1 АНАЛІЗ ТЕХНОЛОГІЙ ЕНЕРГОЗБЕРЕЖЕННЯ В СИСТЕМАХ «РОЗУМНИХ» БУДИНКІВ

1.1 -Аналіз актуальності застосування технологій енергозбереження в системах «розумних» будинків в сучасних умовах

Вивчення актуальних наукових напрямків є невід'ємною частиною дослідницької діяльності, а використання інструментів, таких як Google Trends, стає досить важливим у цьому контексті. Google Trends дозволяє аналізувати інтерес користувачів до конкретних тем і ключових слів в Інтернеті. Це корисний апарат для визначення популярності певних наукових тем у глобальному масштабі. За допомогою Google Trends можна виявити тенденції, які вказують на збільшення або зменшення інтересу до конкретних областей досліджень, що надає можливість вченим та дослідникам адаптувати свої напрямки робіт до зростаючих потреб суспільства. Технології Google Trends є важливими інструментами для визначення тенденцій у багатьох сферах, наприклад, в напрямку енергозбереження та використання сонячної енергії в «розумних» будинках. За допомогою цього інструменту можна відстежувати зростання інтересу глобально та в Україні до ключових тем, таких як "сонячні панелі", "сонячна енергія для дому" чи "розумний будинок з енергоефективністю".

Останні роки спостерігають збільшений інтерес до впровадження сонячних технологій у житлових приміщеннях. Це обумовлено не лише підвищеним прагненням до енергозбереження, але і зростанням усвідомлення щодо викликів, пов'язаних із змінами клімату. Тренди використання сонячної енергії для розумних будинків можуть вказувати на шляхи подальшого розвитку та популяризації цієї екологічно чистої технології (рис.1.1.).

За умов військової агресії та пошкодження енергетичної інфраструктури, важливою стає роль самостійних технологій та систем, які дозволяють домогосподарствам функціонувати в умовах обмеженого доступу до електроенергії та інших комунікаційних сервісів. Такі технології можуть

забезпечити домогосподарствам додатковий ступінь незалежності та виживання в умовах кризи.

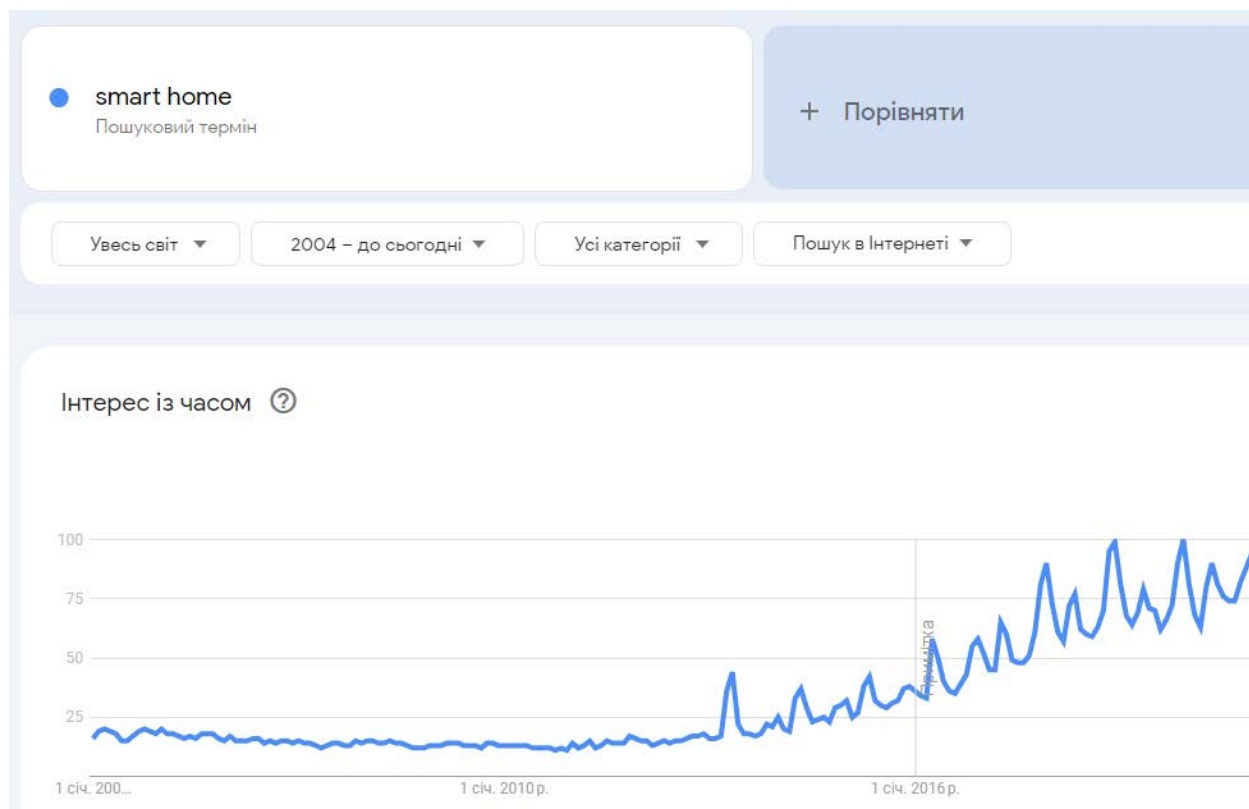


Рисунок 1.1 – Графік пошукових запитів «Smart home» в пошуковій системі Google

Представлений графік (рис. 1.2) пошукових запитів в Google щодо економії енергії в Україні свідчить про постійний інтерес суспільства до даної теми. Визначено, що підтримка цього інтересу тривала протягом різних періодів, але особливо активізувалася у жовтні-листопаді 2022 року. Цей пік інтересу співпадає з трагічними подіями в Україні, коли російські війська розпочали масовані ракетні обстріли енергетичної інфраструктури та масові відключення енергії для споживачів.

Поява високого інтересу до економії енергії може бути пов'язана з необхідністю швидко реагувати на збільшену потребу у ресурсах та розробляти стратегії для ефективного використання енергії в умовах обмежених ресурсів. Суспільний інтерес, який виник у зв'язку із загрозою енергетичної безпеки через військові дії, може викликати не лише зростання попиту на інформацію про

заощадження енергії, але і сприяти розвитку нових технологій та програм для забезпечення стійкості енергетичної автономії приватного домогосподарства.

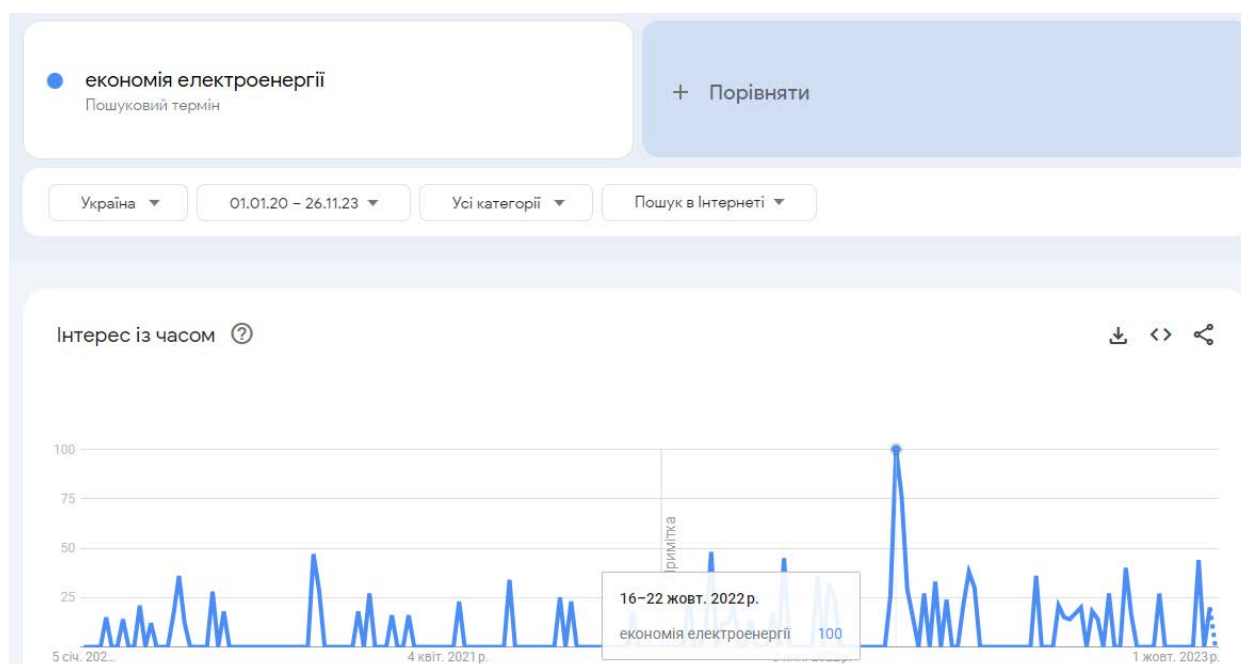


Рисунок 1.2 – Максимум пошукових запитів за останні 3 роки, щодо шляхів економії електроенергії в Україні

Зазначені події підкреслюють важливість не лише розуміння енергоефективності на рівні окремих домогосподарств та підприємств, але і необхідність впровадження стратегій та заходів національного масштабу для забезпечення стабільності та надійності енергетичної системи в умовах екстремальних ситуацій.

З початку XXI століття спостерігається збільшення інтересу до використання нетрадиційних джерел енергії, спровокований несприятливим становищем екології у світі. Зокрема, загрозливе забруднення атмосфери, водойм та землі, викликане традиційними паливно-енергетичними ресурсами, породжує необхідність виробництва енергії з нетрадиційних, відновлюваних джерел. Загострення цієї проблеми активно обговорюється, особливо в контексті можливого зникнення традиційних ресурсів енергії протягом наступних 100-150 років.

Дослідження в галузі відновлюваної енергетики, зокрема сонячної енергії, вказують на потенціал повного задоволення електроенергетичних потреб людства. Аналіз міжнародного проекту Land Art Generator Initiative свідчить, що за умови збереження поточного рівня продуктивності сонячних панелей та їх ефективності, навіть 0,33% площі земної суші або 0,097% земної поверхні вистачить для виробництва енергії, необхідної для світового споживання у 2030 році.

Статистика Міжнародного Агентства Відновлюваної Енергетики підтверджує стрімке зростання використання відновлюваних джерел енергії, зокрема сонячної та вітрової енергетики, протягом останнього десятиліття. Прогнози міжнародних організацій, таких як IEA та IRENA, підтверджують тенденцію до зростання виробництва електроенергії від відновлюваних джерел до 2050 року від 50% до 100%, і навіть до 2030 року деякі країни можуть досягти показників 50-80%.

У сучасному світі сонячна енергетика визнається одним із ключових напрямків альтернативної енергетики. Цей метод ґрунтується на прямому використанні сонячного випромінювання для виробництва енергії та вважається екологічно чистим, оскільки його експлуатація не призводить до утворення шкідливих відходів. Сучасні технології дозволяють значно підвищити продуктивність сонячних електростанцій, здійснюючи фокусування сонячного випромінювання та використання тепла для отримання енергії.

Переваги сонячної енергетики полягають у її перспективності, доступності та необмеженості джерела енергії в умовах зростання цін на традиційні види енергоносіїв. Це відновлюване джерело енергії є екологічно чистим, забезпечуючи безпеку для навколишнього середовища, хоча враховується ймовірність можливих змін клімату при широкому впровадженні сонячної енергетики. Недоліки включають залежність від погодних умов та часу доби, сезонність та розбіжність періодів вироблення енергії та її використання, що призводить до нерентабельності у високих широтах. Також до недоліків відносяться необхідність акумуляції енергії, дублювання сонячних енергетичних

установок традиційними, висока вартість конструкції з використанням рідкісних елементів та інші технічні та економічні аспекти.

Перспективи сонячної енергетики як джерела електроенергії майбутнього надзвичайно великі. Щорічний приріст енергетики за останні п'ять років становив у середньому близько 50%, а це відновлюване джерело енергії має потенціал забезпечити до 2050 року 20-25% всієї потреби людства в електриці та значно зменшити викиди вуглекислого газу. Сучасні технології дозволяють використовувати сонячні фотоелементи для виробництва електроенергії ефективніше та екологічно чистіше порівняно з іншими джерелами.

Процес перетворення енергії сонця на електричний струм у сонячних батареях базується на фотоелектричному ефекті, який був відкритий ще у ХІХ столітті. Розвиток технологій призвів до використання фотоелементів на основі кремнію, що є найпоширенішим матеріалом у виробництві сонячних батарей. Впровадження альтернативних матеріалів, таких як мідь, індій, галій та кадмій, відбувається для оптимізації процесу та зниження вартості конструкції. Застосування сучасних технологій дозволяє створювати багатошарові фотоелементи з коефіцієнтом фотоелектричного перетворення понад 30%, що забезпечує високий рівень ефективності сонячних батарей.

Сонячні фотоелектричні системи швидко зростають важливим компонентом глобального виробництва електроенергії та мають широкий спектр застосувань від промислових масштабів до особистого використання. За останнє десятиліття вартість виробництва сонячних панелей різко знизилася, зробивши їх доступними та конкурентоспроможними. Термін служби сонячної батареї складає близько 30 років, що підкреслює їхню довговічність та ефективність у сучасному енергетичному ландшафті.

Хоча в літературі вже описані методи, які дозволяють досягти задовільного рівня енергозбереження, зростаюча чисельність населення продовжує привертати увагу до необхідності вдосконалення методів енергозбереження та рекомендацій в цьому напрямку. Для пом'якшення проблем, пов'язаних з енергозбереженням та

забезпеченням балансу попиту на енергію, існує потреба в більш досконалих підходах.

Пропозиція полягає у визначенні можливих напрямків досліджень для заповнення прогалин та вирішення проблем енергозбереження та рекомендаційних методів енергозбереження.

1. Сценарне використання енергії: Розробка алгоритмів, що враховують декілька сценаріїв енергоспоживання, може сприяти визначенню оптимального рівня енергозбереження. Врахування різних сценаріїв, таких як комфорт, економія, вулиця чи робоче середовище, дозволить порівняти рівні енергоспоживання та визначити оптимальний сценарій для забезпечення більш ефективного енергозбереження. Взаємозв'язок між кількістю користувачів та ефективністю технологій: Дослідження впливу кількості користувачів на ефективність технологій енергозбереження може розкрити нові взаємозв'язки та допомогти в розробці більш ефективних підходів до забезпечення енергозбереження.

2. Методи рекомендацій на основі спільних знань: Існує потреба у дослідженнях, спрямованих на розробку методів рекомендацій, що базуються на знаннях для забезпечення більш ефективних порад щодо енергозбереження. Використання цих методів може допомогти в розробці гібридних підходів, що поєднують ефективність та практичність, враховуючи споживчі характеристики та реальний час енергоспоживання. Це може сприяти зменшенню навантаження на енергетичні мережі та пікового попиту на енергію.

Ці напрямки досліджень можуть сприяти подальшій еволюції методів енергозбереження, роблячи їх більш ефективними та практичними.

1.2 Аналіз існуючих напрямків досліджень в технологіях «розумних будинків»

Енергозбереження та енергоефективність. Потрібно розглянути різні аспекти енергоефективності, енергозбереження та виконати рекомендації з

енергозбереження в розумних будинках. Для цього необхідно визначити проблеми пікового навантаження та запропонувати методи планування для розподілу електроенергії для стабілізації її споживання. Необхідно провести аналіз методів та технологій застосування та планування енергозбереження для розумних будинків. Існуючі технології розумних будинків активно вивчаються в аспекті енергозбереження та енергоефективності. Важливо враховувати взаємодію користувачів, планування енергоспоживання та використання алгоритмів для оптимізації роботи систем "розумних" будинків. Дослідження також наголошують на необхідності подальших досліджень в галузі розвитку інфраструктури та врахування міських аспектів для створення стійких "розумних" міст.

Розумні будинки оснащені безліччю датчиків і розумних пристроїв (наприклад, ширококутові шлюзи, мобільні телефони, ноутбуки, ПК, телевізори, динаміки, побутова техніка, вилки, камери спостереження, освітлення, жалюзі, термостати і лічильники), які, інтегровані з комунікаційними технологіями в будівлях і житлових будинках, створюють широкий спектр застосувань. Системи домашньої автоматизації, безумовно, привабливі тим, що дозволяють керувати всім дистанційно за допомогою веб-додатків. Деякі додатки використовують найпростіші можливості IoT (Інтернет речей, наприклад, додатки для забезпечення безпеки (наприклад, відеоспостереження, виявлення вторгнень, управління доступом), для управління та обслуговування установок (наприклад, виявлення несправностей, управління активами/обслуговування), для автоматизації обслуговування автоматизації (наприклад, OBiK, освітлення, зрошення), а також для розважальних систем (наприклад, розповсюдження мультимедіа по всьому будинку).

У порівнянні з концепціями розумного урбанізму/розумних міст, концепція розумних будинків є менш усталеною як об'єкт дослідження в галузі інфраструктурних досліджень, тобто як об'єкт, що складається з будинку як простору, насиченого пристроями, підключеними до Інтернету (частіше концептуалізується як Інтернет речей, IoT). Дослідження домашніх цифрових

пристроїв більш чітко зосереджені на великих даних, цілісності, спостереженні або праці.

Розумний дім можна класифікувати як код/простір: "Код/простір виникає, коли програмне забезпечення і просторовість повсякденного життя стають взаємно конституційованими, тобто продукуються одне через одного. Тут просторовість є продуктом коду, а код існує насамперед для того, щоб продукувати певну просторовість. Іншими словами, між кодом і просторовістю існує діадичний зв'язок".

Як згадувалося на початку цього розділу, дослідження інфраструктури "розумних" міст і "розумних" технологій загалом переважно зосереджувалися на програмному забезпеченні, даних, наслідках і конфліктних інтересах у сфері обробки великих обсягів даних. Культурологічні дослідження також стосуються повсякденних пристроїв, що генерують дані. У статті [6] дослідники вивчають, як дані, згенеровані натільними пристроями, набувають значення в повсякденному житті людей, з метою зрозуміти, як "дані стають частиною людського досвіду, рутини, імпровізацій та досягнень, як вони змінюються і змінюються, а також як і чому вони мають значення для людей" [8].

Загалом, ця теза дотримуватиметься технічного визначення розумного будинку

Слід визначити основні напрямки досліджень в галузі енергозбереження «розумних будинків».

1. Енергетична оптимізація полягає в розробці та вдосконаленні методів та алгоритмів, спрямованих на оптимізацію використання електроенергії в розумних будинках. Це включає в себе розробку ефективних систем планування енергоспоживання, врахування динамічних тарифів, адаптивне управління приладами та інші підходи, спрямовані на зниження витрат енергії та оптимізацію енергетичних процесів у будинках.

2. Розвиток технологій "розумного дому" орієнтований на технології, які реалізують концепцію "розумного дому". Включає в себе розробку та оптимізацію систем домашнього автоматизованого управління, інтеграцію різних "розумних"

пристроїв та систем, а також створення інтерфейсів для користувачів. Ці технології мають сприяти підвищенню комфорту, безпеки та енергоефективності в розумних будинках.

3. Вплив користувачів на енергозбереження фокусується на вивченні впливу звичок і поведінки мешканців на рівень енергозбереження. Дослідження включають аналіз того, як зміна звичок може впливати на споживання електроенергії, і розробку стратегій для залучення користувачів до активної участі в енергозберігаючих процесах.

4. Оптимізація систем енергоменеджменту спрямований на розробку оптимальних систем управління енергоспоживанням в режимі реального часу. Дослідження включають в себе вивчення архітектур і функціональних модулів HEMS (систем домашнього енергоменеджменту), а також розробку алгоритмів планування та управління енергетичними ресурсами для ефективного використання електроенергії.

5. Системи енергетичних рекомендацій спрямовані на розробку та впровадження систем, які надають користувачам конкретні рекомендації щодо оптимізації енергоспоживання. Ці системи можуть використовувати алгоритми машинного навчання та штучного інтелекту для аналізу споживання енергії та надання індивідуальних порад для забезпечення оптимального використання електроенергії в побуті.

Ці напрямки досліджень взаємодіють та взаємодіють для досягнення загальної мети розумних будинків - підвищення енергоефективності, комфорту та безпеки для користувачів.

1.3 Визначення складових структур енергонезалежного «розумного» будинку

В контексті військової агресії та можливого пошкодження енергетичної інфраструктури в Україні, деякі технології можуть мати особливе значення для домогосподарств.

На рис. 1.3 представлено основні складові структури енергонезалежного «розумного» будинку



Рисунок 1.3 — Основні складові структури енергонезалежного «розумного» будинку

1. Автономні системи живлення. Застосування альтернативних джерел живлення, таких як сонячні панелі або генератори, може забезпечити домогосподарства електроенергією під час перебоїв у централізованому живленні під час конфліктів.

2. Системи енергозбереження та управління. Технології "розумного дому", зокрема системи енергозбереження та управління, можуть допомогти домогосподарствам оптимізувати використання енергії, навіть при обмеженому її постачанні.

3. Системи забезпечення безпеки. "Розумні" системи безпеки, включаючи моніторинг та відеоспостереження, можуть бути важливими для захисту домогосподарств під час нестабільних ситуацій.

4. Засоби зв'язку. Комунікаційні технології можуть грати ключову роль у забезпеченні зв'язку між домогосподарствами та надавати можливість отримання інформації та допомоги під час кризових ситуацій.

5. Інтегровані системи керування витратами води та опалення. Застосування систем керування витратами ресурсів може допомогти ефективно використовувати обмежені ресурси та зменшити навантаження на енергетичну систему.

На основі даних, наданих НКРЕКП та ГС «УВЕА», можна визначити, що станом на 31 грудня 2021 року в Україні досягнута значуща потужність у секторі відновлюваної енергетики (рис 1.4). Загальна встановлена потужність сягнула 9 655,9 МВт, враховуючи сонячні установки для приватних домогосподарств (дСЕС), та 8 450,8 МВт без їхнього врахування.

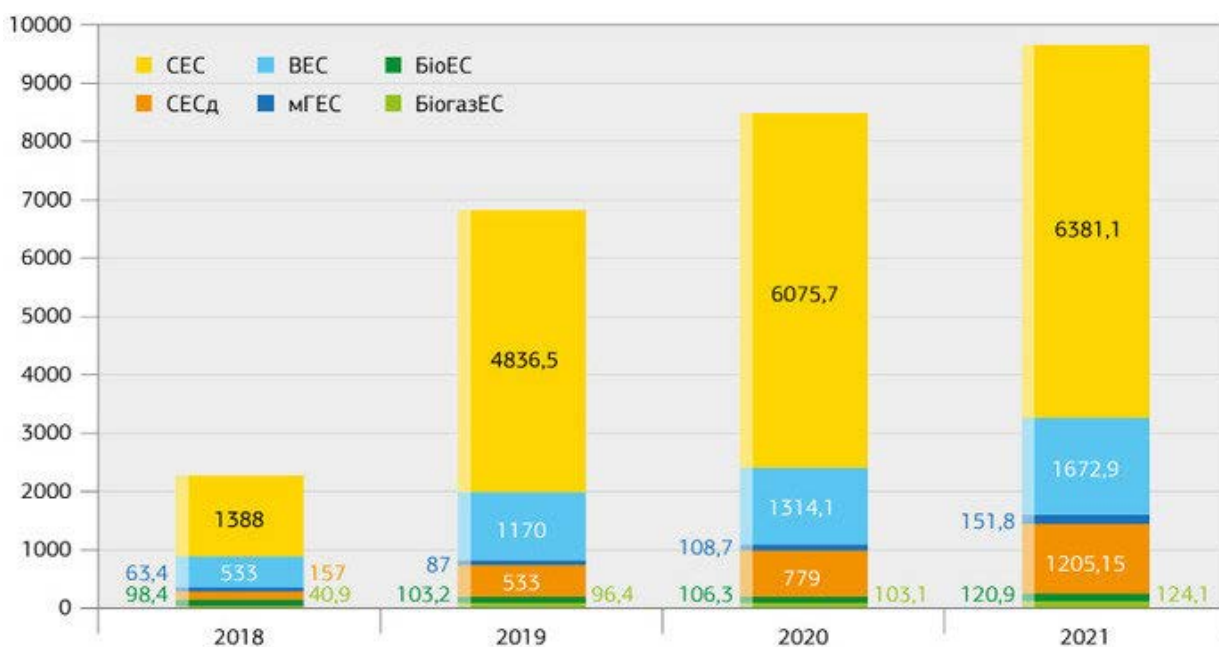


Рисунок 1.4. — Графік зростання потужності об'єктів відновлювальної енергетики

За допомогою графіків та даних, поданих НКРЕКП, можна відзначити динаміку зросту встановленої потужності об'єктів відновлювальної енергетики, які працюють за «зеленим» тарифом. Ці цифри свідчать про позитивний тренд у розвитку сектору.

Варто зазначити, що, не зважаючи на загальний розвиток галузі, активний ріст відбувався переважно в одному сегменті - домашніх сонячних енергостанціях (дСЕС). У 2021 році їх потужність зросла на 426,1 МВт, що становить вражаючі 36,4% від усіх нових потужностей відновлювальної енергетики, що були введені в експлуатацію протягом минулого року. Таким чином, загальна потужність всіх сонячних систем домогосподарств досягла 1 205,1 МВт.

У контексті промислової сонячної енергетики варто відзначити невелике зростання у 2021 році - лише на 305,5 МВт. Це становить 26,1% від усіх нових потужностей відновлювальної енергетики, введених у 2021 році. Проте це число є значущо меншим у порівнянні з показниками 2020 року - збільшення на 818,1 МВт або 3,6 рази менше.

В останньому кварталі 2021 року сумарна встановлена потужність сектору сонячної енергетики в Україні досягла 7 586,3 МВт, враховуючи і домашні СЕС, що є доказом сталого зростання цієї галузі та важливості внеску різних сегментів у загальну картину відновлювальної енергетики в країні.

1.4 Перспективи використання сонячних електростанцій батареях для автономного забезпечення «розумних будинків»

Залежно від характеристик, існує кілька типів електростанцій на сонячних батареях: автономні, резервні та підключені до мережі [23-25].

Автономні системи. Даний тип сонячних батареє використовується в умовах гарної освітленості Сонцем, а також у випадку відсутності можливості підключення до централізованої електромережі. Резервні системи. Використання резервних систем може бути застосовано у випадках неналежної якості напруги у

централізованої електромережі для покриття навантаження або ж в мережах з поганою якістю.

Системи, підключені до мережі. Можливе використання сонячних батарей, поєднуючи їх з підключенням до мережі централізованого електропостачання. В цьому випадку, зазвичай наявний надлишок власної електроенергії, який продається електромережі. Такі системи є широко поширеними в Європі.

Інвертор перетворює отриманий від сонячних батарей заряд у прийнятний вид електричного струму, що підходить для живлення споживачів. Узагальнені схеми СЕС, що придатні для використання у житловому будинку наведено на рис. 1.5 та рисунку 1.6 [18,23-25].

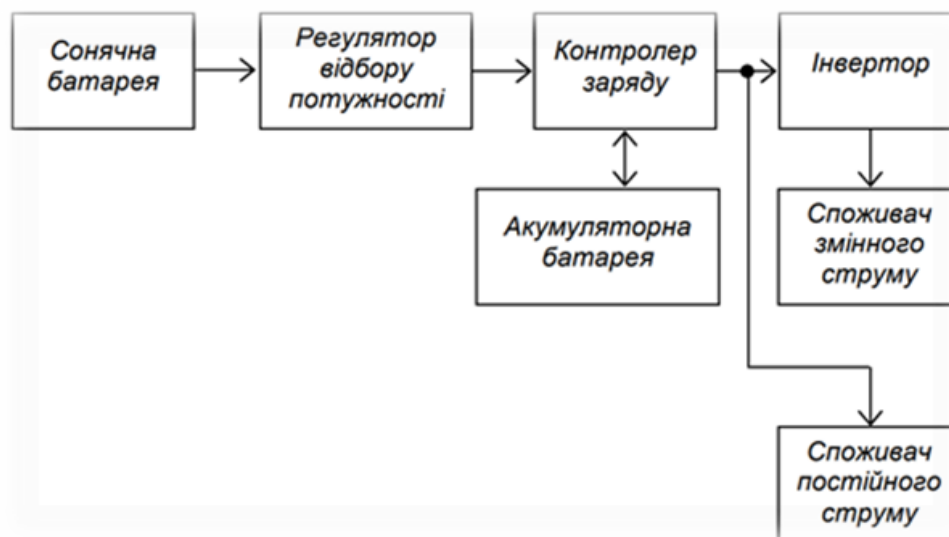


Рисунок 1.5 - Схема автономної сонячної електростанції

Зазвичай, сонячні батареї підрозділяються на два основних види: сонячні колектори і сонячні батареї. Основними складовими комплексної системи сонячних батарей є: фотоелектричні модулі, інвертор, контролер зарядки, акумуляторна батарея та сполучні кабелі.

Сонячні батареї перетворюють сонячне світло в електричний струм завдяки фотоелектричному ефекту. Контролер заряду стежить за рівнем вироблення енергії і регулює режим роботи батареї. Акумулятори накопичують отриману енергію і

забезпечують підтримку стабільної роботи пристрою в темний час, коли сонячні батареї не працюють.

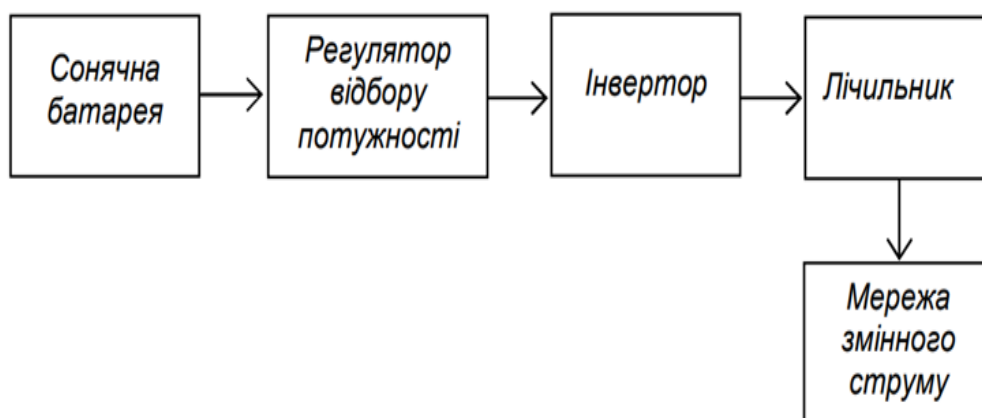


Рисунок 1.6 - Схема сонячної електростанції, що з'єднана з електромережею

Середній термін служби потужної сонячної батареї більше 25 років. Коефіцієнт корисної дії сонячної батареї - 14%. Ефективність і продуктивність роботи сонячної батареї, в першу чергу, залежить від її номінальної потужності, а також від активності Сонця.



Рисунок 1.7 — Характеристики СП в залежності інтенсивності сонячного випромінювання

Для повного забезпечення будинку електроенергією потрібна комплексна система, яка містить акумулятори, контролери, інвертори і чимало інших складових. Вартість такої системи досить висока. В Україні базова система коштує біля 10 тис. доларів США. Якщо встановлюється комплексна енергосистема, яка забезпечує повне енерго- і тепло забезпечення будинку, то це буде коштувати від 15 до 20 тис. доларів США. Гарантований термін її експлуатації - близько 25 років. Термін окупності таких систем - 7-10 років [19-20,25]. На сьогоднішній день, сонячні батареї вигідно встановлювати тільки в тих країнах, де це частково фінансується урядом [13-15] .

1.5 Інтелектуальні системи керування сонячними системами розумного будинку

За прогнозами Міжнародного енергетичного агентства (МЕА), до кінця 2035 року світовий попит на енергію зросте більш ніж на 2,3% [2]. Глобальне потепління та накопичення енергії привертають все більше уваги до системи енергоменеджменту будівель (BEMS). Система енергоменеджменту будинку допомагає зменшити попит на електроенергію в періоди пікових навантажень [3]. Для управління домашніми приладами в рамках системи розроблені різні методи управління. У житлових будинках система може бути застосована для допомоги в енергопостачанні шляхом взаємодії з навантаженням будівлі та інженерними мережами, контролю використання енергії, а також для отримання інформації (наприклад, про витрати на транспорт) з метою обмеження споживання енергії шляхом планування використання побутових приладів [4]. Розробки можуть дати типове задоволення між покупцями, розуміючи їхні тенденції до комфорту, і комунальними службами, допомагаючи в реалізації стратегій енергозбереження [5]. Розумний дім є одним із застосувань інтелектуальних розробок у будівництві, який може запропонувати можливості для покращення енергоменеджменту, зменшення споживання енергії, енергозбереження, зменшення викидів парникових газів та покращення домашньої автоматизації. Енергоспоживання в

житлових будинках залежить від різних компонентів, включаючи кількість мешканців, які проживають у будівлі, осіб, які перебувають вдома або за її межами, а також номінальну електричну потужність [6]. Системи енергоменеджменту дозволяють досягти економії енергоспоживання в діапазоні 16%-20% [7,8]. У роботі [9] автори запропонували систему, яка допоможе користувачам переглядати своє енергоспоживання, увійшовши на веб-сторінку.

Постійне підвищення тарифів на електроенергію для населення призвело до того, що власники житла шукають рішення, як зменшити свої рахунки за електроенергію. У цьому контексті мінімізація енергоспоживання може сприяти сталості енергетики та довкілля [10]. Тому належне управління енергією в житловому секторі є вирішальним компонентом для створення сталого клімату та зниження витрат [11]. Футуристичний план полягає в підтримці самонавчальних методів штучного інтелекту, які можуть замінити позицію користувача та доступ до системних налаштувань, підтримуючи впровадження систем на різних рівнях управління електроенергією в цілому [12]. Поширення "розумних" мереж і зростання попиту на електроенергію надали нові переваги з метою зменшення споживання електроенергії. Попередні роботи з планування роботи побутових приладів були зосереджені на енергозбереженні та зменшенні витрат на електроенергію без урахування комфорту користувача. Таким чином, економія електроенергії є основним завданням. Система домашньої автоматизації розроблена з використанням IoT на основі мультимодального додатку, яким можна керувати за допомогою розпізнавання голосу [14]. Розроблено людино-орієнтовану поведінку перепланування приладів для житлових будинків. Результати показують покращення енергозбереження [15]. У розглянутій літературі не проаналізовано розробку системи енергоменеджменту на побутовому рівні з мінімальними інвестиціями та точною поведінкою. Таким чином, існує можливість для розробки відповідної системи для розумної, енергоефективної системи домашньої автоматизації.

1.6 Контекст розумного будинку

Розумний будинок - це багате середовище з різними типами енергоспоживаючих підключених пристроями, що споживають енергію, і являє собою відповідний мотивуючий сценарій для цієї дослідницької роботи, як показано на рисунку 1.3. Однією з задач роботи є визначення і перехід від локальної оптимізації енергоспоживання до цілісної оптимізації енергоспоживання в гнучких і гетерогенних енергетичній оптимізації у гнучких та гетерогенних середовищах. У такому контексті кілька гетерогенних пристроїв з'єднані між собою за допомогою різних протоколів і обмінюються даними. Вони взаємодіють один з одним для виконання конкретних завдань, а також взаємодіють з людьми, що додає додатковий рівень складності системі. Це середовище містить пристрої, які створюють різні типи даних, починаючи від фізичного вимірювання величин (наприклад, температура) до даних, пов'язаних з програмним забезпеченням (наприклад, завантаження процесора певним програмним забезпеченням).

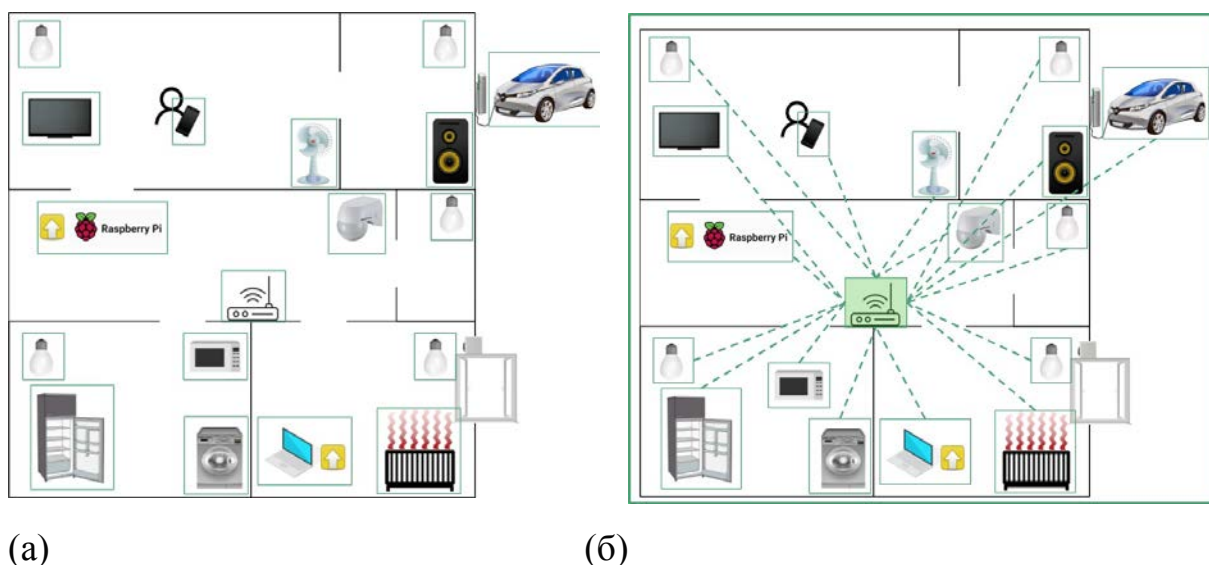


Рисунок 1.9 — Середовище розумного будинку (а) локальна оптимізація енергоспоживання, (б) комплексна оптимізація енергоспоживання

Середовище розумного будинку є масштабним, оскільки кількість пристроїв обмежена, навіть якщо вони можуть бути досить різноманітними, мати різні типи, інтерфейси, виробників тощо. Однак ці середовища є динамічними, оскільки в існуючих пристроях можуть відбуватися зміни, такі як оновлення програмного забезпечення, оновлення програмного забезпечення, оновлення апаратного забезпечення, зміна місця розташування тощо. В рамках цього сценарію кожен пристрій має своє енергоспоживання, яке необхідно оцінити або виміряти, щоб мати можливість оцінити глобальне енергоспоживання та впровадити відповідні стратегії управління енергоспоживанням.

1. 7 Сценарій розумного будинку

Кількість можливих сценаріїв і комбінацій пристроїв, що працюють разом у середовищі розумного будинку, необмежена. Тому пропонується конкретний сценарій роботи обладнання в розумних будинках: середовище з різноманітними підключеними пристроями, включаючи смарт-телевізор, медіа-бокс, світлодіодні лампи, мешканця будинку, який носить смарт-годинник (такий пристрій може надавати важливу інформацію, головним чином, про активність користувача), а також датчик освітленості. У деяких з цих пристроїв присутні енергозберігаючі режими. Наприклад, екран смарт-годинника вимикається, якщо користувач не дивиться на годинник або не повертає зап'ястя, а телевізор вимикається або переходить у режим сну після періоду бездіяльності. За такого сценарію пристрої не обмінюються даними, щоб досягти більшої економії енергії, і енергоспоживання цих пристроїв невідоме, якщо вони не підключені до апаратного вимірювального обладнання.

Однак відомо, що на потужність впливає багато показників (наприклад, на потужність телевізора впливає його яскравість, на потужність світлодіодної лампи - яскравість і колір, а на потужність медіа-боксу - декодування високоякісного потокового відео). Крім того, коли пристрій обмінюється даними, зібраними з його датчиків, з усією системою, потужність може бути оцінена для кожного

пристрою, і більш цікаві адаптації виконуються на тонкому рівні, що призводить до цілісної оптимізації енергоспоживання. Керування енергоспоживанням здійснюється з урахуванням комфорту користувача: зменшення яскравості світлодіодів і телевізорів, зниження якості потокового мовлення, перевірка поведінки користувача та відповідні дії, а також оцінка та розподіл енергоспоживання пристрою.

2 МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ РОБОТИ ОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПЕРЕТВОРЮВАЧІВ

2.1 Сонячне випромінювання

Сонячне випромінювання - це інтенсивність (потужність) сонячного випромінювання у верхніх шарах земної атмосфери. Зазвичай виражається в одиницях опромінення (Ваттах на квадратний метр) на площині, нормальній до Сонця. Вона змінюється протягом року через еліптичну орбіту Землі, що призводить до того, що відстань Земля-Сонце змінюється протягом року у передбачуваний спосіб.

Цей ефект може бути емпірично представлений наступними рівняннями:

$$E_a = E_s \cdot c \times \left(\frac{R_a}{R}\right)^2, \quad (2.1)$$

де сонячна стала $\left(\frac{R_a}{R}\right)^2$

$$\begin{aligned} \left(\frac{R_a}{R}\right)^2 = & 1.00011 + 0.034221\cos(b) + 0.00128/\sin(b) + \dots \\ & 0.000719\cos(2b) + 0.000077\sin(2b) \end{aligned}$$

середня відстань між Сонцем і Землею, а (R) - фактична відстань між Сонцем і Землею в залежності від дня року.

$$b = 2\pi \frac{DOY}{365} \text{ radians}$$

де *DOY* – день року (ціле число).

Пряме нормальне опромінення

Пряме нормальне випромінювання (DNI) можна виміряти безпосередньо за допомогою абсолютного порожнинного радіометра. Абсолютні порожнинні радіометри вважаються найточнішим методом вимірювання сонячної радіації і складають основу Всесвітнього радіометричного еталона (WRR). Однак, абсолютні порожнинні радіометри не призначені для безперервного використання на відкритому повітрі без нагляду.

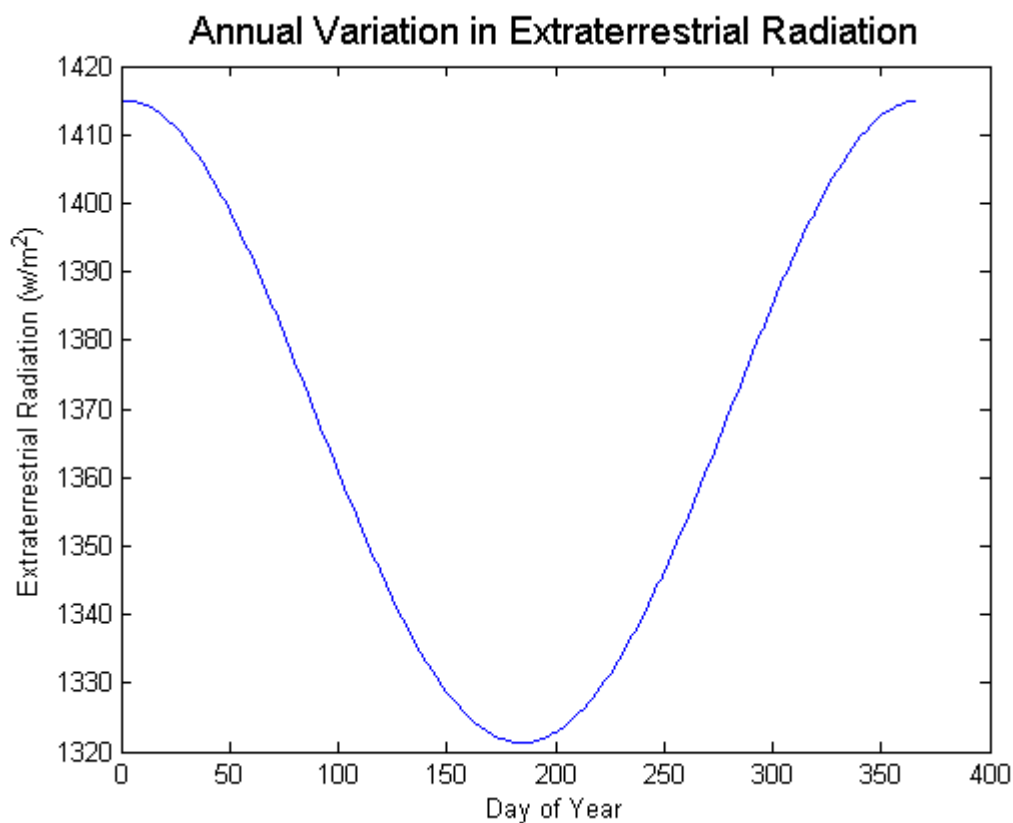


Рисунок 2.1 — Залежність сонячної радіації від дня року

Тому основним методом вимірювання ПЕД є вимірювання за допомогою приладу, який називається піргеліометр. У піргеліометрах, як правило, використовуються датчики з термопарою на основі світлоколімаційної трубки і скляного віконця, хоча вони також можуть бути сконструйовані з іншим світлочутливим елементом на місці термопари. Світлоколімаційна трубка забезпечує піргеліометру поле зору 5° і обмежує його можливості вимірювання прямого променя і навколосонячного випромінювання. Крім того, таке мале поле зору також змушує пірхеліометр відстежувати нормаль до Сонця.

Якщо прямі вимірювання DNI недоступні, DNI можна обчислити за допомогою копланарних вимірювань дифузного і сумарного випромінювання приладами з полем зору 180° (кут падіння між площиною збору і сонцем також має бути відомим).

Якщо ко-планарні вимірювання дифузного і сумарного випромінювання недоступні, були розроблені моделі для оцінки DNI на основі глобального горизонтального опромінення (GHI) та інших факторів навколишнього

середовища. Двома популярними моделями є моделі DISC і DIRINT, розроблені Е. Максвеллом і Р. Пересом та ін. відповідно.

Існують моделі для визначення DNI за GHI як покращення моделі DISC. Ця модель, "DIRINT", покращує оцінку шляхом об'єднання зенітного кута, глобального горизонтального коефіцієнта пропускання і температури точки роси; або різних функцій цих змінних, включаючи часову похідну глобального горизонтального коефіцієнта пропускання. Кожна параметризація вказує на стан неба. Вплив кожного можливого біну визначається шляхом знаходження коефіцієнта з чотиривимірної пошукової таблиці і використання цього коефіцієнта для модифікації оціненого результату DNI, отриманого за допомогою моделі DISC.

Інструментарій PV_LIB містить функцію для виконання моделі DIRINT, яка називається `pvl_dirint`.

2.2 Глобальне горизонтальне опромінення

Глобальне горизонтальне опромінення (ГГО) - це кількість земного випромінювання, що падає на поверхню, розташовану горизонтально до поверхні землі. GHI можна виміряти за допомогою різних приладів. Найпоширеніший інструмент, що використовується для вимірювання GHI, називається піранометр, який має напівсферичний (180°) кут огляду. Відмінною рисою піранометра є істинний косинусний відгук на кут падіння, тобто відгук піранометра на промінь світла пропорційний косинусу кута падіння променя. Більшість піранометрів використовують датчик на основі термопали для сприйняття вхідного світла; однак, такі піранометри, як Licor LI-200, використовують фотоелектричний пристрій з дифузором. Піранометри на основі термобатареї мають пласку спектральну характеристику на вхідне світло, тоді як піранометри на основі фотоелектричного датчика матимуть спектральну чутливість відповідно до фотоелектричних матеріалів, що використовуються в датчику. Піранометри, що використовують фотоелектричні датчики, майже миттєво реагують на зміну

освітленості, на відміну від їхніх аналогів з термопарою, яким потрібно від 1 секунди до 15 секунд, щоб досягти повної реакції на ступінчасту зміну освітленості. GHI також можна виміряти за допомогою фотоелектричного еталонного елемента, який має спектральну чутливість і, як правило, не демонструє справжню косинусоїдальну характеристику.

2.3 Дифузне горизонтальне опромінення

Дифузне горизонтальне опромінення (DHI) - це земне опромінення, яке отримує горизонтальна поверхня, розсіяна або розсіяна атмосферою. Це компонент глобального горизонтального опромінення, який не надходить від сонячного променя (де "промінь" - це 5° поле зору, концентричне навколо сонця). Як і глобальне горизонтальне опромінення, DHI зазвичай вимірюється за допомогою піранометра, але в цьому випадку пряме сонячне світло блокується, щоб вилучити променеву складову випромінювання. Сонце може бути заблоковане кулею або диском, який лише прибирає 5° конус навколо сонця і повинен використовувати трекер для постійного затінення лише датчика піранометра.

Піранометр також може бути затінений горизонтальною або вертикальною тіннювою смугою (перша не потребує трекера, друга вимагає горизонтального трекера); однак тіньові смуги, як правило, менш точні, оскільки вони видаляють частину розсіяного світла. Це розсіяне світло слід вимірювати і коригувати за допомогою поправочного коефіцієнта, залежного від місця та часу.

Якщо GHI неможливо виміряти безпосередньо, його можна розрахувати на основі прямого нормального опромінення (DNI) і дифузного горизонтального опромінення (DHI), використовуючи наступне рівняння:

У деяких фотоелектричних системах GHI вимірюється, а для оцінки DNI або DHI використовується модель, наприклад, DISC або DIRINT.

На спектральний склад сонячного світла впливає низка атмосферних чинників, зокрема кількість водяної пари та інших аерозолів в атмосфері. На

рисунку нижче порівнюються спектри у верхніх шарах атмосфери від теоретичного чорного тіла при температурі 5250 градусів Цельсія і для типового сонячного світла на рівні моря. Основні смуги поглинання показані для води і CO₂ (рис. 2.2).

Джерела метеорологічних даних для моделювання продуктивності. Отримання високоякісних даних про погоду та опромінення для моделювання продуктивності є одним з найважливіших кроків у моделюванні продуктивності фотоелектричних установок, оскільки невизначеність у даних про опромінення зазвичай становить значну частину загальної невизначеності.

Модель зазвичай починається з історичних даних, які були зібрані спеціально для сонячних застосувань. Однак, коли результати моделі використовуються для прийняття великих інвестиційних рішень, зазвичай використовуються додаткові дані (наприклад, супутникові дані і наземні вимірювання для конкретного місця).

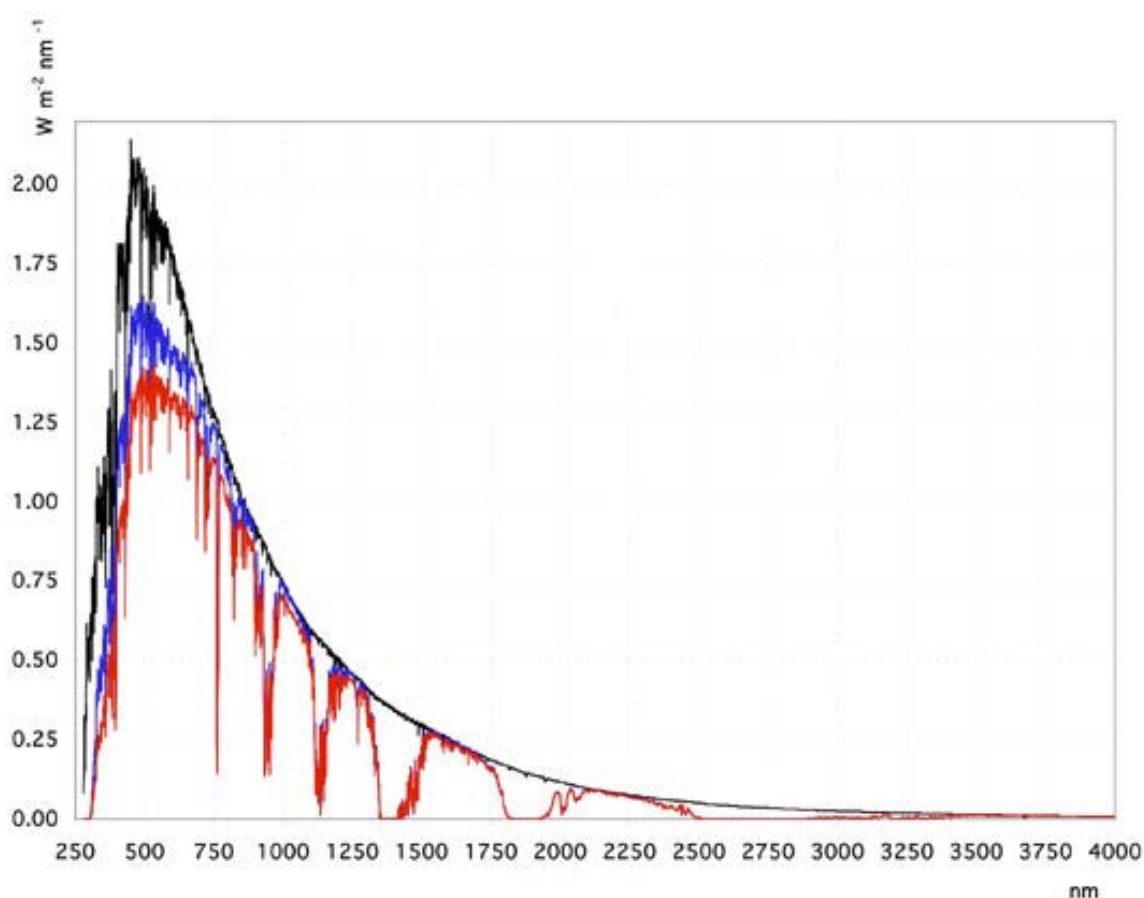


Рисунок 2.2 — Спектральний склад сонячного випромінювання

2.4 Температурні моделі сонячних панелей

Вимірювання або прогнозування температури модуля є першим кроком в оцінці температури комірки, яка необхідна для прогнозування кривої модуля.

Температура модуля залежить від ряду факторів, включаючи температуру повітря, освітленість, швидкість вітру і матеріали модуля. Більшість моделей є стаціонарними і тому підходять для часових кроків близько 30 хвилин або більше.

Температурна модель. Девід Фейман представив модель модульної температури [21], засновану на простих концепціях теплопередачі. Модель має вигляд:

$$T_m = T_a + \frac{E_{POA}}{U_0 + U_1 \times WS}$$

де T_m температура модуля ($^{\circ}\text{C}$), T_a температура навколишнього повітря ($^{\circ}\text{C}$), освітленість, що падає на площину модуля або масиву, W/m^2 постійна складова тепловіддачі, значення $\frac{W}{m^2K}$ варіювалися від 23,5 до 26,5. значення W/m^3sK варіювалися від 6,25 до 7,68.

Температура комірки Фуентеса.

Модель температури комірки Фуентеса - це першопринципова модель енергетичного балансу, яка, на відміну від більшості фотоелектричних теплових моделей, включає ефект теплового переходу. Спочатку вона була розроблена для програмного забезпечення для моделювання PVFORM, а пізніше була прийнята PVWatts.

На додаток до звичайної площини опромінення масиву, температури навколишнього середовища та швидкості вітру, модель Фуентеса включає декілька параметрів, що описують конфігурацію масиву:

- "встановлена" номінальна робоча температура комірки, яка характеризує теплові властивості фотомодуля та його монтажну конфігурацію;
- коефіцієнти випромінювання та поглинання фотомодуля;
- нахил поверхні фотомодуля, його ширина і довжина, а також висота встановлення над землею;

— висота, на якій вимірювалася швидкість вітру.

PVWatts використовує значення 45 °C для масивів з вільним потоком повітря і 49 °C для масивів з обмеженим потоком повітря, таких як дахові панелі.

Врахування в моделі теплової ємності та радіаційного охолодження відрізняє її від інших поширених моделей температури фотоелектричних елементів. Тепловий перехід призводить до того, що розрахункова температура комірки запізнюється і є менш динамічною, ніж прогнози стаціонарної моделі, особливо в наборах даних зі змінними умовами опромінення і короткими часовими кроками. Радіаційне охолодження призводить, серед іншого, до того, що розрахункова температура клітини падає нижче температури навколишнього середовища вночі.

Порівняно зі стаціонарною моделлю, перехідний процес моделі Фуентеса більш точно відтворює короткочасні ефекти, присутні у вимірних позамоделних температурних даних.

Спектральний відгук. Фотоелектричні пристрої характеризуються їхньою реакцією на світло в еталонному спектрі. Коли пристрій тестується в лабораторії або на відкритому повітрі, спектр джерела світла може відрізнятися від еталонного спектра. Вплив цієї різниці на продуктивність зазвичай кількісно вимірюється коефіцієнтом спектральної невідповідності.

Якщо форма I-V кривої не чутлива до спектру джерела світла, а тільки до струму короткого замикання і температури елемента, то можна оцінити коефіцієнт спектральної неузгодженості, використовуючи ІЕС 60904-7: "Обчислення поправки на спектральну неузгодженість для вимірювань фотоелектричних пристроїв".

Спектральна характеристика (СХ) фотоелектричного пристрою - це частка доступного опромінення, яка перетворюється в струм. Спектральний відгук (одиниці А/Вт) є функцією довжини хвилі і пов'язаний з квантовою ефективністю (ККД) [без одиниць] наступним чином:

$$SR_{\lambda} = QE_{\lambda} \times \lambda \frac{e}{hc}$$

де λ довжина хвилі світла, e заряд електрона (кулон), $1.60217656 \times 10^{-19}$ постійна Планка (Дж*с), і c швидкість світла (2.99792458×10^8 м/с).

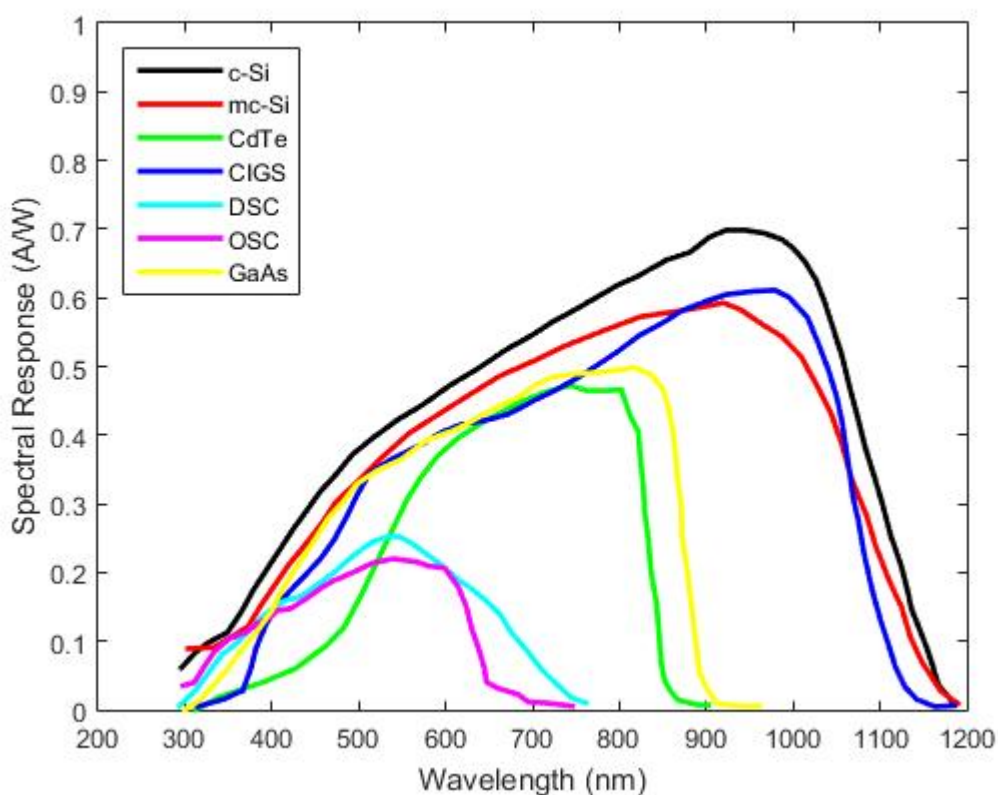


Рисунок 2.3 — Типові спектральні характеристики різних технологій фотоелектричних елементів

2.5 Моделі еквівалентних схем з одним діодом

Моделі еквівалентної схеми визначають всю вольтамперну характеристику елемента, модуля або масиву як безперервну функцію для заданого набору робочих умов. Однією з основних моделей еквівалентної схеми, що широко використовується, є модель з одним діодом, яка виводиться з фізичних принципів, наприклад [22], і представлена наступною схемою для одного сонячного елемента (рис. 2.4).

Керуюче рівняння для цієї еквівалентної схеми формулюється з використанням закону Кірхгофа для струму

$$I = I_L - I_D - I_{sh},$$

$$\text{де } I_D = I_0 \left[\exp\left(\frac{V + IR_s}{nV_T}\right) - 1 \right].$$

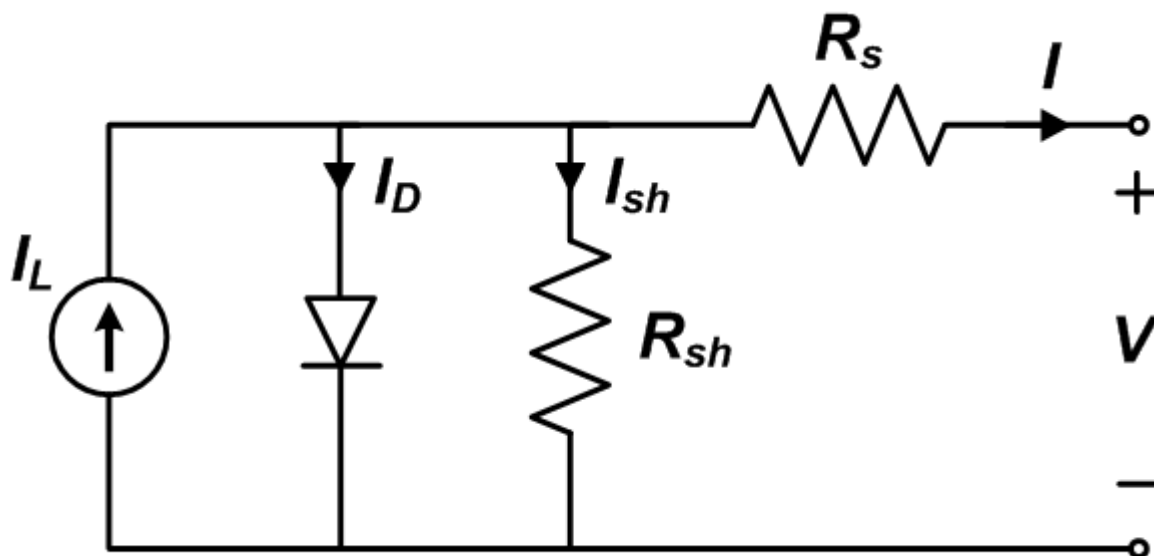


Рисунок 2.4 — Зображення одиночного діода-ЕС2

Нижче описані моделі еквівалентних схемних модулів. Ці моделі були запропоновані з різними наборами допоміжних рівнянь, які описують, як первинні параметри рівняння одиночного діода змінюються з температурою і освітленістю комірки. Модульні моделі, або моделі з параметрами, застосовними до модуля, розглядаються тут замість моделей з параметрами, застосовними до модуля розглядаються тут замість моделей комірок або масивів, оскільки модульні моделі є основними моделями продуктивності, що використовуються для моделювання масивів у програмних пакетах для моделювання фотоелектричних систем.

Модель PVWatts надається Національною лабораторією відновлюваної енергетики (NREL) як онлайн-додаток для моделювання продуктивності фотоелектричних систем. Рівняння, які лежать в основі PVWatts, насправді досить прості. Є дві основні вхідні змінні:

Ефективне опромінення (E_e), Температура фотоелемента (T_c).

$$P_{mp} = \frac{E_e}{E_0} P_{mp0} [1 + \gamma(T_c - T_0)]$$

Для опромінення POA $\leq 125 \text{ Вт/}$

$$P_{mp} = \frac{0.008(E_e)^2}{E_0} P_{mp0} [1 + \gamma(T_c - T_0)]$$

Ця модифікована потужність при низькому опроміненні була виявлена дослідниками з Сандійської національної лабораторії і введена в ранню модель під назвою PVFORM. Вона призначена для модулів x-Si і не рекомендується для тонкоплівкових технологій.

Визначення постійного струму

Втрати в проводці постійного струму і неузгодженість впливають на те, як криві модулів I-V об'єднуються в масив. Послідовні ланцюги модулів повинні пропускати однаковий струм, а паралельні ланцюги повинні працювати при однаковій напрузі. Цей факт означає, що будь-яке комбіноване значення струму і напруги може не дорівнювати точці максимальної потужності для всіх модулів в масиві.

Коли є невідповідність, чи то через невід'ємні відмінності в продуктивності між модулями, чи то через неоднорідне освітлення або температуру масиву, чи навіть через диференціальні втрати в проводці по всьому масиву, ідеальна продуктивність ніколи не буде повністю досягнута. Цей крок має на меті розрахувати величину цих втрат.

Кожен фотоелектричний пристрій (наприклад, комірка, модуль, стрічка), що працює, має точку максимальної потужності (I_{mp}) для навколишніх умов експлуатації, падаючого опромінення і температури пристрою. Навіть при однаковому освітленні і температурі, здавалося б, ідентичні пристрої не матимуть однакової точки максимальної потужності через невеликі виробничі відмінності. Однак, при послідовному і паралельному з'єднанні фотоелектричних модулів у масив постійного струму, послідовні ланцюги повинні пропускати однаковий струм, а паралельні ланцюги повинні працювати при однаковій напрузі, вимірній в точці спільного з'єднання. Цей факт означає, що окремі пристрої зміщуються від точки максимальної потужності до компромісного значення, яке дає максимальну потужність від пристроїв, об'єднаних в масив постійного струму.

Загальний вплив втрат від неузгодженості можна розрахувати наступним чином:

$$MismatchLoss = 1 - \frac{DCArrayOutput}{\sum ModuleMPP - \sum DCWiringLosses}$$

Однак неузгодженість через неоднорідне випромінювання (затінення) часто моделюється окремо від неузгодженості через варіації продуктивності або температури модулів.

2.6 Моделі компонентів постійного струму

Компоненти постійного струму в фотоелектричній системі включають модулі, роз'єми, запобіжники, кабелі, роз'єднувачі, розподільні коробки тощо. Відмови та/або деградація цих компонентів можуть призвести до зниження продуктивності. Залежно від типу і місця відмови або деградації, наслідки будуть відрізнятися складними способами. Прикладом простої несправності компонента є перегорання запобіжника, обрив дроту або роз'єм, який вийшов з ладу, що призвело до обриву ланцюга. Несправності в модулях є дещо складнішими. У випадку модуля з трьома шунтуючими діодами, обрив ланцюга в комірці або коротке замикання шунтуючого діода призведе до зниження вихідної потужності модуля на третину.

Втрати в проводці постійного струму

Втрати в проводці постійного струму в основному спричинені омичним опором кабелю, який з'єднує фотоелектричні пристрої та струни, хоча втрати також можуть виникати в з'єднаннях та запобіжниках. Втрати $I^2 \times R$.

Втрати потужності залежать від квадрату струму масиву. Різниця в довжині або розмірі кабелю між паралельними лініями може спричинити різницю в падінні напруги, $I \times R$, отже, сприяти розузгодженню. Послідовні захисні діоди є ще одним джерелом падіння напруги.

Вихід системи змінного струму. Втрати енергії на стороні змінного струму інвертора можуть бути значними, коли змінний струм підвищується до рівня

напруги розподільчої або передавальної мережі і передається на будь-яку відстань до лічильника електроенергії. Вартість енергії, виробленої електростанцією, повинна включати всі втрати до лічильника електроенергії. Для побутової системи цими втратами, ймовірно, можна знехтувати, але для багатьох установок комунального масштабу ці втрати можуть бути значними і повинні бути включені в модель продуктивності.

Показники ефективності фотоелектричних установок. Показники ефективності фотоелектричних установок - це величини, які використовуються для оцінки та порівняння продуктивності між системами, а також між різними об'єктами та кліматичними умовами. Звіт 2014 року, підготовлений SunSpec Alliance та Університетом Сан-Хосе під назвою "Оцінка ефективності фотоелектричних систем", надає гарний технічний огляд набору показників ефективності фотоелектричних систем, які використовуються сьогодні.

Індекс ефективності. Індекс продуктивності - це відношення виміряної енергії від фотоелектричної системи до прогнозованої енергії за допомогою моделі продуктивності фотоелектричної системи. На відміну від коефіцієнта корисної дії, індекс ефективності дуже близький до 1 для добре функціонуючої фотоелектричної системи і не повинен змінюватися в залежності від сезону через коливання температури.

Коефіцієнт продуктивності. Добовий коефіцієнт продуктивності кондиціонера (PR_{AC}) визначається в наступним чином:

$$PR_{AC} = \frac{Y_{fAC}}{Y_r},$$

де Y_{fAC} - це добова продуктивність системи змінного струму, яка визначається як виміряна енергія змінного струму, вироблена фотоелектричною системою за день (кіловат-годин на день), поділена на номінальну потужність фотоелектричної системи. Визначення цієї номінальної потужності не вказано в ІЕС 61724, але тут вона визначається як номінальна потужність постійного струму за умов STC (1000 Вт/м², температура елемента 25 °С, спектр AM1,5). Це

інсоляція площини решітки ($\frac{kWh}{m^2}$), поділена на еталонну освітленість (1000 Вт м⁻²) в одиницях часу.

Коефіцієнт PR_{AC} – можна також оцінювати на інших часових інтервалах (наприклад, погодинно, щомісячно тощо). Одним з недоліків цієї метрики є те, що вона чутлива до коливань температури і, будучи побудованою за цілий рік, зазвичай демонструє нижчі значення в теплу пору року і вищі значення в холодну пору року.

Індекс енергетичної ефективності (EPI) - ця форма використовує кількість енергії (кВт-год) у кожному з розглянутих часових інтервалів.

Індекс ефективності потужності (PPI) - для оцінки використовуються миттєві вимірювання та прогнози потужності (кВт), які подаються у вигляді часового ряду.

2.7 Процес перетворення сонячного світла

Фотоелектричний метод отримання електроенергії є повністю статичним. Фізичні процеси фотоэффекту: вільні носії електричного заряду утворюються в результаті взаємодії напівпровідника зі світлом та всередині матеріалу виникає електричне поле. Види фотоэффекту: зовнішній - електрони вириваються із поверхні тіл під дією світла; внутрішній - відбувається зміна електропровідності напівпровідників та діелектриків під дією світла; на р-п переході - електрорушійна сила виникає на межі провідника та світлочутливого напівпровідника.

Під впливом отриманого електростатичного притягання вільні основні носії зарядів обох знаків дифундують через кордон контакту областей 2-3 та утворюють біля неї р-п гетероперехід з напруженістю електричного поля E_k з контактною різницею потенціалів: $U_k = SE_k$. Напруженість наведеного електричного поля E_k перешкоджає дифузії електронів за межі прикордонного шару шириною S . Відповідно, контактна різниця потенціалів U_k може бути найдена за формулою:

$$U_k = \frac{kT}{e^o} \ln\left(\frac{P_p}{P_n}\right) = \frac{kT}{e^o} \ln\left(\frac{n_n}{n_p}\right), \quad (2.1)$$

де k – постійна Больцмана, $k = 1,380\,622 \pm 0,000\,044) \cdot 10^{-23}$ Дж /К;

e^o – заряд електрона, $e^o = 1,602\,189\,2 \cdot 10^{-19}$ Кулонів;

P_p і P_n – концентрація дірок і електронів в р- і n- областях.

При цьому n-область набуває негативного, а р-область позитивного заряду. Це еквівалентно прикладенню до р-n переходу зовнішнього електричного поля з напруженістю $E_{вн}$, зустрічного з E_k . Поле напруженістю $E_{вн}$ є запираючим для неосновних і рушійним для основних носіїв зарядів.

Якщо енергія фотонів на фотоелементі більша чим E_p , то електрон кристалу покидає свій рівень і залишає «дірку» в кристалі. Пари електрон-дірка поділяються, р-n перехід і е.р.с. U_0 збільшується. Енергія фотона E_ϕ знаходиться за формулою:

$$E_\phi = hg, \quad (2.2)$$

де g – частота хвилі опромінення;

h – постійна Планка, $h = 6,626\,176 \pm 0,000\,044) \cdot 10^{-34}$ Дж/с.

Якщо енергія фотонів менша за E_p , то наявність опромінення призводить тільки до нагрівання матеріалу фотоелемента. Крім того, для кожного напівпровідника існує гранична енергія фотонів, коли подальше збільшення E_ϕ не спричиняє зростання віддачі фотоелемента. У цьому випадку надмірна енергія фотонів, яка перевищує смугу поглинання, також визиває лише нагрівання фотоелемента.

Вихідна потужність модуля фотоелектричного перетворювача пропорційна інтенсивності оптичної потужності Сонця $I_{opt} = P_{opt}/S$, Вт/м², значенню

коефіцієнта корисної дії перетворення η , коефіцієнта поглинання k , ефективній площі S_{ef} , а також косинусу кута падіння α , тобто:

$$P_{FEP} = I_{FEP} U_{FEP} = \eta K_t k I_{opt} S_{ef} \cos \alpha, \quad (2.3)$$

де I_{FEP} , U_{FEP} – робочі струм та напруга фотоелектричного модуля;

η – коефіцієнт корисної дії перетворення;

I_{opt} – інтенсивність оптичного випромінювання;

k – коефіцієнт поглинання, $k = 0,8-0,98$;

S_{ef} – ефективна площа поверхні модуля;

α – кут падіння світлових променів, $0-90^\circ$;

K_t – температурний коефіцієнт, $K_t = 0,5-0,7$.

Для більш ефективного перетворення сонячної енергії, випромінювання має падати на активну поверхню під кутом α , який повинен максимально наближатися до 90° - це відповідає умові максимального перетворення при $\cos 90^\circ = 1$. Тоді, формула (2.3) набуде вигляду:

$$P_{FEP} = \eta K_t k I_{opt} S_{ef}. \quad (2.4)$$

Переважає більшість сонячних станцій будується на нерухомих конструкціях та з орієнтацією на Південь. Такий монтаж сонячних станцій є найбільш надійним, продуктивним та має мінімальну вартість. Але при цьому, ефективність та ККД у таких ФЕП, помітно змінюється протягом доби і може зменшуватись на 30–40 % від max значення, на відміну від трекерних (стежачих за Сонцем) сонячних систем. Пристрій, що відслідковує переміщення Сонця на небосхилі та повертає фотоелектричну панель на потрібний кут вслід за його рухом називається сонячним трекером. Сонячна панель є джерелом живлення для роботи трекера, тому він є повністю автономним у роботі. Шляхом повороту та радіального переміщення ФЕП забезпечують умову $\alpha = 90^\circ$, оскільки за

відмінного від 90° кута падіння косинус кута у формулі (2.3) змінюється від 0,3 до 1 та викликає відповідне зменшення ефективної вихідної потужності $P_{\text{ФЕР}}$.

Ефективність перетворення сонячної енергії в значній мірі зменшується через відносно велике значення відбивання від поверхні ФЕП. Кількість поглиненого випромінювання буде визначатись різницею між падаючим і кількістю пропущеного і відбитого за формулою:

$$k_{\text{pogl}} P_{\text{pogl}} = P_{\text{opt}} - k_{\text{vidb}} P_{\text{opt}} - k_{\text{prop}} P_{\text{opt}}, \quad (2.5)$$

де k_{pogl} , k_{vidb} , k_{prop} – коефіцієнти поглинання, пропускання та відбивання.

Відомою умовою з теорії взаємодії оптичного випромінювання з речовиною є

$$k_{\text{pogl}} + k_{\text{vidb}} + k_{\text{prop}} = 1. \quad (2.6)$$

Найбільше значення коефіцієнта поглинання для ФЕП визначає умову його максимальної ефективності, що відповідає більш «чорним» за темним кольором матеріалом активної поверхні ФЕП.

Зниження ефективності сонячних панелей зі зростанням температури виникають через конструктивні особливості фотоелектричних перетворювачів, тому сучасні методики визначення робочих параметрів ФЕП враховують температурний коефіцієнт K_t , який варіює залежно від сезону: зимою - до 0,7, літом - до 0,5.

В енергетичних сонячних модулях фотоелектричні перетворювачі повинні відповідати високому ККД перетворення оптичного випромінювання в електроенергію у діапазоні світлового спектра 0,3–10 мкм.

Ефективність перетворення світлової енергії в електричну (ККД ФЕП) емпірично визначається за формулою:

$$\eta = \frac{P_{\text{елект}}}{P_{\text{оптик}}} \cdot \gamma \cdot 100 \% \approx \frac{I_r U_r}{\Phi \cdot S \cdot \sin \varphi} \cdot \gamma \cdot 100 \%, \quad (2.7)$$

де I_r , U_r – робочі електричні струм та напруга;

Φ – світловий потік;

S – площа активної поверхні;

φ – кут падіння променів;

γ – коефіцієнт квантової ефективності та провідності;

P_{elect} , P_{optic} – електрична та оптична потужності.

ККД фотоелемента збільшується зі зростанням світлового потоку Φ та фото-електрорушійної сили U_r . Однак, за великих значень світлового потоку Φ зі зростанням концентрації вільних носіїв зростає кількість їхніх комбінацій (злиття пар електрон-дірка у структурі напівпровідника). Крім того, причиною зниження ККД є те, що у результаті збільшення температури сонячного модуля при великих Φ збільшується струм I .

З іншого боку, значне підвищення КДК (до 15 %) ФЕП можна реалізувати шляхом створення фотоелектричних перетворювачів із двосторонньою чутливістю (два активних шари з різних боків пластини) або шляхом застосування люмінесцентно перевипромінювальних структур у поєднанні з попереднім розкладанням світлового спектра на дві або більше спектральних областей за допомогою багат шарових плівкових світлоподільників на дифракційних ґратках з наступним перетворенням кожної ділянки спектра окремим ФЕП [17, 28-29].

Більшість сучасних енергоефективних фотоелементів враховують перспективні технології фотоелектричних перетворювачів та сонячних батарей. Крім того, виробляються на основі напівпровідникових матеріалів – кремнію та арсеніду галія. Сонячні панелі на кремнієвих елементах є зразком з ККД=20%. Вплив ККД на ефективність сонячної панелі очевидний - чим більше сонячної енергії може перетворити модуль, тим вище потужність на виході.

Формули енергетичної ефективності фотоелектричних перетворювачів, що наведені у даному розділі будуть використані у розділі 3 при комп'ютерному моделюванні автономної сонячної електростанції житлового будинку.

РОЗДІЛ 3. КОМП'ЮТЕРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ЗАСОБІВ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ЕНЕРГОСПОЖИВАННЯ РОЗУМНИХ БУДИНКІВ

3.1 Визначення параметрів енергозабезпечення «розумних будинків»

Існує експоненціальне зростання встановлення сонячних установок за останні роки. Однак, як і вітрова, сонячна фотоелектрична генерація має переривчастий характер, її високе проникнення суттєво впливає на роботу електроенергетичної системи [22]. Тому уряди багатьох країн також почали приділяти увагу системам зберігання енергії. З усього спектру доступних систем зберігання енергії акумулятори стають найдоступнішими за ціною. За останнє десятиліття їхня ціна впала на 88% (рис. 3.1).



Рисунок 3.1— Середньозважена ціна літій-іонного акумулятора

Рис. 3.1 демонструє постійне зниження ціни батареї за кВт-год з плином часу, причому прогнозується, що до 2028 року вона досягне значення нижче 100 доларів США (82 євро).

Поєднання зниження ціни як на фотоелектричні модулі, так і на акумуляторні батареї стає все більш привабливим як для комунальних, так і для

домашніх користувачів. За оцінками, до 2026 року ринок розподілених сонячних фотоелектричних модулів та акумуляторних батарей перевищить 49 мільярдів доларів США (приблизно 40,36 мільярда євро) і досягне 27,4 ГВт в обороті [12].

Щоб узагальнити специфічні характеристики кожного типу фотоелектричних сонячних панелей в залежності від їх виробництва, була побудована наступна таблиця, яка містить інформацію про переваги та недоліки кожного типу в порівнянні з іншими.

У проєктованій системі ефективність сонячної панелі є важливою, але не вирішальною, інші характеристики, такі як ціна та мала вага (див. табл.3.1), є більш актуальними, оскільки її буде легше транспортувати і її можна буде переміщати для проведення різних аналізів. З цієї причини панель, яка буде включена в обладнання для проєкту, за допомогою якої будуть відбиратися зразки і використовуватися в аналізі, буде тонкоплівкового типу.

Таблиця 3.1 — Порівняння різних типів сонячних панелей.

Тип сонячної панелі	Монокристалічний	Полікристалічний	Тонкоплівковий
Переваги	Висока ефективність (15-20%) Витончена естетика Займають менше місця.	Низька вартість, швидке виробництво	Дуже дешеві, естетичні
Недоліки	Висока вартість високі відходи кремнію	Низький коефіцієнт корисної дії (13-17%)	Дуже низька ефективність (7-13%) Швидка деградація
Характеристики	Отримано з чистого кремнію	Менша кількість фаз кристалізації та синювата поверхня	Легкі і гнучкі

роботи батареї полягає в окисно-відновних реакціях певних хімічних речовин, при цьому одна з них втрачає електрони (окислюється), а інша набуває електронів

(відновлюється). Отже, реакції, пов'язані з перенесенням електронів []. Процеси окислення-відновлення відбуваються одночасно, а це означає, що для того, щоб один хімічний вид втрачав електрони, інший вид повинен бути присутнім, щоб прийняти їх []. Батареї містять хімічні елементи, які мають позитивний полюс (катод) і негативний полюс (анод), а також електроліти, які забезпечують і полегшують проходження електричного струму. Анод і катод ніколи не контактують один з одним; вони з'єднані через електроліт []. Ці елементи перетворюють хімічну енергію в електричну за допомогою оборотного або незворотного процесу, залежно від типу батареї. Таким чином, розрізняють два типи елементів: первинні та вторинні.

Літій-іонний елемент. Літій-іонні акумулятори (ЛІБ) (Рис. 3.2) є одним з найпопулярніших типів акумуляторів, що перезаряджаються і широко використовуються в багатьох портативних електронних пристроях, таких як мобільні телефони, ноутбуки та цифрові камери. Вони також використовуються в електромобілях і стають дедалі популярнішими у військовій та аерокосмічній галузі [22]. Літій-іонні батареї використовують літієву сполуку, інтеркальовану як катодний матеріал, і, як правило, графіт як анодний матеріал (Рис. 14). В експериментальних дослідженнях також використовували літієвий оксид металу, такий як LiCoO_2 , $\text{NiNi}_{0.3}\text{Co}_{0.7}\text{O}_2$, LiNiO_2 , LiV_2O_5 , $\text{LiV}_6\text{O}_{13}$, LiMn_4O_9 , LiMn_2O_4 , $\text{LiNiO}_{0.2}\text{CoO}_2$ [12]. Літій-іонні акумулятори називають за назвами їхніх активних матеріалів; слова пишуть повністю або скорочено за їхніми хімічними символами [14].

Сьогодні акумулятори, що використовуються в побуті, містять мікропористі поліетиленові мембрани. Вони необхідні для відокремлення електронів від іонів. Як правило, в якості електроліту використовується LiPF_6 , але він має проблеми з корозією алюмінію, і тому зараз досліджується кілька альтернативних варіантів. Однією з них є LiBF_4 [12].

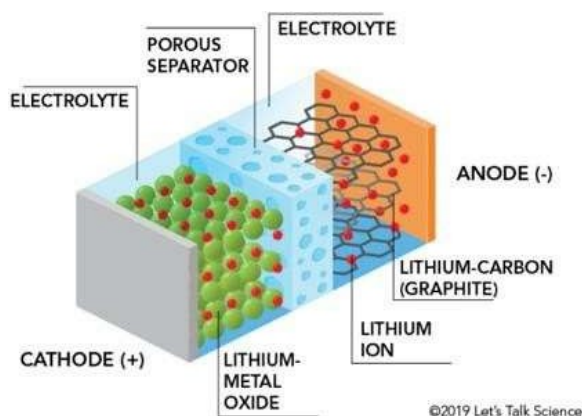
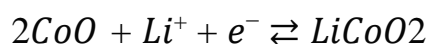
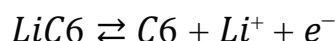


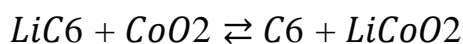
Рисунок 3.2 — Частини літій-іонного акумулятора

Хімічний склад, продуктивність, вартість і властивості безпеки відрізняються для кожного типу літій-іонного акумулятора. У портативних електронних пристроях переважно використовуються літій-полімерні акумулятори (з полімерним гелем як електролітом), літій-кобальт-оксидним матеріалом (LiCoO_2) і графітовим анодом, що разом забезпечує високу щільність енергії [12]. Реакції літій-кобальт-оксидного акумулятора (LiCoO_2) будуть пояснені в різних частинах батареї.

Наступна напівреакція відбувається на аноді:



У цій реакції відновлення оксид кобальту з'єднується з іонами літію, утворюючи літій-кобальтовий оксид (LiCoO_2).



Напруга батареї становить близько 3,7 В [12]. Цей тип акумуляторів має величезну щільність енергії, на додаток до своєї легкості, невеликого розміру і хорошої продуктивності, але вони починають виходити з ладу через два-три роки [14]. Після цього їх слід замінити, а виробництво та утилізація літій-іонних батарей мають великий вплив на навколишнє середовище, тобто чим довше ці батареї служать, тим краще. Ще однією перевагою є їхній низький ефект пам'яті [21].

Недоліком цих батарей є їхня висока капітальна вартість, а також те, що літій надзвичайно хімічно активний, тому виробники повинні вживати спеціальних заходів безпеки, щоб гарантувати безпеку експлуатації батарей. Люди, можливо, чули про електронні пристрої, такі як ноутбуки або мобільні телефони, які спалахували через акумулятори. Для забезпечення безпеки літій-іонні акумулятори містять сепаратор, який утримує електроди елементів батареї від контакту один з одним. Однак електроди можуть контактувати один з одним, якщо цей сепаратор зламаний або пошкоджений. Це може призвести до значного накопичення тепла і, в разі виникнення іскри, може статися займання легкозаймистого електроліту [12]. Виробники постійно вдосконалюють літій-іонні акумулятори, нові та вдосконалені хімічні комбінації з'являються приблизно кожні півроку [13]. Підготовлено підсумкову таблицю з хімічними сполуками та їхніми відповідними формулами, що містяться в кожній частині акумулятора.

Таблиця 5. Зведена таблиця літій-іонних акумуляторів

Частина акумулятора	З'єднання	Формула
Анод	Вуглецева сполука, графіт	C
Катод	Оксид літію	Li ₂ O
Електроліт	Полімерний гель/літієва сіль в органічному розчиннику	

На рисунку 3.3 показано збірку системи в цілому з додатковими змінами для забезпечення електробезпеки. Слід зазначити, що це не стандартна схема, а лише орієнтовна схема для розуміння з'єднань і з'ясування конструкції схеми.

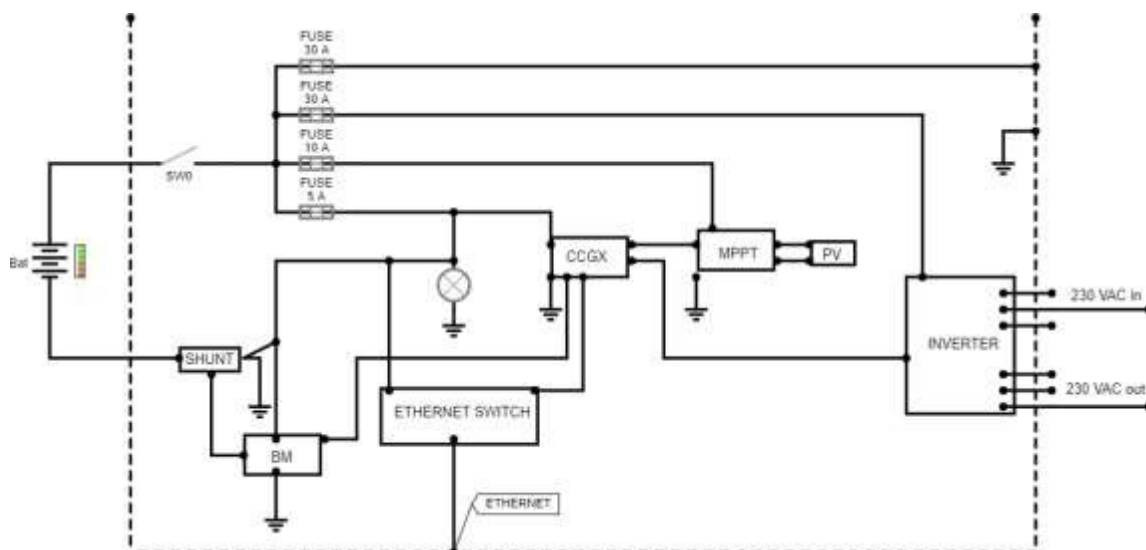


Рисунок 3.3 Електрична схема збірки системи

Як видно на рис. 3.3, до схеми було додано чотири запобіжники, щоб запобігти пошкодженню обладнання через несподіване перевантаження або непередбачуваний стрибок напруги. Також можна оцінити, як кожна з описаних вище частин з'єднана між собою і як все обладнання буде взаємодіяти через Ethernet, звідки будуть братися дані для аналізу для перевірки правильності роботи підлеглого пристрою.

3.2 Огляд програмного забезпечення для моделювання розумних будинків та сонячних панелей

У цьому дослідженні LabVIEW 2011 та Arduino слугували середовищем моделювання та власне контролером. З розвитком технологій стрімко розвивається сфера вимірювань для проведення вимірювань. З розвитком технологій швидко розвивається сфера вимірювань. Вона пройшла шлях від найперших аналогових вимірювачів, заснованих на електромагнітній індукції, до інтелектуальних вимірювальних приладів на базі мікропроцесорів. Однак з

появою віртуальних приладів розвиток вимірювальної техніки вступив у нову еру. Програмне забезпечення LabVIEW ідеально підходить для будь-якої вимірювальної або керуючої системи. Інтегруючи всі інструменти, необхідні інженерам і вченим для створення широкого спектру додатків за значно менший час, LabVIEW є середовищем розробки для вирішення проблем, прискорення продуктивності та постійних інновацій (Одна платформа, нескінченні можливості).

Ядром LabVIEW є поєднання традиційних вимірювальних приладів і комп'ютерного програмного забезпечення для здійснення вимірювань. Для систем керування, побудованих за допомогою LabVIEW, периферійне обладнання лише забезпечує канали для передачі даних, а системне програмне забезпечення є ядром для систем керування. Для клієнтів функції LabVIEW можуть бути змінені за допомогою блок-схем, що дозволяє клієнтам створювати власну віртуальну приладову платформу з власними ідеями.

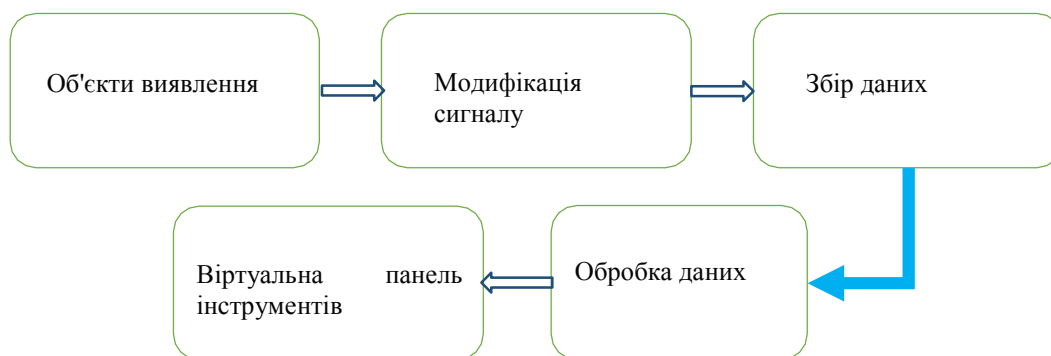


Рисунок 3.4 — Схема віртуальних інструментальних систем

На рис. 3.4 показано структуру віртуальної приладової системи. Основна функціональність включає виявлення сигналів, що проходять через інтерфейсні пристрої вводу/виводу, модифікацію сигнальних ланцюгів, фільтрацію, цифро-аналогову обробку, налаштування збору даних, збір даних. Після передачі даних на комп'ютер через шину, запису даних на диск, відображення даних, комп'ютер завершує збір та відображення даних, тестування та аналіз. Крім того, у

порівнянні з мікропроцесором для обробки даних, віртуальні прилади здійснюють обробку даних за допомогою комп'ютера. Таким чином, обробка даних віртуальними приладами відбувається швидше, ніж мікропроцесорними.

Зараз, з появою та розвитком сонячних технологій, завдяки віртуальному інструменту з перевагою сильної взаємозамінності та низької вартості, віртуальні інструменти поступово застосовуються до системи відстеження сонячної енергії.

Для розумних будинків можна застосувати Arduino - це електронна платформа з відкритим вихідним кодом, заснована на простому у використанні апаратному та програмному забезпеченні. Вона призначена для всіх, хто створює інтерактивні проекти. Arduino Uno - це плата мікроконтролера на базі ATmega328. Вона має 14 цифрових входів/виходів (з яких 6 можна використовувати як ШІМ-виходи), 6 аналогових входів, керамічний резонатор на 16 МГц, USB-роз'єм, роз'єм живлення, заголовок ICSP і кнопку скидання. Він містить все необхідне для підтримки мікроконтролера; просто підключіть його до комп'ютера за допомогою USB-кабелю або увімкніть живлення за допомогою адаптера змінного/постійного струму або акумулятора, щоб почати роботу.

Як недорогий контролер руху, Arduino має безліч функцій, зокрема: використання Arduino спрощує розробку апаратного та програмного забезпечення, необхідного для запуску системи.

Апаратна платформа Arduino вже має схему налаштування живлення та скидання, а також схему для програмування та зв'язку з мікроконтролером через USB. Крім того, контакти вводу/виводу мікроконтролера, як правило, вже виведені на роз'єми/головки для легкого доступу.

Що стосується програмного забезпечення, Arduino надає ряд бібліотек для полегшення програмування мікроконтролера. Найпростіші з них - це функції для керування та зчитування виводів вводу/виводу, замість того, щоб возитися з масками шин/бітів, які зазвичай використовуються для інтерфейсу з вводом/виводом ATmega. Більш корисними є такі речі, як можливість встановити виводи вводу/виводу на ШІМ з певним робочим циклом за допомогою однієї команди або виконати послідовний зв'язок.

Найзручнішою перевагою є те, що Arduino має вже налаштовану апаратну платформу; вона дозволяє програмувати і здійснювати послідовний зв'язок через USB.

3.3 Моделювання сонячної системи в середовищі LabVIEW

LabVIEW - це платне програмне забезпечення, доступне за ліцензією <https://www.ni.com/>, яке дозволяє моделювати більш-менш складні схеми, в тому числі й ті, що пов'язані з передачею інформації. Його також називають віртуальним інструментом, оскільки його зовнішній вигляд і робота часто імітують фізичні прилади, такі як осцилографи і мультиметри. LabVIEW містить великий набір інструментів для аналізу, візуалізації, зберігання та збору даних. Він також корисний для програмістів, оскільки містить інструменти, які допоможуть у налагодженні програми та моделюванні самої програми.

LabVIEW в першу чергу використовується дослідниками, інженерами, науковцями та іншими. Серед компаній, які входять до списку клієнтів LabVIEW, є John Deere, General Dynamics, Ball Aerospace, Eaton та інші. Сьогодні його використовують переважно середні компанії, займаються малими та великими організаціями, а його частка на ринку становить приблизно 4,2% [21].

Програма розділена на два вікна. Ліве - це передня панель, яка намагається імітувати реальні інструменти з реальними входами, виходами, індикаторами, приладами тощо. А праве - це блок-схема, яка містить всю внутрішню інформацію, програму, конфігурацію та операції, задіяні в системі.

Програмування в LabVIEW базується на блок-схемі, а це означає, що в ній є певні блоки, визначені в палітрі інструментів (Рис. 28), і що за допомогою їх комбінації можна розробляти потрібні програми. Палітра інструментів досить інтуїтивно зрозуміла і має багато різних елементів, розділених на певні категорії для того, щоб їх було легше і швидше знаходити. Деякі з пунктів це клеми, індикатори, контролери, блок-схеми, елементи булевої логіки, константи, вузли..

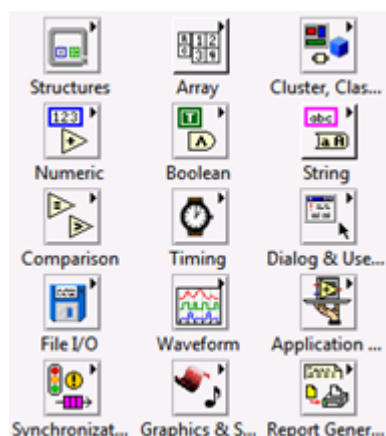


Рисунок 3.5 — Палітра інструментів LabVIEW

Знаючи елементи і функції, які має програма, можна зрозуміти масштаб і нескінченність речей, які можна зробити з її допомогою, від простих електронних схем до складних мереж інформаційних потоків.

Вартість програми на даний момент (11.05.2023) відрізняється в залежності від причини її використання, найпростіший і студентський пакет, який бере участь у проекті, коштує 420 €/рік, але найскладніший пакет, який, ймовірно, використовується в багатьох компаніях, коштує 5690 €/рік. Можна завантажити безкоштовну пробну версію.

3.3 Відбір даних в LabVIEW

Була розроблена програма LabVIEW для збору даних з чотирьох різних наявних пристроїв - системи, сонячного зарядного пристрою та акумулятора. Було проведено попереднє дослідження для вибору даних з файлу Excel, оскільки він містив понад 180 значень, які могли бути зібрані системою.

Після того, як зроблено вибір інформації, яку потрібно отримати з системи, з її регістрами і тим, до якого UnitID вони належать, наступним кроком є розробка в LabVIEW блок-схеми, яка дозволяє зчитувати цю інформацію через Modbus-з'єднання з системою. Іншими словами у LabVIEW збирається дані, щоб отриману інформацію можна було опрацювати пізніше. На рис. 3.6 показано компоненти базової блок-схеми, з якої буде отримано інформацію про систему.

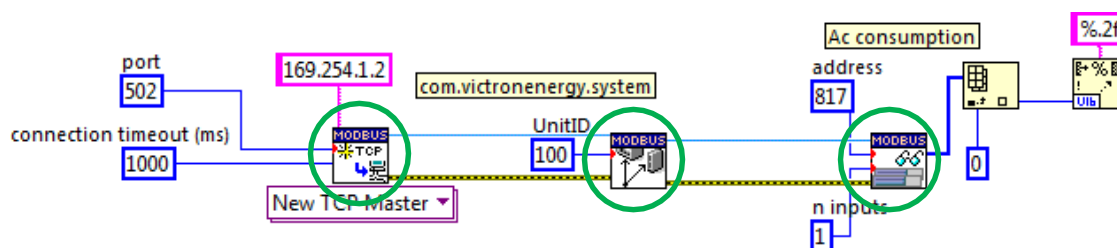


Рисунок 3.6 — Блок-схема збору даних Modbus TCP

Схема може здатися складною на перший погляд, але кожен блок буде детально пояснено, що він робить, щоб зрозуміти, як він працює в групі. На схемі є три основні блоки, обведені зеленим кольором.

Перший блок називається "Створити екземпляр Modbus", який дозволяє нам створити екземпляр як головний, що дозволить нам отримати доступ до системи через TCP Modbus з'єднання. Цьому блоку потрібна IP-адреса, з якою він повинен зв'язуватися, в даному випадку 169.254.1.2, яка відповідає головному блоку системи, наданому Victron Energy. Блок також потребує інформації про порт, до якого він підключений, який завжди дорівнює 502, і таймаут з'єднання, який у випадку з цим головним блоком становить одну секунду. Це означає, що система оновлює інформацію щосекунди, тому неможливо буде проводити аналізи, де необхідно отримати дані з часовим інтервалом, меншим за цей.

Середній блок відповідає за визначення того, до якого UnitID потрібно звернутися, щоб отримати інформацію з його реєстрів. У нашій системі є лише 4 блоки, але якщо використовувати більше сонячних панелей, акумуляторів або іншого обладнання, ця кількість збільшиться. Реєстри для зчитування знаходяться в блоках 100 (система), 245 (батарея), 246 (автобус), 247 (сонячний зарядний пристрій).

Третій блок "Read Input Registers" - це блок, який отримує доступ до інформації в реєстрі, який йому призначено, на зображенні це 817. Цей блок також має можливість читання декількох реєстрів поспіль без необхідності використання інших блоків, але через номери реєстрів, які потрібно прочитати,

вона не буде використана. Цей блок звертається до встановленого регістру і повертає інформацію, що міститься в цьому регістрі, у форматі масиву, наступні блоки лише змінюють формат, в якому записана інформація, щоб можна було записати її в електронну таблицю.

Три основні блоки з'єднані між собою двома з'єднаннями, як показано на рисунку 31: верхнє - головний екземпляр TCP, який ділиться інформацією, що була введена в кожен з блоків (IP-адреса, порт, таймаут з'єднання, UnitID тощо), а нижнє - сигнал помилки. Його функція полягає в тому, щоб активувати наступний блок, коли він отримує імпульс від попереднього блоку. Описані блоки належать до зовнішньої бібліотеки LabVIEW: LabVIEW Modbus API.

Блок-схема збору даних Modbus TCP буде повторюватися для кожного з даних, що збираються в один і той же момент часу, невелике резюме зовнішнього вигляду цієї частини програми можна побачити на рис. 3.7.

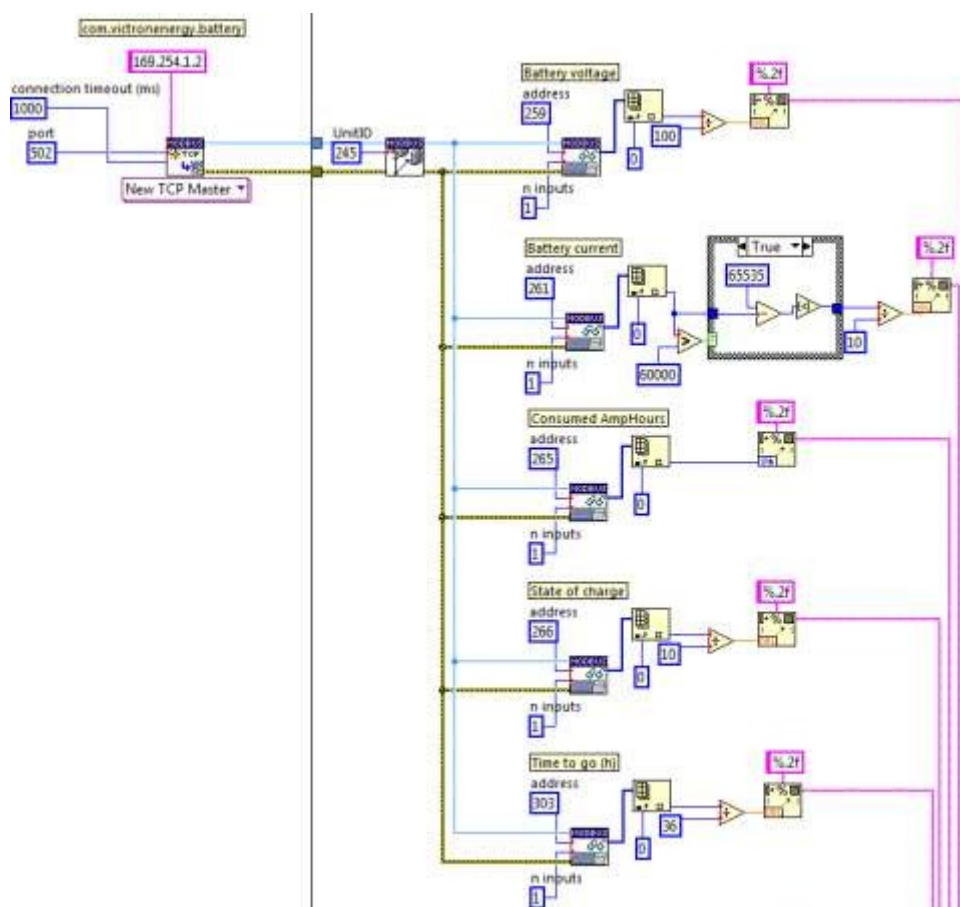


Рисунок 3.7 — Підсумок збору даних у LabVIEW

Для створення електронної таблиці для зберігання всієї інформації, зібраної з кожного запису, що має відношення до проекту, як описано вище, буде використовуватися наступна блок-схема (рис. 3.8).

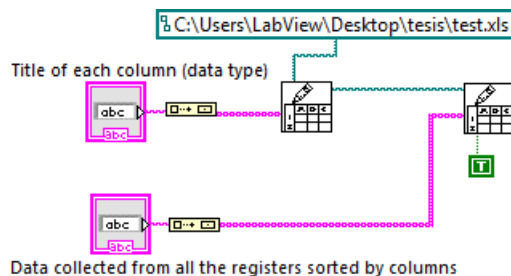


Рисунок 3.8 — Створення електронної таблиці з блок-схемою даних

На рис. 3.8 показано два блоки, призначені для створення електронних таблиць. Оскільки вони пов'язані один з одним, вони матимуть спільні налаштування, а також місце, де вони розміщуються, і якщо поставити галочку "додати до файлу" у другому блоці, то файл не буде замінено, а буде записано на один рядок нижче іншого. Таким чином, було вирішено, що перший блок буде містити заголовки даних, які будуть зібрані, а другий блок буде містити дані, які будуть додані, так що якщо ви захочете додати більше даних, вам потрібно буде лише знову активувати другий блок.

Знаючи ці дві речі, легко виконати наступні кроки, які полягають у повторенні першої блок-схеми для отримання даних з кожного з регістрів системи, об'єднати всі результати в масив і помістити його в другий блок другої блок-схеми.

Оскільки бажаним є безперервний аналіз зібраних даних, необхідно вбудувати в програму безперервне отримання даних і додавання їх до електронної таблиці, і тут вступає в дію те, що в програмуванні називається *циклом for*. Цикл - це послідовність інструкцій, яка виконується багаторазово, доки не буде виконано умову, визначену для циклу. Наприклад, для збору даних *протягом* 30 секунд і додавання 2-секундної затримки до цього *циклу for*, система буде збирати дані

кожні 2 секунди протягом 30 секунд, тобто загалом 15 вибірок.

Блок-схему кінцевої програми, розробленої за допомогою LabVIEW, можна знайти в Додатку II.

LabView - це потужна програма, і іноді її може бути важко зрозуміти непрограмістам або студентам без попередніх знань про програму. З цієї причини необхідний хороший, інтуїтивно зрозумілий, послідовний та інтерактивний інтерфейс.

Інтерфейс відіграє фундаментальну роль і або робить продукт конкурентоспроможним або ні.

Як було зазначено, існує кілька типів фотоелектричних сонячних панелей, і в залежності від їх характеристик, напруги, розміру, матеріалу, ефективності і т.д. продуктивність сонячної панелі буде змінюватися. Для проведення цього аналізу, один і той же тип сонячної панелі, показаний в розділі.

3.4 Моделювання характеристик споживання електроенергії в розумних будинках в системі LabView

У всіх трьох сценаріях було відібрано однакову кількість зразків і в однакові проміжки часу, щоб бути більш точними і порівняти результати в однакових умовах. Зразки відбиралися протягом усього дня (24 години) кожні 20 хвилин. Отримані результати про те, як змінюється напруга протягом дня, показані на рисунках кожного розділу.

Сценарій 1: Сонячна погода. Перший сценарій - це сонячний сценарій, який мав місце 3 березня 2023 року. Середня температура того дня становила 7°C, вологість 59%, тиск 1011 мбар і вітер 10,6808511 км/год

Отримані результати про те, як змінюється напруга протягом дня, показані на рис. 3.8.

На рисунку показана напруга на сонячній панелі внаслідок впливу на неї сонячного випромінювання, беручи до уваги розташування панелі та орієнтацію, можна зробити висновок, що вона має набагато більший вплив у ранкові години.

Також видно, що в сонячний день, з моменту, коли сонце потрапляє на панель, і до моменту, коли воно перестає досягати панелі (з 6 ранку до 9 вечора), як показано на малюнку 37, напруга більш-менш стабільна на рівні 21-22 вольт з деякими коливаннями, ймовірно, через невеликі хмари або якісь інші спотворення.

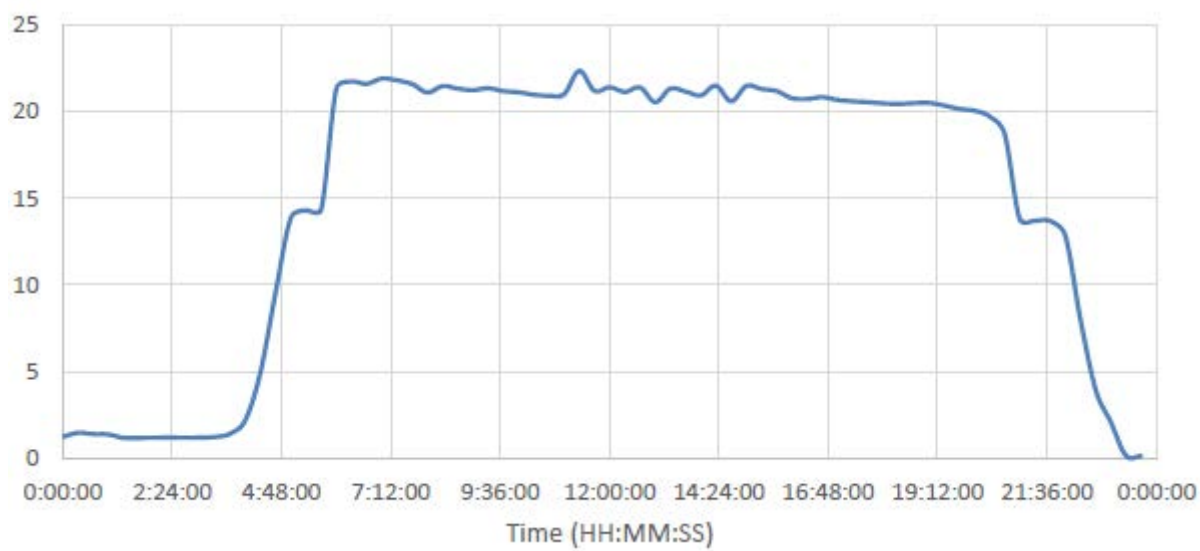


Рисунок 3.8 — Напруга на фотоелектричних перетворювачах (В)
у сонячну погоду

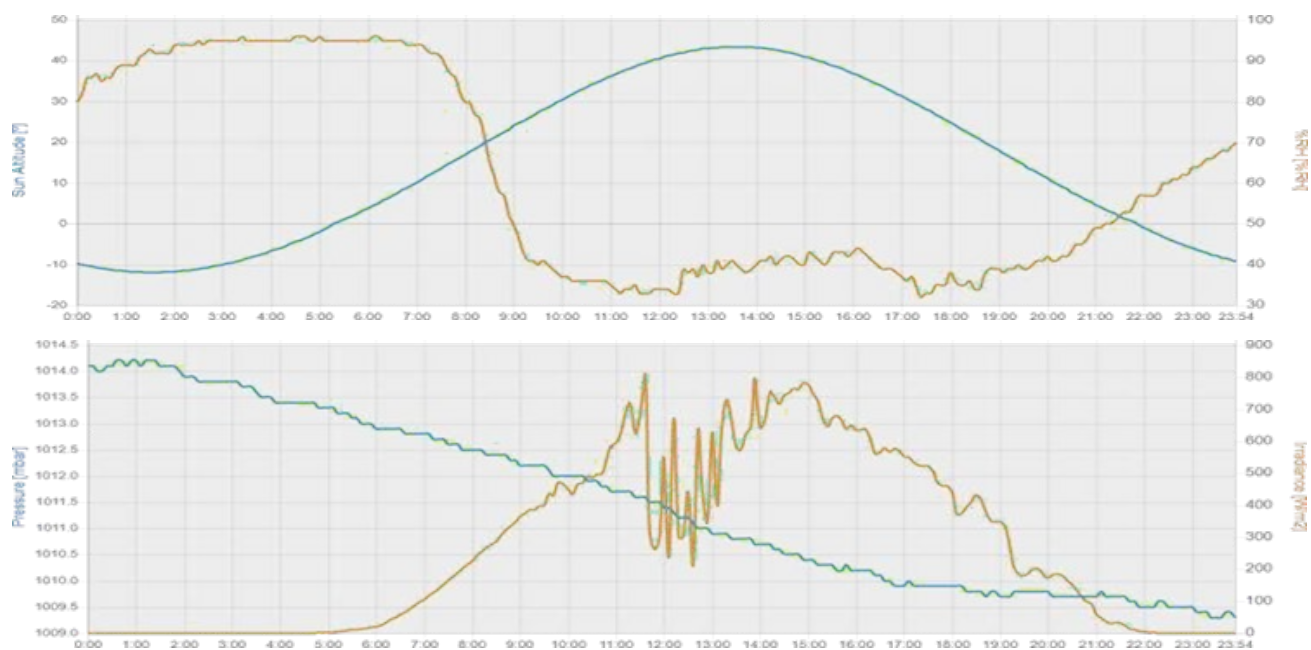


Рисунок 3.9 — Метеорологічні дані від 3 квітня

Порівняння з метеорологічними даними, отриманими з вебдодатку, показує, що 3 квітня був повністю сонячний день з високим рівнем сонячного випромінювання, що є дуже важливим, оскільки це визначає кількість сонячної енергії, яку може отримати фотоелектрична панель.

Сценарій 2: Похмура погода. Перший сценарій - це сонячний сценарій, який мав місце 7 березня 2023 року. Середня температура того дня становила 0°C, вологість - 69%, тиск - 1001 мбар, вітер - 12,64 км/год . Зразки були відібрані в тому ж форматі, що і в першому сценарії, щоб можна було побачити відмінності в зборі сонячного випромінювання. Дані, взяті для аналізу показані на Рисунку 38.

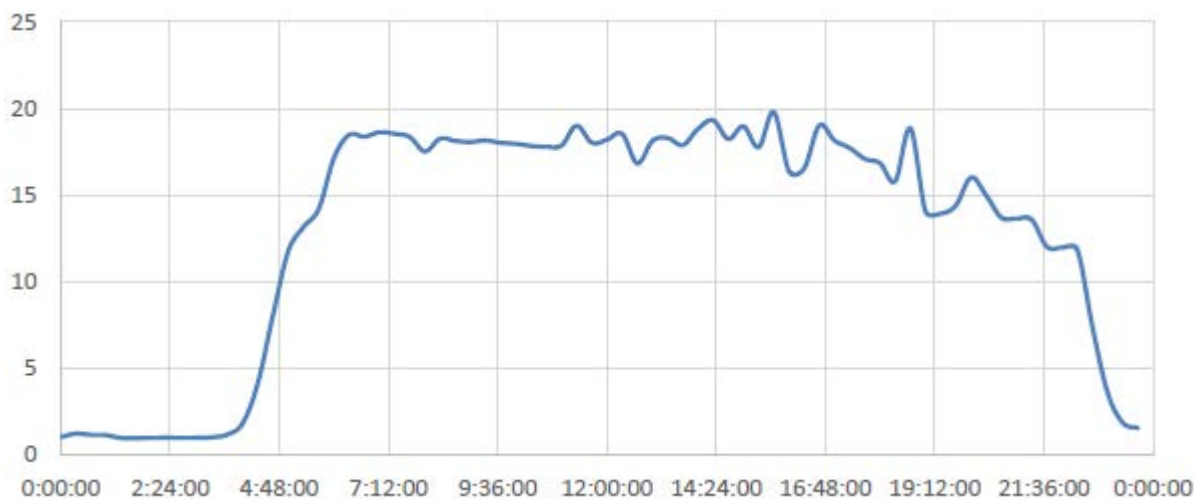


Рисунок 3.10 — Напруга на фотоелектричних перетворювачах (В)
у хмарну погоду

На рисунку показано, як і в попередньому випадку, напругу на сонячній панелі внаслідок впливу на неї сонячного випромінювання, видно, що в ті ж години, що і в попередньому випадку (з 6 ранку до 9 вечора), спостерігається збільшення і стабілізація сонячного приросту. У цьому випадку хмарного дня видно, що ця стабілізація відбувається на рівні 17-18 вольт, що значно нижче, ніж у сценарії 1. Також видно, що в другій половині дня спостерігається значно

більше коливань, ніж вранці, оскільки в деякі моменти сонце виходило, і це є фактором, який трохи спотворює графік. Висновок полягає в тому, що середнє значення напруги, отримане в сонячні години, на 15% нижче, ніж у попередньому сценарії.

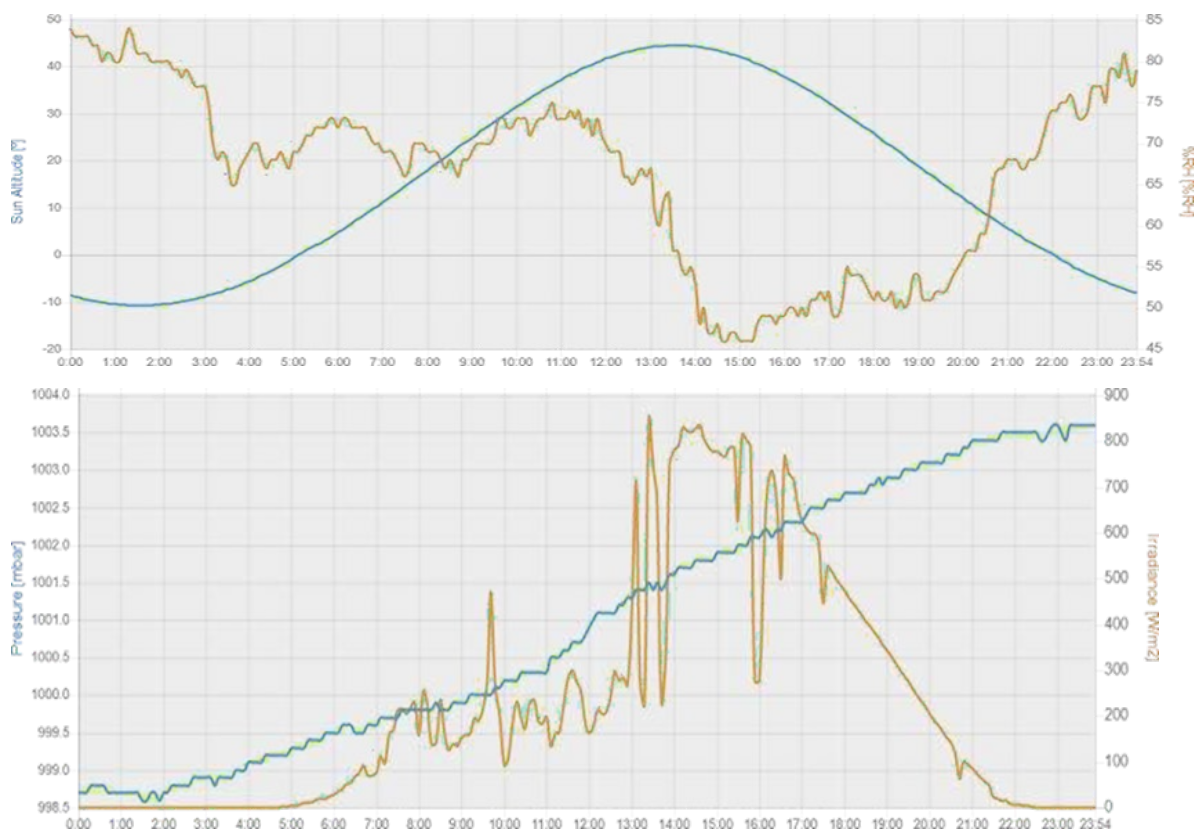


Рисунок 3.11 — Метеорологічні дані від 7 березня

На ри. 3.11 показано, що висота сонця така ж, як і в сценарії 1, вологість значно вища, тиск нижчий, але релевантними даними є сонячне випромінювання, яке, незважаючи на хмарність, все ще є досить високим порівняно з попереднім днем. Це пояснює, що навіть якщо хмарно, сонячна панель все одно виробляє сонячну енергію.

Сценарій 3: Дощова погода. Останній сценарій - це сценарій з дощовою погодою, який відбувся 10 березня 2023 року. Середня температура того дня становила 0°C , вологість - 90%, тиск - 1010 мбар, а вітер - 12,36 км/. Зразки були відібрані в тому ж форматі, що і в першому та другому сценаріях, щоб можна було побачити відмінності в зборах сонячного випромінювання. Отримані

результати можна переглянути на рисунку 40 наведено короткий аналіз.

На рисунку показана, як і в попередніх випадках, напруга на сонячній панелі внаслідок сонячного впливу на неї, як і в інших випадках, видно, що в одні і ті ж години (з 6 до 21 години) спостерігається зростання сонячного приросту. У цьому випадку, на відміну від інших, воно не таке стабільне в години сонячного світла, є досить багато піків, а також спостерігається зростання і падіння напруги, спричинене дощем. Розрахунок середньої напруги показує, що ця стабілізація відбувається на рівні 13-14 вольт, що значно нижче, ніж у сценарії 2, і значно нижче, ніж у сценарії 1, що у відсотковому вираженні можна підсумувати як зниження на 40%.

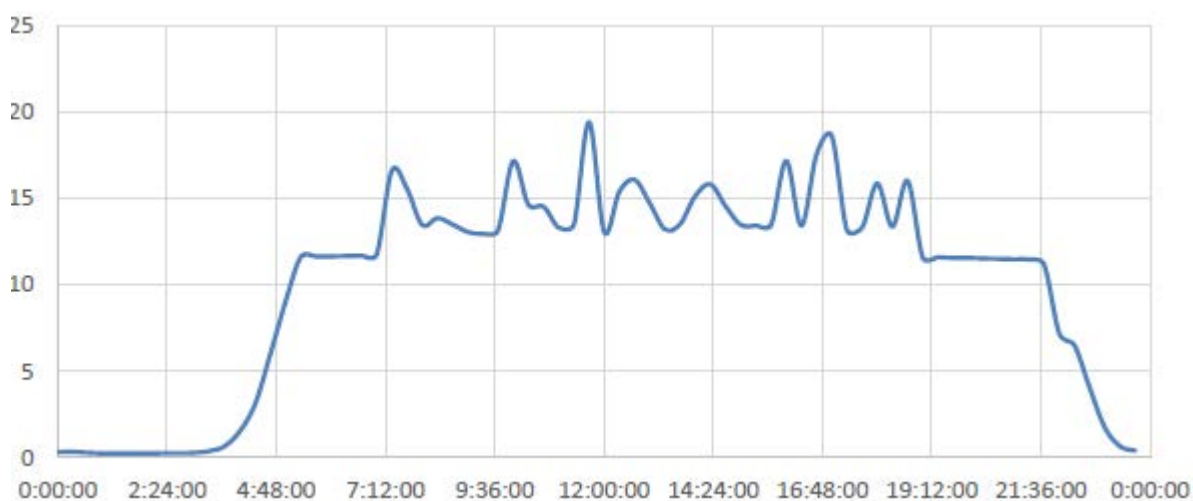


Рисунок 3.12 — Напруга на фотоелектричних перетворювачах (В)
у дощову погоду

Можливі альтернативи фотоелектричним панелям. Для впровадження в систему розглядалися різні сонячні панелі, наприклад, монокристалічна панель. Хоча провести практичні випробування з цим типом панелей було неможливо через їхню недоступність, в теоретичній частині повідомлялося, що вони мають набагато вищу ефективність.

Використання кристалічної панелі підвищило б ефективність системи, а отже, підвищило б стійкість установки. Але ключовою особливістю, яка зробила

тонкоплівкові панелі найкращим вибором, є те, що, оскільки проект зосереджений на освітніх цілях, легка і портативна панель може надати проекту багато різних можливостей для навчання, однією з яких є те, що цей тип фотоелектричних панелей можна легко переміщати в різні місця.

Визначення параметрів акумулятора. Батарея AGM 51Ah також буде проаналізована в процесі розрядки, щоб довести її правильне функціонування і порівняти її з іншими батареями різних типів за хімічним складом, щоб побачити можливі альтернативні варіанти. Оскільки фізично доступною є лише вищезгадана батарея, дані про розряд будуть зібрані з реального розряду батареї та порівняні з графіками розряду інших батарей, наданими виробником.

Розрядка. Аналіз буде зосереджений лише на розряді батареї при постійному навантаженні 102 Вт. Це один з основних факторів, який інженер повинен враховувати при визначенні характеристик батареї, щоб вона відповідала вимогам до продуктивності кінцевого продукту. Зразки напруги батареї в кожний момент часу і струму розряду будуть братися кожні 30 секунд, щоб побачити, як розвивається розряд, і дослідження триватиме до тих пір, поки батарея не розрядиться (10% запас, тому що в іншому випадку вона буде пошкоджена). Як наслідок, буде взято дуже багато зразків, щоб припинити збір даних вручну і почати заряджати батарею, коли увімкнеться сигналізація, оскільки час розряду є невизначеним.

Перші висновки, які можна зробити з цих даних, полягають у тому, що коли батарея розряджається, напруга знижується, це збільшує струм, оскільки $P=V \cdot I$, а також тому, що повинна подаватися постійна потужність 102 Вт. Це пояснює, що добуток обох кривих повинен бути 102 Вт весь час, саме тому вони виглядають симетричними одна відносно одної, нехтуючи невеликими коливаннями.

Можливі альтернативи батареї. Різні типи акумуляторів будуть порівнюватися з AGM батареєю, що бере участь у проекті. Порівнюючи криві розряду літій-іонного акумулятора, одного з найпопулярніших типів акумуляторів на ринку, можна помітити, що криві досить схожі.

Проведення різних тестів дозволило досягти мети - перевірити правильність

функціонування шляхом збору сонячної енергії за допомогою фотоелектричної панелі в трьох різних сценаріях, змінюючи метеорологічні умови, а також провести тест на розрядку AGM-акумулятора з постійним навантаженням 102 Вт. Як і очікувалося, було визначено, що найоптимальніший результат (який дав найкращі дані і, відповідно, найвищу напругу) був при сонячній погоді, на другому місці - похмура погода і, нарешті, дощова погода. Крім того, крива, отримана при розряді акумулятора, була досить симетричною, незважаючи на невеликі коливання, що підтверджує його хорошу продуктивність, оскільки навантаження було постійним.

Що стосується аналізу, проведеного на фотоелектричних панелях, було б корисно протестувати його протягом більшої кількості днів, щоб усереднити його та отримати більш переконливі дані без узагальнення. Це неможливо було зробити, оскільки обладнання було доступне лише на початку квітня, тоді як спочатку було заплановано доставити його в середині січня.

Зазвичай інтерфейси технологічних інструментів, які збирають та аналізують дані, є громіздкими та непривабливими, тому необхідно було подумати, як зробити їх простими у використанні та цікавими для учнів без попередніх прикладів дизайну.

Слід також зазначити, що тест, який проводився, щоб довести належне функціонування батареї в умовах розряду, повинен був проводитися з запасом в 10% від стану заряду, оскільки в іншому випадку вона була б пошкоджена.

3.5 Комп'ютерне моделювання системи сонячної електростанції для автономного забезпечення електроенергією розумного будинку

Передпроектне дослідження було створення сонячної електростанції для автономного забезпечення житлового будинку. Воно передбачає виконання обчислень. Розрахунок площі одного сонячного модуля:

$$S_m = l * w = 2384 * 1082 = 1.606 \text{ м}^2 .$$

де l – довжина фотомодуля батареї; w – ширина сонячної батареї.

Кількість фотомодулів:

$$N=S_d/S_m=162.2/1.606=63\text{шт.},$$

де S_d – площа на дому даху, S_m – відповідно площа одного модуля.

Щоб дізнатися вироблення енергії автономної СЕС за рік скористаємося формулою:

$$W=E*n*K_w*\eta_m*\eta_{iHB}*365=40601\text{ кВт*год/рік},$$

де E – сонячна інсоляція; n – кількість модулів; η_m - ККД модулів; η_{iHB} – ККД інвертора (96%).

Проведено огляд програмного забезпечення. Для сонячних модулів обрали HelioScope як середовище розробки [37]. Вікна середовища програмного продукту представлено на рисунках 3.13 - 3.17.

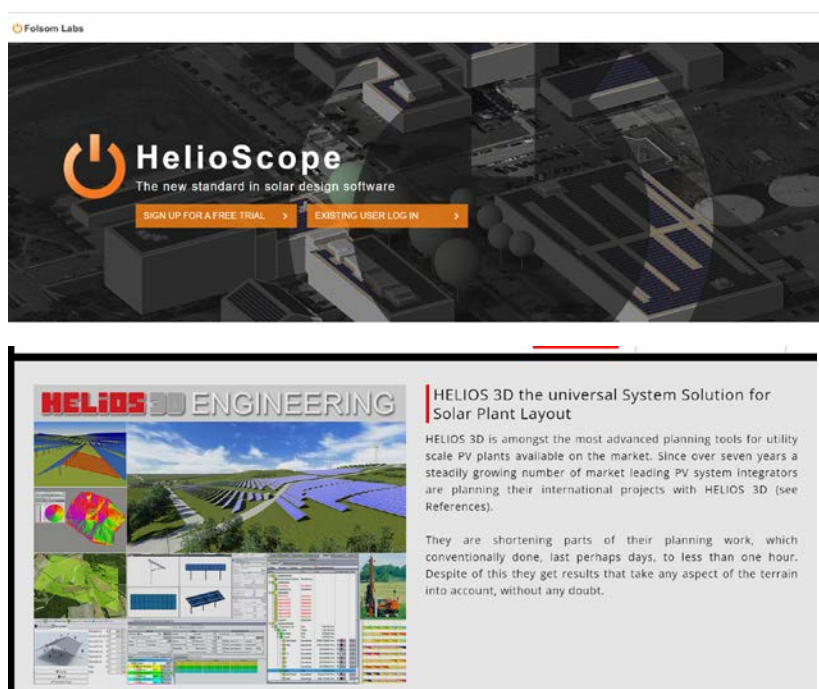


Рисунок 3.13 — Середовище ком'ютерного моделювання Helios



Рисунок 3.14 — Середовище комп'ютерного моделювання Helios

Використано комп'ютерне моделювання для симуляції сонячних батарей для автономного житлового будинку.

Вибір області розробки здійснено в інтегрованому середовищі програмного продукту з використанням супутникової карти Google Maps. Модель сонячної батареї "TSM-DE21" обрана на основі аналізу доступних моделей.

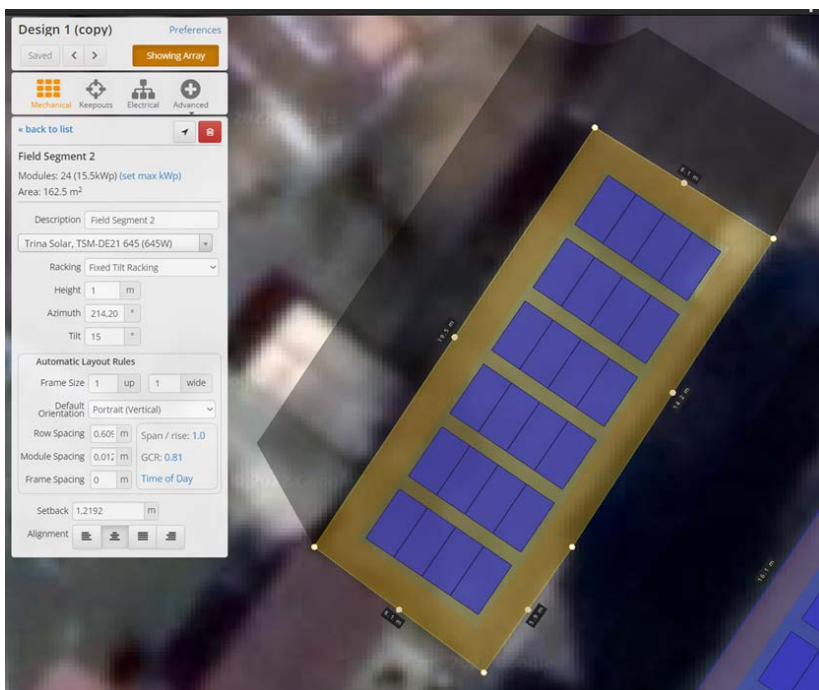


Рисунок 3.15 — Середовище Helios - 1 блок сонячних панелей

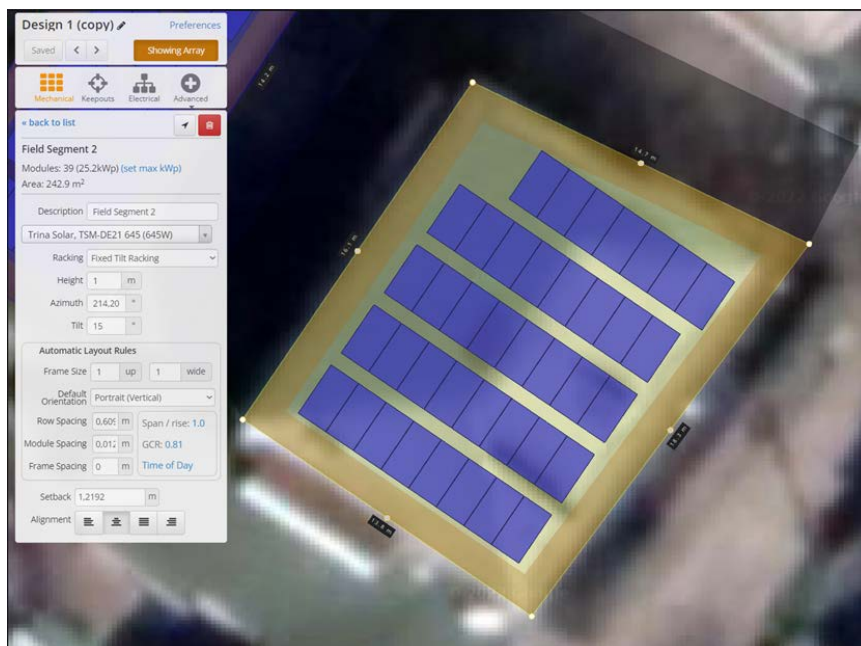


Рисунок 3.16 — Середовище Helios - 2 блок сонячних панелей

Визначено точки розташування сонячних батарей з урахуванням інших потенційних областей на південь від обраної. Встановлено сонячну панель "TRINA SOLAR" з визначенням характеристик площі розміщення.

Розраховано необхідну кількість сонячних панелей та їх розташування на гаражах та даху. Визначено оптимальний азимут для розташування сонячних панелей в діапазоні 214-220 градусів.

Ураховано сонячний бік будинку та відсутність перешкод для досягнення максимальної ефективності в 80,5% роботи сонячних панелей протягом року в Вінницькому регіоні.

Вікна імітаційного моделювання наведені на рисунках 3.5 - 3.7.

Середовище програмного продукту Helios дозволяє виконати моделювання проекту сонячної електростанції. Обрати її компоненти та параметри для системи забезпечення розумного будинку.

На схемі зображено три блоки з 16, 15 та 32 модулів сонячних панелей, які ми підключаємо послідовно до кожного інвертора. Такий тип підключення дає нам перевагу у разі відмови одного з працездатних блоків та можливість швидкого виявлення блоку поломки.

На рис. 3.17 отриманий підсумок розташування сонячних панелей .



Рисунок 3.17 — Середовище Helios – загальне розташування сонячних панелей житлового будинку

Між сонячними панелями та двома інверторами на схемі розташована проводка, яка позначена 10 або 12 (AWG Copper). Мідний провід з'єднує ланцюг між комбінаторами для перетворення та підключення до конектора, який у разі потреби можна буде задіяти (перенапруження, загоряння або інші надзвичайні ситуації). Параметри компонентів сонячного модуля, що використовуються для модуляції наведено у таблиці 3.18.

Таблиця 3.18 — Параметри компонентів сонячного модуля

Components		
Component	Name	Count
Inverters	Sunny Tripower 24000TL-US (SMA)	2 (48.1 kW)
Home Runs	12 AWG (Copper)	6 (70.2 m)
Combiners	1 input Combiner	5
Combiners	2 input Combiner	1
Strings	10 AWG (Copper)	4 (63.2 m)
Module	Trina Solar, TSM-DE21 645 (645W)	63 (40.6 kW)

Послідовне підключення, розташування інверторів та конекторів проєкту для нашої модуляції наведено на рисунку 3.18.

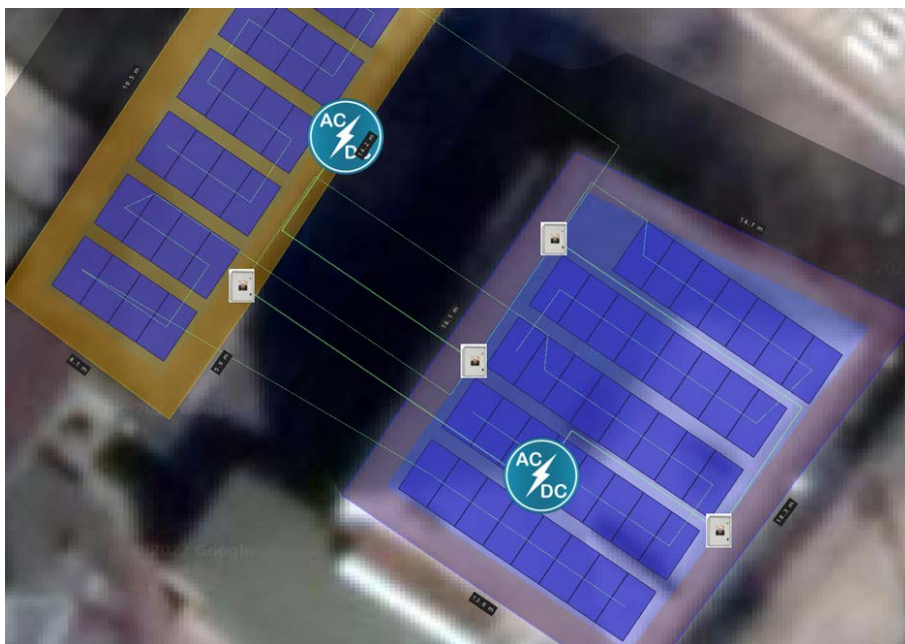


Рисунок 3.18 — Послідовне підключення, розташування інверторів та конекторів проєкту

Для обрахування параметрів ефективності проєкту сонячної електростанції скористуємося даними з відкритого джерела TMY, яке в районі 10 км від точки нашої модуляції (Grid, metronorm). Метрики проєкту системи наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 — Метрики проєкту системи

Module DC Nameplate	40.6 kW
Inverter AC Nameplate	48.1 kW Load Ratio: 0.84
Annual Production	41.68 MWh
Performance Ratio	80.5%
kWh/kWp	1,025.8
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm)
Simulator Version	8732917637-31cd0a5355-c56f9c8929-2ef871ba61

Розрахунок щомісячної продуктивності СЕС проєкту на основі даних, отриманих при модуляції наведено на рисунку 3.19.

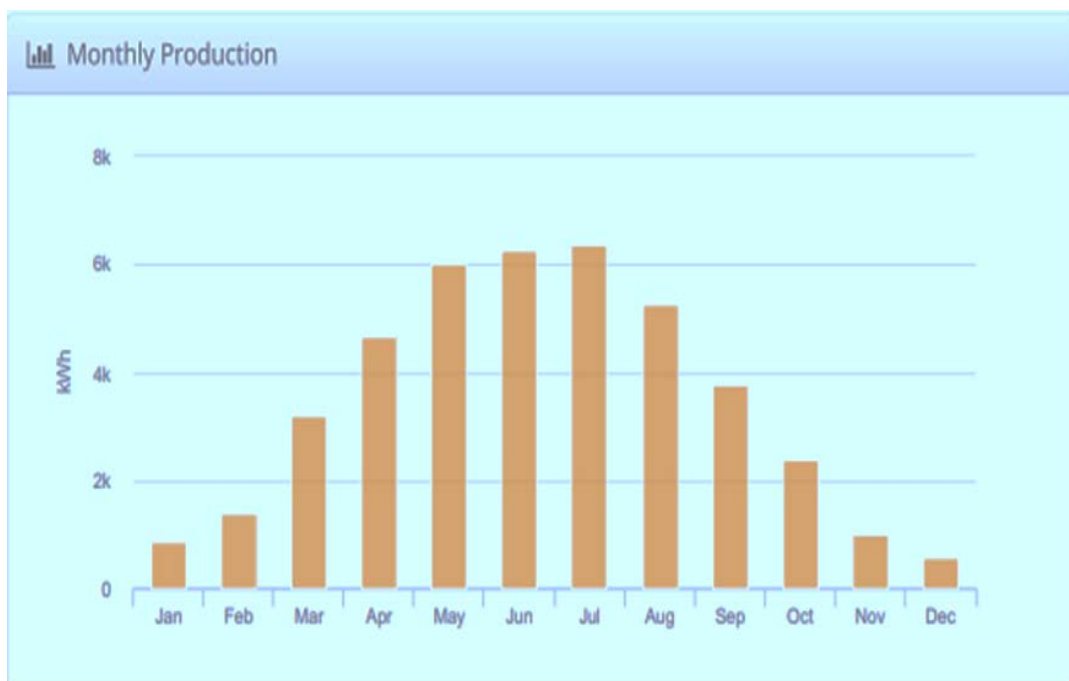


Рисунок 3.19 - Розрахунок щомісячної продуктивності СЕС проєкту

Аналіз даних наведених на рисунку 3.9 показує, що пікова ефективність продуктивності автономної електростанції приходить на липень місяць та дорівнює $6,358.0 \text{ кВт} \cdot \text{год}$. Крім того, у проєкті необхідно врахувати джерела системної втрати електроенергії. Діаграма системних втрат наведена на рисунку 3.20.

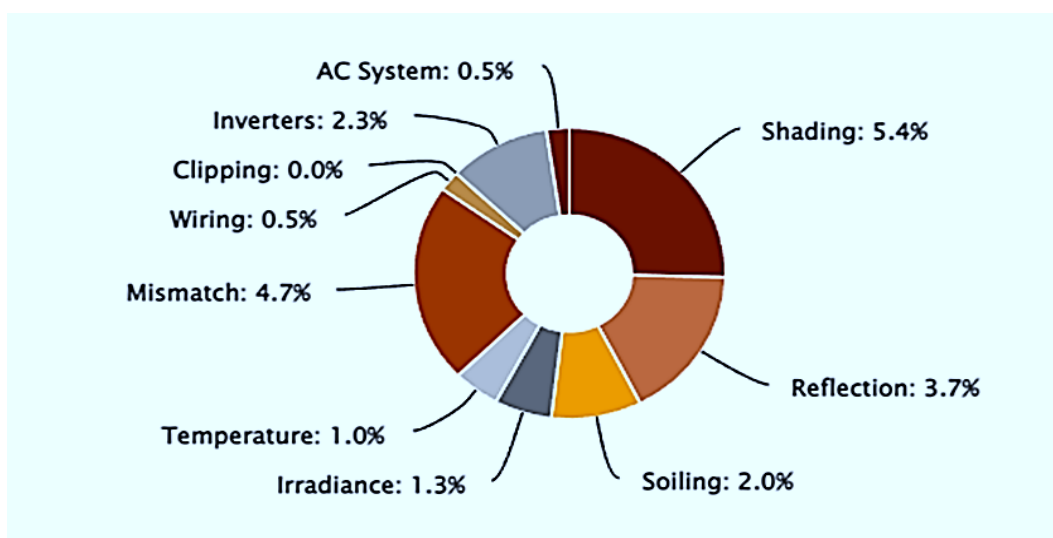


Рисунок 3.20 — Діаграма системних втрат електроенергії проєкту

Проведений аналіз системних втрат електроенергії проєкту показує, що необхідно врахувати такі складові: 0.5% - системні втрати потужності через змінний струм. 2.3% - втрати потужності через ефективність інвертора. 4.7% - втрати потужності через невідповідності з математичними розрахунками.

Підсумкові температурні умови модуляції було наведено у таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 — Підсумкові температурні умови проєкту СЕС

Condition Set												
Description	Condition Set 1											
Weather Dataset	TMY, 10km Grid, meteonorm (meteonorm)											
Solar Angle Location	Meteo Lat/Lng											
Transposition Model	Perez Model											
Temperature Model	Sandia Model											
Temperature Model Parameters	Rack Type	a			b			Temperature Delta				
	Fixed Tilt	-3.56			-0.075			3°C				
	Flush Mount	-2.81			-0.0455			0°C				
Soiling (%)	J	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Irradiation Variance	5%											
Cell Temperature Spread	4° C											
Module Binning Range	-2.5% to 2.5%											
AC System Derate	0.50%											
Module Characterizations	Module				Uploaded By		Characterization					
	TSM-DE21 645 (Trina Solar)				Folsom Labs		Spec Sheet Characterization, PAN					
Component Characterizations	Device				Uploaded By		Characterization					
	Sunny Tripower 24000TL-US (SMA)				Folsom Labs		Modified CEC					

Ефективність проєкту СЕС з урахуванням факторів наведено у таблиці 3.4.

Таблиця 3.4 – Ефективність проєкту СЕС розумного будинку

⚡ Annual Production			
	Description	Output	% Delta
Irradiance (kWh/m ²)	Annual Global Horizontal Irradiance	1,171.1	
	POA Irradiance	1,273.8	8.8%
	Shaded Irradiance	1,204.6	-5.4%
	Irradiance after Reflection	1,160.6	-3.7%
	Irradiance after Soiling	1,137.4	-2.0%
	Total Collector Irradiance	1,137.7	0.0%
Energy (kWh)	Nameplate	46,268.6	
	Output at Irradiance Levels	45,682.3	-1.3%
	Output at Cell Temperature Derate	45,208.8	-1.0%
	Output After Mismatch	43,066.0	-4.7%
	Optimal DC Output	42,859.9	-0.5%
	Constrained DC Output	42,859.8	0.0%
	Inverter Output	41,892.2	-2.3%
	Energy to Grid	41,682.8	-0.5%
Temperature Metrics			
	Avg. Operating Ambient Temp		11.3 °C
	Avg. Operating Cell Temp		17.3 °C
Simulation Metrics			
	Operating Hours		4562
	Solved Hours		4562

Після моделювання встановлено, що сонячна електростанція для житлового будинку при заданих інвестиціях та умовах середньорічно генерує близько 31800 квтгод електроенергії, з яких 9100 квтгод можна використовувати для додаткових потреб або продавати державі за «зеленим» тарифом.

Такий видобуток електроенергії дозволяє розвантажити міську електромережу та уникнути транспортування електроенергії з атомних електростанцій. Відповідно до симуляції, можливо безпосередньо передавати та продавати електроенергію іншим споживачам, забезпечуючи навколишнє середовище чистою енергією.

В разі аварійних ситуацій встановлено можливість підключення дизельного електрогенератора для забезпечення електропостачання відремонтованих сонячних панелей.

Існує можливість оптимізації системи шляхом зменшення кількості сонячних панелей з 63 до 40-45, що забезпечить автономію домогосподарства з меншими ресурсами та витратами.

3.6 Розрахунок параметрів та моделювання системи в середовищі PVsyst

PVsyst - це програмне забезпечення для симуляції та дизайну фотоелектричних (сонячних) електростанцій. Воно дозволяє інженерам, дослідникам та проектувальникам проводити детальний аналіз ефективності сонячних систем на основі різних параметрів, таких як географічне розташування, характеристики сонячних модулів, технічні характеристики обладнання та метеорологічні умови.

За допомогою PVsyst можна проводити симуляції для оцінки виробництва електроенергії, розрахунків витрат, оцінювання рентабельності та оптимізації конфігурацій сонячних систем. Програма враховує різні фактори, такі як тіні, атмосферна абсорбція, температурні втрати та інші аспекти, які впливають на продуктивність сонячних елементів.

PVsyst є потужним інструментом для фахівців у галузі сонячної енергетики, які прагнуть точно розрахувати та оптимізувати параметри сонячних електростанцій перед їх впровадженням.

Переваги PVsyst:

Деталізоване моделювання: PVsyst надає детальне моделювання сонячних електростанцій, враховуючи різні параметри, такі як тіні, атмосферна абсорбція та температурні втрати.

Географічна адаптованість: Програма враховує географічне розташування, що робить її ефективною для проектів у різних частинах світу.

Оцінка рентабельності: PVsyst дозволяє оцінити економічну рентабельність проекту, враховуючи витрати та потенційний дохід.

Оптимізація конфігурацій: Забезпечує можливість оптимізувати конфігурацію сонячних систем для максимальної ефективності.

Недоліки PVsyst:

Складність використання: Для новачків може виглядати складним через велику кількість параметрів та опцій.

Вартість: PVsyst є комерційним програмним продуктом, що може бути вартим для деяких користувачів.

Залежність від даних: Точність результатів залежить від точності введених даних, включаючи характеристики обладнання та метеорологічні дані.

Обмежена безкоштовна версія: Безкоштовна версія PVsyst обмежена функціональністю та не підходить для великих проектів.

Система моніторингу також відстежує, наскільки добре працює мережева фотоелектрична установка. Вона може надавати інформацію про кількість виробленої електроенергії, кількість електроенергії, відправленої назад в мережу, і загальну продуктивність системи. З міркувань моніторингу частоту збору даних можна налаштувати в середньому кожні 10 хвилин. В результаті, коли потрібно виконати завдання локального контролю. Таким чином, коли потрібно вирішувати завдання локального контролю, дані слід збирати частіше. Система

контролю на місці використовує отриману інформацію для ефективної та раціональної експлуатації електрообладнання.

Найбільш ефективні уставки для сусідніх джерел енергії та контрольованих навантажень можуть бути визначені за допомогою аналізу даних та алгоритмічних обчислень. Крім того, зібрані дані використовуються для візуалізації, аналізу та звітування за допомогою програмного забезпечення, встановленого локально або розміщеного в хмарі.

Параметр " географічний сайт" PVSyst дає можливість візуалізувати дані з існуючих об'єктів. Тут можна створити будь-яке місце на планеті. Специфіка полягає в тому, що надавати базові метеодані -якої локації, використовують - методом інтерполяції з бібліотеки METEONORM DLL або методом "найближчої" точки, використовуючи світову. Також доступні сервіси на основі API для прямого імпорту щомісячних даних. Дані для географічних об'єктів зберігатимуться у файлах *.SIT. Географічні координати визначає: назву сайту, країну та регіон. Широта, довгота, висота (які однозначно визначають координати (x,y,z) даної точки землі) і часовий пояс. У цьому діалоговому вікні можна побачити сонячні траєкторії, що відповідають вашій ділянці. Імпортувати метеодані з вбудованої бібліотеки Meteororm DLL, з бази даних NASA-SSE (старої і неточної), з PVGIS API, з NSRDB API, з Solcast API або з SolarAnywhere® API, якщо у вас є доступ до Інтернету для отримання щомісячних/щогодинних файлів TMY, Імпортуйте/експортуйте дані сайту за допомогою "копіювання/вставки" (наприклад, в електронну таблицю типу EXCEL).

Перехід безпосередньо на сторінку "Інтерактивна карта" (кнопка "Показати карту"), роздрукувати повну форму з даними цієї ділянки.

Приклад для міста Вінниці показано на рис. 3.21.

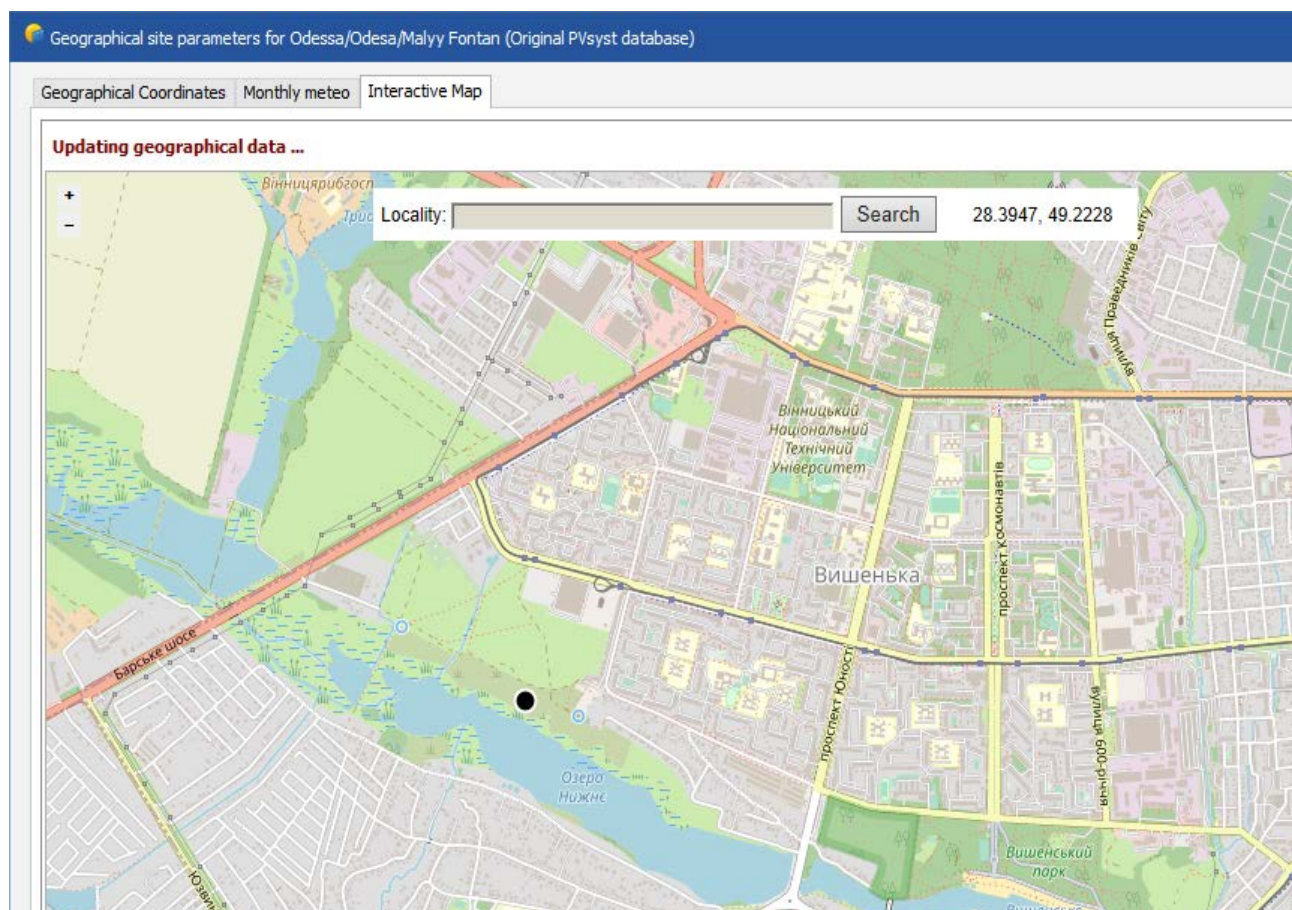


Рисунок 3.21 — Моделювання географічних даних для м. Вінниця

У 3D-сцені можна створити кілька різних типів фотоелектричних полів. Одиночний фотоелектричний блок: це прямокутна чутлива область, що приймає фотоелектричні модулі, з можливими розширеннями по краях, що представляють механічні конструкції. Масив блоків: часто називається "навісами" або "рядами" розташованих один за одним. Масив куполів: розташування зі сходу на захід протилежних масивів.

Можливо отримати кілька прямокутників, що не перетинаються, в одній площині одночасно, полігональна фотоелектрична площина: масив сонцезахисних екранів: спеціальний масив таблиць, вирівняних вертикально одна над одною, для фасадів.

В існуючій сцені поле можна відкрити, двічі клацнувши на його межі, або через меню "Редагування > Редагувати об'єкт". У діалоговому вікні поля є сторінка "Основні параметри", яка визначає основні властивості поля, а також

параметри для його вставки у 3D-сцену. На цій сторінці визначаються специфічні параметри для кожного типу полів, такі як орієнтація, кількість таблиць та їх розташування, крок між таблицями тощо. У власній системі координат площина PV визначається її нахилом, але завжди спрямована до координати OY. Азимут площини буде визначено лише при позиціонуванні площини на глобальній сцені.

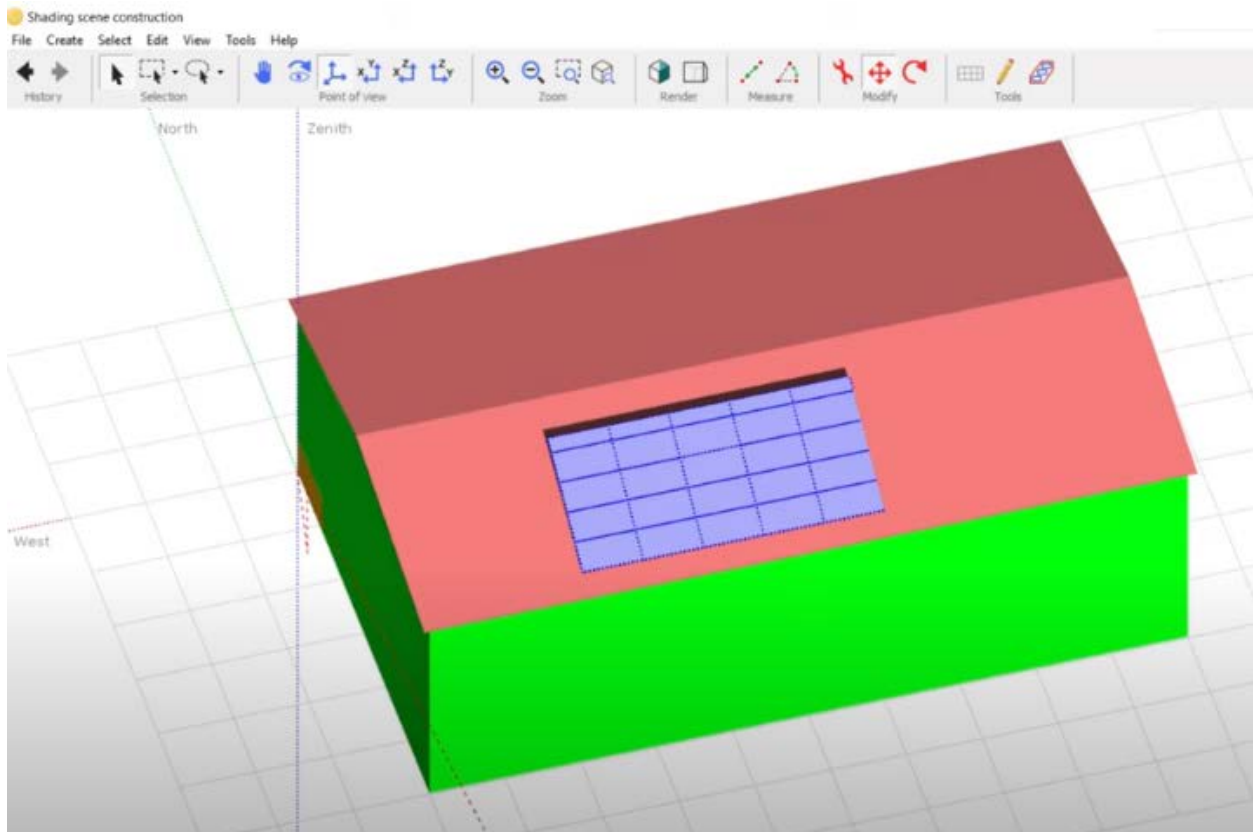


Рисунок 3.22 — Моделювання фізичного розміщення

Для таблиць (і масивів таблиць) можна визначити "базовий нахил", який означає, що основа таблиці нахилена (наприклад, відповідно до рельєфу місцевості на пагорбі або поперечно на двосторонньому даху). При цьому реальна орієнтація площини змінюється. Таким чином, наприклад, набір столів, що повторюють рельєф місцевості, матиме набір різних орієнтацій: PVsyst може обробляти такі системи, визначаючи середню орієнтацію (яка не обов'язково є номінальною орієнтацією).

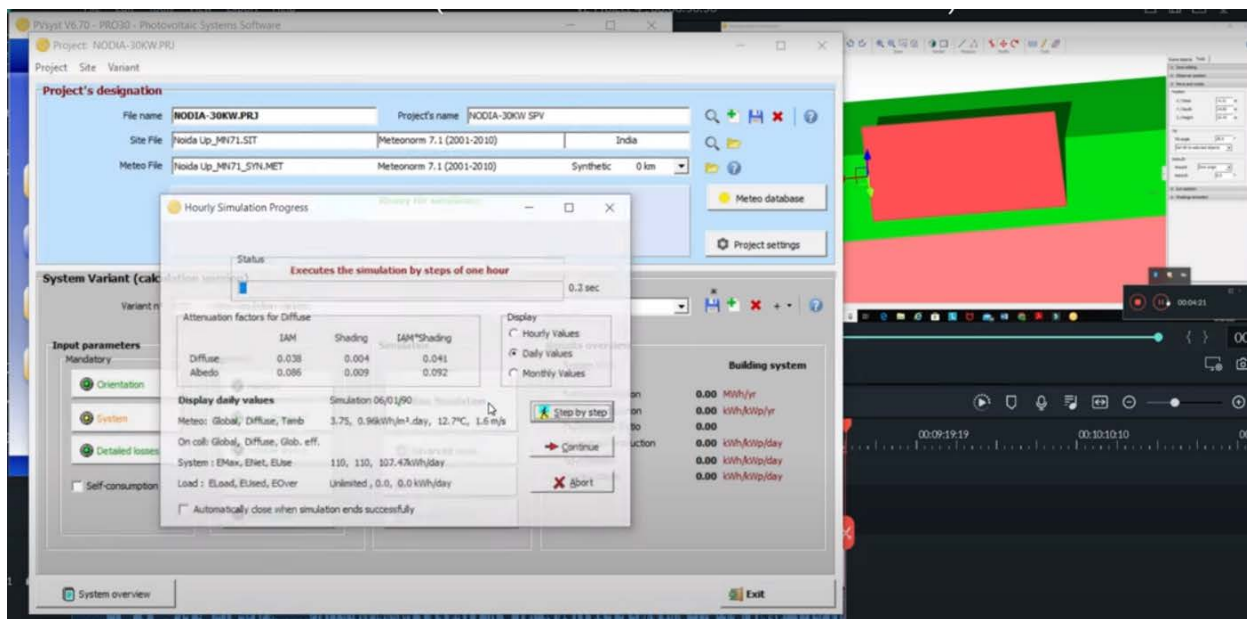


Рисунок 3.23 — Визначення основних площин відстеження

Обидві ці опції можна використовувати за допомогою миші (перетягування червоних точок): модулі заповняють доступну область при зміні розмірів. Масиви складаються з однакових таблиць. Має бути визначено розміри рамки навколо чутливої області. Для багатокутних полів (підходить для VIPV), можна визначити прямокутники різних розмірів.

Багатокутні площини можна намалювати за допомогою миші. Ця область буде заповнена модулями. При визначенні "За модулями" можна додавати модулі, клацнувши на позиції, або вилучати модулі, клацнувши правою кнопкою миші.

Фотоелектрична система складається з сонячних панелей, інверторів, кондиціонера та підключеного до мережі обладнання. Крім того, вартість цих компонентів постійно знижується. Фотоелектрична система базується на річній кількості виробленої енергії, питомої продукції та коефіцієнту корисної дії [6]. Тому ефективність фотоелектричних систем можна промодельовувати як для фіксованого нахилу, так і для сезонного регулювання за допомогою програмного пакету PVsyst.

3.7.Результат моделювання компонентів системи

Сонячна панель залежить від багатьох факторів, таких як модулі, якість інверторів, географічні координати, нахил та орієнтації фотоелектричних панелей [7]. У цьому дослідженні береться до уваги місто Вінниця ($49^{\circ}14'14''$ пн. ш. $28^{\circ}28'02''$ сх. д.); вимірні дані, такі як місячна глобальна сонячна радіація (Gh), місячна дифузна (Gd), середня температура, та швидкість вітру (Ws).

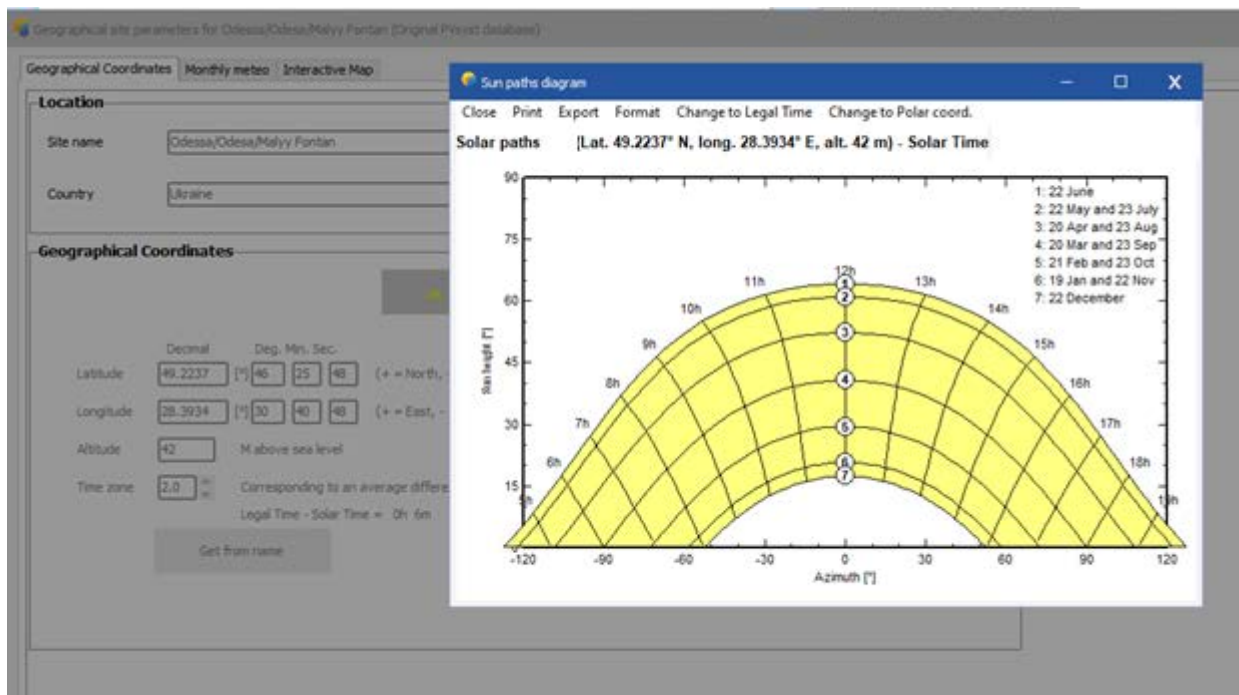


Рисунок 3.24 — Географічне розташування та положення Сонця для м. Вінниця

Оптимізація фотоелектричної системи залежить від двох характеристик; перша - це орієнтація відповідно до сонячної траєкторії. Годинний кут на місцевий сонячний полудень вказаний для 22 квітня. Другий параметр - це нахил; обидва спрямовані на те, обидва мають на меті досягти максимального сонячного випромінювання. На рис.у.25 описано два дослідження структури, такі як: фіксований нахил панелі: оптимізований кут нахилу становить 32° , а кут азимуту - 0° , сезонне регулювання нахилу: кут нахилу становить 15° для літа і 48° для зими.

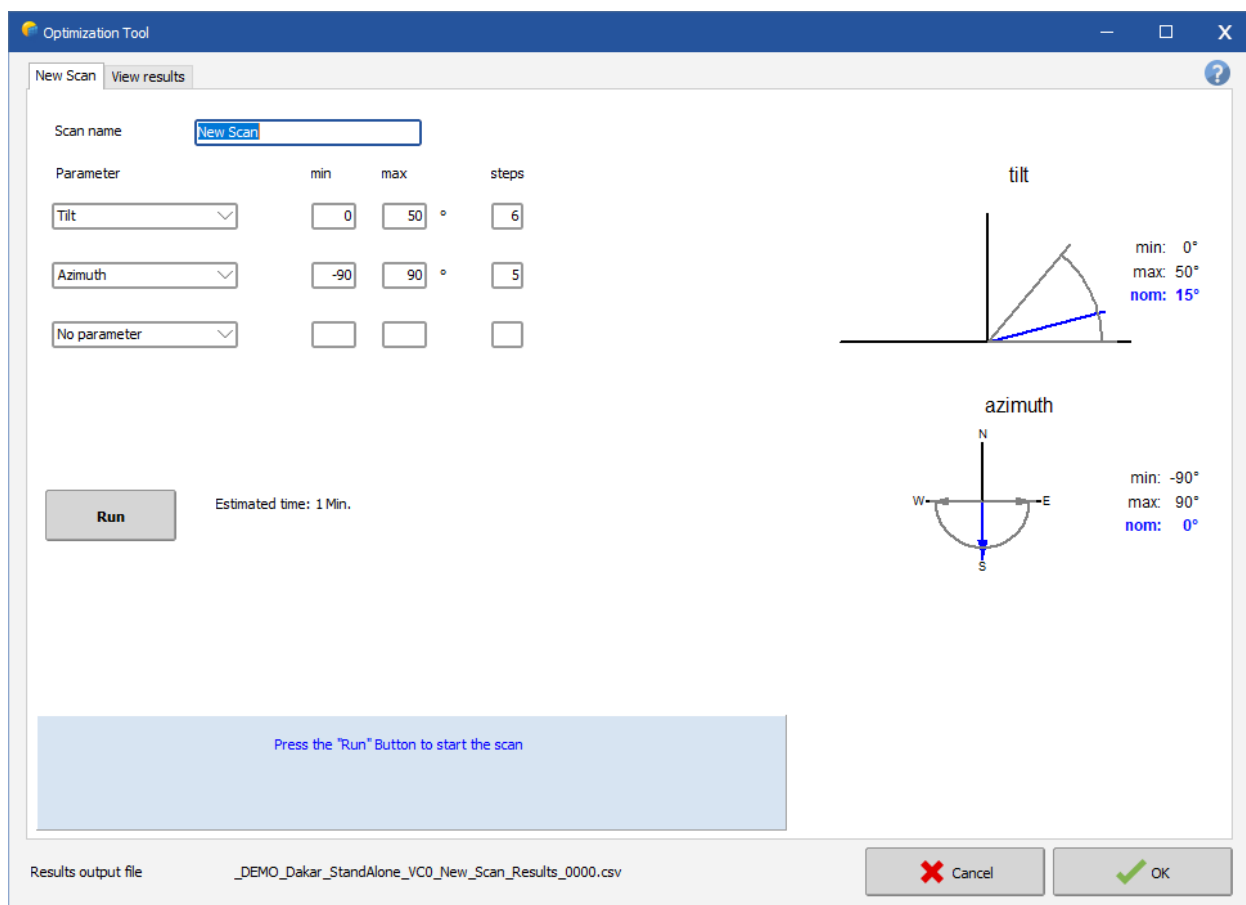


Рисунок 3.25 — Дослідження структури нахилу панелі

Отримано експериментальні результати на основі метрологічних даних з використанням програмного забезпечення PVsyst; при цьому порівняльне дослідження двох конфігурацій і моделювання показує, що вони виконані на одній і тій же характеристиці запропонованої моделі (погодні умови та географічний клімат) весни 2023 року.

Щодо фіксованих нахилених панелей та сезонних коригувань у м. Вінниця, з рис. 3.26 видно, що його середньомісячний показник є близьким до середньорічного, системні втрати та вихід виробленої енергії близькі до 0,68 (кВт·год) відповідно для фіксованих нахилених панелей, якщо значення сезонних. Наступний рисунок враховує систему фотоелектричних панелей, визнаючи їх основним джерелом втрат. Як бачимо, загальне падаюче випромінювання при сезонному регулюванні значно вище, ніж при фіксованому нахилі з різницею в

2%. Модифікатор кута падіння становить майже +15,4% для фіксованого нахилу і +9,8% для нахилу з сезонним регулюванням.

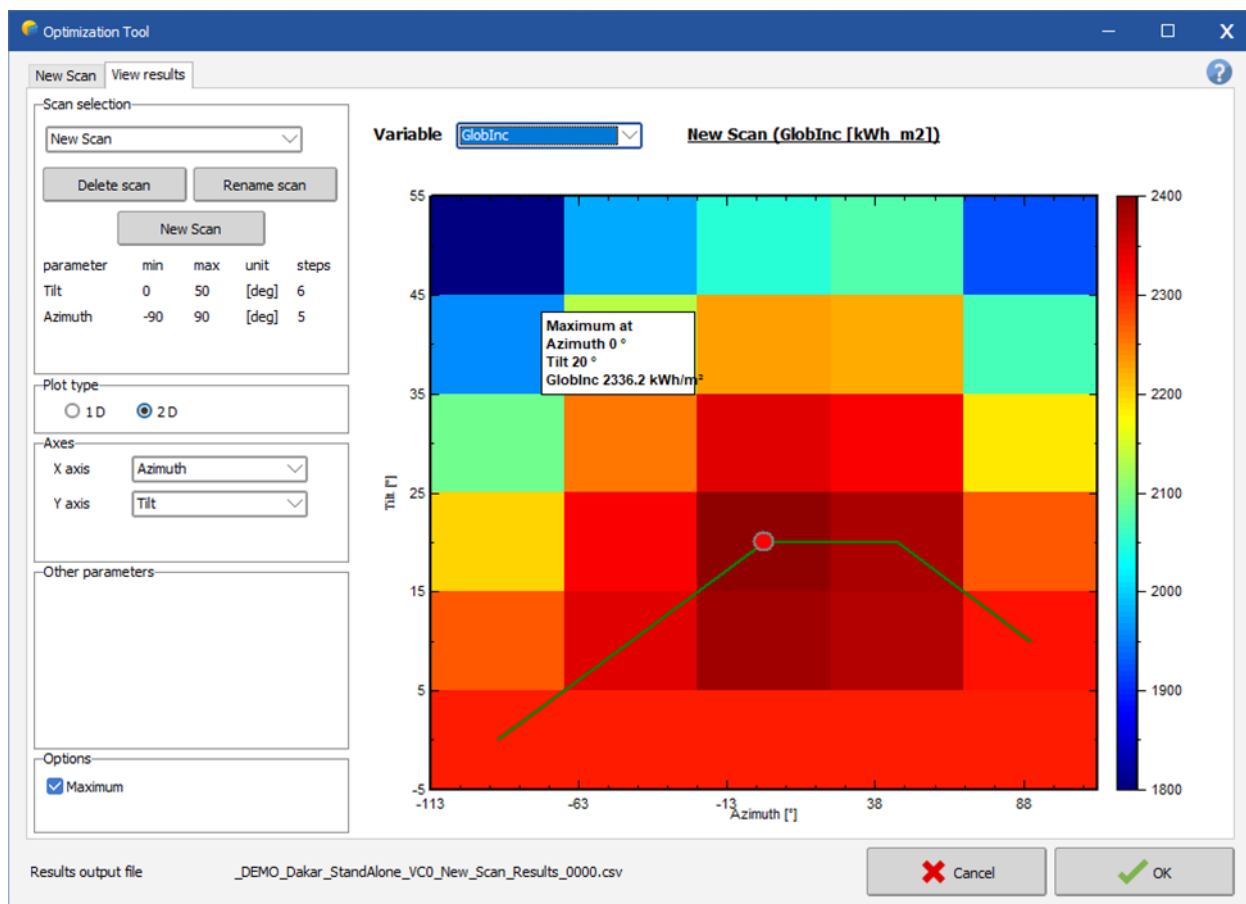


Рисунок 3.26 — Визначення генеруючої потужності сонячної панелі

Основні втрати спричинені втратами решітки, які близькі до 15,3%. Втрати інвертора досягають - 6,2 % для фіксованого та - 6,4 % для сезонного нахилу, при цьому енергія, що подається в мережу для сезонного та фіксованого нахилу, становить ККД системи, що дорівнює 13,0 %.

3.8 Варіант реалізації запропонованої системи

Вихідна потужність сонячної панелі - це постійний струм. Ця енергія генерується тільки в денний час. Отже, якщо ви хочете запуснути навантаження постійного струму в денний час, то це здається дуже простим. Але це не є правильним рішенням, тому що

Більшість приладів потребують постійної номінальної напруги для ефективної роботи. Напруга сонячної панелі не є постійною, вона змінюється в залежності від сонячного світла. Якщо необхідно використовувати розумні прилади вночі від сонячної енергії, це неможливо.



Рисунок 3.27 — Практична реалізація системи

Ця проблема вирішується шляхом використання акумулятора для зберігання сонячної енергії протягом дня і використання її за вашим вибором. Це забезпечить постійне джерело стабільного, надійного живлення.

Акумулятори бувають різних типів. Автомобільні та велосипедні акумулятори призначені для подачі коротких сплесків великого струму, а потім перезарядки і не розраховані на глибоку розрядку. Але сонячна батарея - це свинцево-кислотна батарея глибокого циклу, яка допускає часткову розрядку і дозволяє глибоку повільну розрядку. Свинцево-кислотні трубчасті батареї ідеально підходять для сонячної системи.

Нікель-металогідридні та літій-іонні акумулятори також використовуються в багатьох невеликих електростанціях. Перш ніж вибирати компоненти, визначаються з напругою системи: 12/24 або 48 В. Чим вища напруга, тим менший струм і меншими будуть втрати міді в провіднику. Це також зменшить

розмір провідника. Більшість невеликих домашніх сонячних систем мають напругу 12 або 24 В. У цьому проекті обрано систему на 24 В.

На практиці батареї не є ідеальними, тому повинні враховувати втрати. Нехай втрати батареї складають 15%. Отже, необхідна ємність акумулятора становить $39,58 / 0,85 = 46,56$ Ач

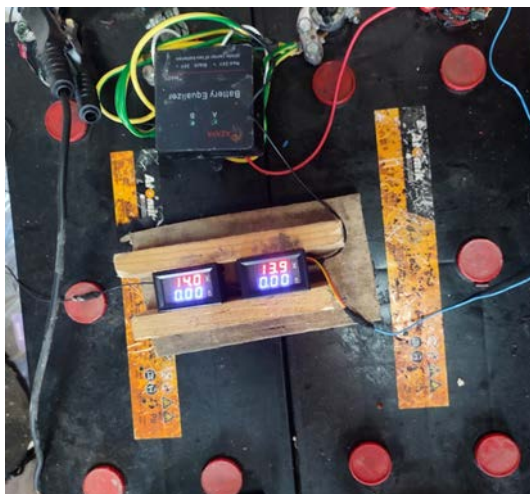


Рисунок 3.28 — Застосування акумуляторних батарей

Для збільшення терміну служби акумулятора не допускається його повна розрядка (100%). Для залитої свинцево-кислотної батареї 60% глибини розряду (DOD) вважається хорошою практикою. Отже, необхідна ємність $= 46,56 / 0,6 = 77,61$ А г

Можливо вибрати свинцево-кислотну батарею глибокого циклу ємністю понад 77,61 А-год і округлити до 80 Аг

Сонячні панелі, які приймають сонячні промені і перетворюють їх на електроенергію з постійним струмом. Потім постійний струм перетворюється на змінний за допомогою пристрою, який називається інвертором. Змінний струм протікає через кожну розетку у вашому домі, живлячи електроприлади.

Інвертор з прямокутною синусоїдою є найдешевшим серед усіх, але не підходить для всіх приладів. Модифікована синусоїда також не підходить для певних приладів, особливо тих, що мають ємнісні та електромагнітні пристрої, такі як холодильник, мікрохвильова піч і більшість видів двигунів. Зазвичай

інвертори з модифікованою синусоїдою працюють з меншою ефективністю, ніж інвертори з чистою синусоїдою.

Тому обрано чистий синусоїдальний інвертор. Він може бути мережевим або автономним. Номінальна потужність повинна дорівнювати або перевищувати загальне навантаження у ватах в будь-який момент часу.

Такі прилади, як холодильник, фен, пилосос, пральна машина і т.д., швидше за все, мають пускову потужність, яка в кілька разів перевищує їх нормальну робочу потужність (як правило, це пов'язано з електродвигунами або конденсаторами в таких приладах). Це слід враховувати при виборі правильного розміру інвертора.



Рисунок 3.29 — Мережевий інвертор

Перший компонент, який необхідно підключити, - це контролер заряду. У нижній частині контролера заряду є 3 знаки. Перший зліва призначений для підключення сонячної панелі зі знаком плюс (+) і мінус (-). Другий зі знаком плюс (+) і мінус (-) призначений для підключення акумулятора, а останній - для прямого підключення навантаження постійного струму, наприклад, ламп постійного струму.

Згідно з інструкцією до контролера заряду, завжди спочатку підключається контролер заряду до акумулятора, оскільки це дозволяє контролеру заряду відкалібруватися до системи 12В або 24В. Підключіть червоний (+) і чорний (-) провід від акумуляторної батареї до контролера заряду. Спочатку підключають чорний/негативний дріт від акумулятора до негативної клеми контролера заряду, потім підключіть позитивний дріт.



Рисунок 3.29 — Налаштування мережевого інвертору

Після підключення акумулятора до контролера заряду загориться індикатор контролера заряду, що вказує на рівень заряду акумулятора. Після підключення цього інвертора клеми для заряду акумулятора з'єднуються з відповідними позитивними і негативними клемми акумулятора.

Тепер необхідно підключити сонячну панель до контролера заряду. На задній стороні сонячної панелі є невелика розподільна коробка з 2 підключеними проводами зі знаком плюс (+) і мінус (-). Дроти для підключення зазвичай мають меншу довжину. Для підключення проводів до контролера заряду знадобиться спеціальний роз'єм, який широко відомий як роз'єм MC4. Після підключення сонячної панелі до контролера заряду загориться зелений світлодіодний індикатор, якщо на нього потрапляє сонячне світло.

Безпека. Важливо відзначити, що справа відбувається з постійним струмом. Тому позитивний (+) повинен бути підключений до позитивного (+), а негативний (-) до негативного (-) від сонячної панелі до контролера заряду. Якщо їх

переплутати, обладнання може вибухнути і загорітися. Тому потрібно бути дуже обережним при підключенні цих проводів. Рекомендується використовувати 2 кольорові дроти, тобто червоний і чорний для позитивного (+) і негативного (-). Якщо немає червоно-чорного дроту, можливо обмотати червоний і чорний відводи на клемах.

Хоча контролер заряду та інвертор мають вбудовані запобіжники для захисту, можна встановити вимикачі та запобіжники в наступних місцях для додаткового захисту та ізоляції.

Після підключення всього необхідного, автономна сонячна система готова до використання.

4 ЕКОНОМІЧНА ЧАСТИНА

Виконання науково-дослідної роботи завжди передбачає отримання певних результатів і вимагає відповідних витрат. Результати виконаної роботи завжди дають нам нові знання, які в подальшому можуть бути використані для удосконалення та/або розробки (побудови) нових, більш продуктивних зразків техніки, процесів та програмного забезпечення.

Дослідження на тему «Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку» може бути віднесено до фундаментальних і пошукових наукових досліджень і спрямоване на вирішення наукових проблем, пов'язаних з практичним застосуванням. Основою таких досліджень є науковий ефект, який виражається в отриманні наукових результатів, які збільшують обсяг знань про природу, техніку та суспільство, які розвивають теоретичну базу в тому чи іншому науковому напрямку, що дозволяє виявити нові закономірності, які можуть використовуватися на практиці.

Для цього випадку виконаємо такі етапи робіт:

- 1) здійснимо проведення наукового аудиту досліджень, тобто встановлення їх наукового рівня та значимості;
- 2) проведемо планування витрат на проведення наукових досліджень;
- 3) здійснимо розрахунок рівня важливості наукового дослідження та перспективності, визначимо ефективність наукових досліджень.

4.1 Оцінювання наукового ефекту

Основними ознаками наукового ефекту науково-дослідної роботи є новизна роботи, рівень її теоретичного опрацювання, перспективність, рівень розповсюдження результатів, можливість реалізації. Науковий ефект НДР на тему «Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку» можна охарактеризувати двома показниками: ступенем наукової новизни та рівнем теоретичного опрацювання.

Значення показників ступеня новизни і рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи в балах наведені в табл. 4.1 та 4.2.

Таблиця 4.1 – Показники ступеня новизни науково-дослідної роботи виставлені експертами

Ступінь новизни	Характеристика ступеня новизни	Значення ступеня новизни, бали		
		Експерти (ПІБ, посада)		
		1	2	3
Принципово нова	Робота якісно нова за постановкою задачі і ґрунтується на застосуванні оригінальних методів дослідження. Результати дослідження відкривають новий напрям в даній галузі науки і техніки. Отримані принципово нові факти, закономірності; розроблена нова теорія. Створено принципово новий пристрій, спосіб, метод	0	0	0
Нова	Отримана нова інформація, яка суттєво зменшує невизначеність наявних значень (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту). Проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів	0	45	52
Відносно нова	Робота має елементи новизни в постановці задачі і методах дослідження. Результати дослідження систематизують і узагальнюють наявну інформацію, визначають шляхи подальших досліджень; вперше знайдено зв'язок (або знайдено новий зв'язок) між явищами. В принципі відомі положення розповсюджені на велику кількість об'єктів, в результаті чого знайдено ефективне рішення. Розроблені більш прості способи для досягнення відомих результатів. Проведена часткова раціональна модифікація (з ознаками новизни)	40	0	0
Традиційна	Робота виконана за традиційною методикою. Результати дослідження мають інформаційний характер. Підтверджені або поставлені під сумнів відомі факти та твердження, які потребують перевірки. Знайдено новий варіант рішення, який не дає суттєвих переваг в порівнянні з існуючим	0	0	0
Не нова	Отримано результат, який раніше зафіксований в інформаційному полі, та не був відомий авторам	0	0	0
Середнє значення балів експертів		45,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів ступінь новизни характеризується як нова, тобто отримана нова інформація, яка суттєво зменшує

невизначеність наявних знань (по-новому або вперше пояснені відомі факти, закономірності, впроваджені нові поняття, розкрита структура змісту) та проведено суттєве вдосконалення, доповнення і уточнення раніше досягнутих результатів.

Таблиця 4.2 – Показники рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи виставлені експертами

Характеристика рівня теоретичного опрацювання	Значення показника рівня теоретичного опрацювання, бали		
	Експерт (ПІБ, посада)		
	1	2	3
Відкриття закону, розробка теорії	0	0	0
Глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу	68	0	63
Розробка способу (алгоритму, програми), пристрою, отримання нової речовини	0	60	0
Елементарний аналіз зв'язків між фактами та наявною гіпотезою, класифікація, практичні рекомендації для окремого випадку тощо	0	0	0
Опис окремих елементарних фактів, викладення досвіду, результатів спостережень, вимірювань тощо	0	0	0
Середнє значення балів експертів	63,7		

Згідно отриманого середнього значення балів експертів рівень теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи характеризується як глибоке опрацювання проблеми: багатоаспектний аналіз зв'язків, взаємозалежності між фактами з наявністю пояснень, наукової систематизації з побудовою евристичної моделі або комплексного прогнозу.

Показник, який характеризує рівень наукового ефекту, визначаємо за формулою [43]:

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}}, \quad (4.1)$$

де $k_{\text{нов}}$, $k_{\text{теор}}$ - показники ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи, $k_{\text{нов}} = 45,7$, $k_{\text{теор}} = 63,7$ балів; $0,6$ та $0,4$ – питома вага

(значимість) показників ступеня новизни та рівня теоретичного опрацювання науково-дослідної роботи.

$$E_{\text{нау}} = 0,6 \cdot k_{\text{нов}} + 0,4 \cdot k_{\text{теор}} = 0,6 \cdot 45,7 + 0,4 \cdot 63,67 = 52,87 \text{ балів.}$$

Визначення характеристики показника $E_{\text{нау}}$ проводиться на основі висновків експертів виходячи з граничних значень, які наведені в табл. 4.3.

Таблиця 4.3 – Граничні значення показника наукового ефекту

Досягнутий рівень показника	Кількість балів
Високий	70...100
Середній	50...69
Достатній	15...49
Низький (помилкові дослідження)	1...14

Відповідно до визначеного рівня наукового ефекту проведеної науково-дослідної роботи на тему «Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку», даний рівень становить 52,87 балів і відповідає статусу - середній рівень. Тобто у даному випадку можна вести мову про потенційну фактичну ефективність науково-дослідної роботи.

4.2 Розрахунок витрат на здійснення науково-дослідної роботи

Витрати, пов'язані з проведенням науково-дослідної роботи на тему «Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку», під час планування, обліку і калькулювання собівартості науково-дослідної роботи групуємо за відповідними статтями.

4.2.1 Витрати на оплату праці

До статті «Витрати на оплату праці» належать витрати на виплату основної та додаткової заробітної плати керівникам відділів, лабораторій, секторів і груп, науковим, інженерно-технічним працівникам, конструкторам, технологам, креслярам, копіювальникам, лаборантам, робітникам, студентам, аспірантам та іншим працівникам, безпосередньо зайнятим виконанням конкретної теми,

обчисленої за посадовими окладами, відрядними розцінками, тарифними ставками згідно з чинними в організаціях системами оплати праці.

Основна заробітна плата дослідників

Витрати на основну заробітну плату дослідників (Z_o) розраховуємо у відповідності до посадових окладів працівників, за формулою [43]:

$$Z_o = \sum_{i=1}^k \frac{M_{ni} \cdot t_i}{T_p}, \quad (4.2)$$

де k – кількість посад дослідників залучених до процесу досліджень;

M_{ni} – місячний посадовий оклад конкретного дослідника, грн;

t_i – число днів роботи конкретного дослідника, дн.;

T_p – середнє число робочих днів в місяці, $T_p=22$ дні.

$$Z_o = 16110,00 \cdot 54 / 22 = 39542,73 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.4 – Витрати на заробітну плату дослідників

Найменування посади	Місячний посадовий оклад, грн	Оплата за робочий день, грн	Число днів роботи	Витрати на заробітну плату, грн
Керівник проекту	16110,00	732,27	54	39542,73
Науковий співробітник	15700,00	713,64	44	31400,00
Інженер-розробник автоматизованих систем	15650,00	711,36	26	18495,45
Технік	7000,00	318,18	11	3500,00
Всього				92938,18

Основна заробітна плата робітників

Витрати на основну заробітну плату робітників (Z_p) за відповідними найменуваннями робіт НДР на тему «Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку» розраховуємо за формулою:

$$Z_p = \sum_{i=1}^n C_i \cdot t_i, \quad (4.3)$$

де C_i – погодинна тарифна ставка робітника відповідного розряду, за виконану відповідну роботу, грн/год;

t_i – час роботи робітника при виконанні визначеної роботи, год.

Погодинну тарифну ставку робітника відповідного розряду C_i можна визначити за формулою:

$$C_i = \frac{M_M \cdot K_i \cdot K_c}{T_p \cdot t_{зм}}, \quad (4.4)$$

де M_M – розмір прожиткового мінімуму працездатної особи, або мінімальної місячної заробітної плати (в залежності від діючого законодавства), прийmemo $M_M=6700,00$ грн; K_i – коефіцієнт міжкваліфікаційного співвідношення для встановлення тарифної ставки робітнику відповідного розряду (табл. Б.2, додаток Б) [43]; K_c – мінімальний коефіцієнт співвідношень місячних тарифних ставок робітників першого розряду з нормальними умовами праці виробничих об'єднань і підприємств до законодавчо встановленого розміру мінімальної заробітної плати.

Таблиця 4.5 – Величина витрат на основну заробітну плату робітників

Найменування робіт	Тривалість роботи, год	Розряд роботи	Тарифний коефіцієнт	Погодинна тарифна ставка, грн	Величина оплати на робітника грн
Встановлення допоміжного обладнання	12,00	2	1,10	56,53	678,38
Інсталяція програмного забезпечення	8,00	5	1,70	87,37	698,93
Встановлення модулів	8,00	5	1,70	87,37	698,93
Монтаж імітаторів елементів автоматизованої системи сонячної енергетики	24,00	6	2,00	102,78	2466,82
Формування бази даних результатів вимірювань	12,00	3	1,35	69,38	832,55
Підготовка приміщення	8,00	2	1,10	56,53	452,25
Всього					5827,86

T_p – середнє число робочих днїв в мїсяцї, приблизно $T_p = 22$ дн;

$t_{зм}$ – тривалїсть змїни, год.

$$C_1 = 6700,00 \cdot 1,10 \cdot 1,35 / (22 \cdot 8) = 56,53 \text{ грн.}$$

$$Z_{pl} = 56,53 \cdot 12,00 = 678,38 \text{ грн.}$$

Додаткова заробїтна плата дослїдникїв та робїтникїв

Додаткову заробїтну плату розраховуємо як 10 ... 12% вїд суми основної заробїтної плати дослїдникїв та робїтникїв за формулою:

$$Z_{\text{доd}} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{\text{доd}}}{100\%}, \quad (4.5)$$

де $H_{\text{доd}}$ – норма нарахування додаткової заробїтної плати. Приймемо 12%.

$$Z_{\text{доd}} = (92938,18 + 5827,86) \cdot 12 / 100\% = 11851,92 \text{ грн.}$$

4.2.2 Вїдрахування на соціальнї заходи

Нарахування на заробїтну плату дослїдникїв та робїтникїв розраховуємо як 22% вїд суми основної та додаткової заробїтної плати дослїдникїв і робїтникїв за формулою:

$$Z_n = (Z_o + Z_p + Z_{\text{доd}}) \cdot \frac{H_{zn}}{100\%} \quad (4.6)$$

де H_{zn} – норма нарахування на заробїтну плату. Приймаємо 22%.

$$Z_n = (92938,18 + 5827,86 + 11851,92) \cdot 22 / 100\% = 24335,95 \text{ грн.}$$

4.2.3 Сировина та матерїали

До статтї «Сировина та матерїали» належать витрати на сировину, основнї та допомїжнї матерїали, інструменти, пристрої та їншї засоби і предмети працї, якї придбанї у стороннїх пїдприємств, установ і органїзацїй та витраченї на проведення дослїджень за темою «Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку».

Витрати на матерїали на даному етапї проведення дослїджень в основному пов'язанї з використанням моделей елементїв та моделювання роботи і дослїджень за допомогою комп'ютерної технїки та створення експериментальних

математичних моделей або програмного забезпечення, тому дані витрати формуються на основі витратних матеріалів характерних для офісних робіт.

Витрати на матеріали (M), у вартісному вираженні розраховуються окремо по кожному виду матеріалів за формулою:

$$M = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j - \sum_{j=1}^n B_j \cdot C_{ej}, \quad (4.7)$$

де H_j – норма витрат матеріалу j -го найменування, кг;

n – кількість видів матеріалів;

C_j – вартість матеріалу j -го найменування, грн/кг;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$);

B_j – маса відходів j -го найменування, кг;

C_{ej} – вартість відходів j -го найменування, грн/кг.

$$M_1 = 4,0 \cdot 194,00 \cdot 1,1 - 0 \cdot 0 = 853,60 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.6 – Витрати на матеріали

Найменування матеріалу, марка, тип, сорт	Ціна за 1 кг, грн	Норма витрат, кг	Величина відходів, кг	Ціна відходів, грн/кг	Вартість витраченого матеріалу, грн
Папір офісний А4	194,00	4,0	0	0	853,60
Папір для записів А5	112,00	4,0	0	0	492,80
Диск оптичний (CD-R)	27,00	4,0	0	0	118,80
Органайзер офісний EGO-100BIC	179,00	4,0	0	0	787,60
Канцелярське приладдя	206,00	4,0	0	0	906,40
Картридж змінний Canon 216AF	1250,00	2,0	0	0	2750,00
FLASH-пам'ять Best 64G	219,00	1,0	0	0	240,90
Всього					6150,10

4.2.4 Розрахунок витрат на комплектуючі

Витрати на комплектуючі (K_6), які використовують при проведенні НДР на тему «Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку», розраховуємо, згідно з їхньою номенклатурою, за формулою:

$$K_6 = \sum_{j=1}^n H_j \cdot C_j \cdot K_j \quad (4.8)$$

де H_j – кількість комплектуючих j -го виду, шт.;

C_j – покупна ціна комплектуючих j -го виду, грн;

K_j – коефіцієнт транспортних витрат, ($K_j = 1,1 \dots 1,15$).

$$K_6 = 1 \cdot 5390,00 \cdot 1,1 = 3263,40 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.7 – Витрати на комплектуючі

Найменування комплектуючих	Кількість, шт.	Ціна за штуку, грн	Сума, грн
Силові кабелі (комплект)	1	5390,00	3263,40
Акумулятор гелевий	1	10800,00	11880,00
Контролер заряду	1	6800,00	7480,00
Балансир заряду акумуляторів	1	4569,00	5025,90
Комплект датчиків контролю	1	1600,00	1760,00
Інше	1	800,00	880,00
Всього			30289,30

4.2.5 Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Спецустаткування для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на виготовлення та придбання спецустаткування необхідного для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, виготовлення, транспортування, монтаж та встановлення.

Балансову вартість спецустаткування розраховуємо за формулою:

$$B_{\text{спеу}} = \sum_{i=1}^k C_i \cdot C_{\text{пр.і}} \cdot K_i, \quad (4.9)$$

де C_i – ціна придбання одиниці спецустаткування даного виду, марки, грн;

$C_{np.i}$ – кількість одиниць устаткування відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує доставку, монтаж, налагодження устаткування тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань устаткування.

$$B_{спец} = 6800,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 7140,00 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.8 – Витрати на придбання спецустаткування по кожному виду

Найменування устаткування	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Модель (імітатор) сонячних батарей	1	6800,00	7140,00
Система сонячного трекера (імітатори виконавчих механізмів)	1	9800,00	10290,00
Система віддаленого доступу	1	5790,00	6079,50
Комп'ютеризована система контролю параметрів	1	18800,00	19740,00
Інвертор 24/220	1	6999,00	7348,95
Лічильник електроенергії	1	1859,00	1951,95
Всього			52550,40

4.2.6 Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт

До статті «Програмне забезпечення для наукових (експериментальних) робіт» належать витрати на розробку та придбання спеціальних програмних засобів і програмного забезпечення, (програм, алгоритмів, баз даних) необхідних для проведення досліджень, також витрати на їх проектування, формування та встановлення.

Балансову вартість програмного забезпечення розраховуємо за формулою:

$$B_{npz} = \sum_{i=1}^k C_{инрг} \cdot C_{npz.i} \cdot K_i, \quad (4.10)$$

де $C_{инрг}$ – ціна придбання одиниці програмного засобу даного виду, грн;

$C_{прг.i}$ – кількість одиниць програмного забезпечення відповідного найменування, які придбані для проведення досліджень, шт.;

K_i – коефіцієнт, що враховує інсталяцію, налагодження програмного засобу тощо, ($K_i = 1, 10 \dots 1, 12$);

k – кількість найменувань програмних засобів.

$$B_{прг} = 5432,00 \cdot 1 \cdot 1,05 = 5703,60 \text{ грн.}$$

Отримані результати зведемо до таблиці:

Таблиця 4.9 – Витрати на придбання програмних засобів по кожному виду

Найменування програмного засобу	Кількість, шт	Ціна за одиницю, грн	Вартість, грн
Пакет Visual System Simulator	1	5432,00	5703,60
Пакет Microwave Office	1	6860,00	7203,00
Пакет Matlab 2020	1	5479,00	5752,95
Всього			18659,55

4.2.7 Амортизація обладнання, програмних засобів та приміщень

В спрощеному вигляді амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання, приміщень та програмному забезпеченню тощо, розраховуємо з використанням прямолінійного методу амортизації за формулою:

$$A_{обл} = \frac{Ц_б}{T_е} \cdot \frac{t_{вик}}{12}, \quad (4.11)$$

де $Ц_б$ – балансова вартість обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, які використовувались для проведення досліджень, грн;

$t_{вик}$ – термін використання обладнання, програмних засобів, приміщень під час досліджень, місяців;

$T_е$ – строк корисного використання обладнання, програмних засобів, приміщень тощо, років.

$$A_{обл} = (44599,00 \cdot 3) / (4 \cdot 12) = 2787,44 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.10 – Амортизаційні відрахування по кожному виду обладнання

Найменування обладнання	Балансова вартість, грн	Строк корисного використання, років	Термін використання обладнання, місяців	Амортизаційні відрахування, грн
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	44599,00	4	3	2787,44
Метрологічний комплекс	21359,00	4	3	1334,94
Програмне забезпечення підтримки функціонування	7699,00	4	3	481,19
Місце дослідника спеціалізоване	7890,00	6	3	328,75
Офісна оргтехніка	8599,00	6	3	358,29
Дослідницька лабораторія	425000,00	25	3	4250,00
Всього				9540,60

4.2.8 Паливо та енергія для науково-виробничих цілей

Витрати на силову електроенергію (B_e) розраховуємо за формулою:

$$B_e = \sum_{i=1}^n \frac{W_{yi} \cdot t_i \cdot C_e \cdot K_{eni}}{\eta_i}, \quad (4.12)$$

де W_{yi} – встановлена потужність обладнання на визначеному етапі розробки, кВт;

t_i – тривалість роботи обладнання на етапі дослідження, год;

C_e – вартість 1 кВт-години електроенергії, грн; (вартість електроенергії визначається за даними енергопостачальної компанії), прийmemo $C_e = 7,50$ грн;

K_{eni} – коефіцієнт, що враховує використання потужності, $K_{eni} < 1$;

η_i – коефіцієнт корисної дії обладнання, $\eta_i < 1$.

$$B_e = 0,38 \cdot 400,0 \cdot 7,50 \cdot 0,95 / 0,97 = 1140,00 \text{ грн.}$$

Проведені розрахунки зведемо до таблиці.

Таблиця 4.11 – Витрати на електроенергію

Найменування обладнання	Встановлена потужність, кВт	Тривалість роботи, год	Сума, грн
Комп'ютеризований програмно-аналітичний комплекс	0,38	400,0	1140,00
Метрологічний комплекс	0,25	200,0	375,00
Система сонячного трекера (імітатори виконавчих механізмів)	0,30	50,0	112,50
Система віддаленого доступу	0,08	50,0	30,00
Комп'ютеризована система контролю параметрів	0,15	50,0	56,25
Інвертор 24/220	0,06	50,0	22,50
Місце дослідника спеціалізоване	0,10	400,0	300,00
Всього			2036,25

4.2.9 Службові відрядження

До статті «Службові відрядження» дослідної роботи на тему «Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку» належать витрати на відрядження штатних працівників, працівників організацій, які працюють за договорами цивільно-правового характеру, аспірантів, зайнятих розробленням досліджень, відрядження, пов'язані з проведенням випробувань машин та приладів, а також витрати на відрядження на наукові з'їзди, конференції, наради, пов'язані з виконанням конкретних досліджень.

Витрати за статтею «Службові відрядження» розраховуємо як 20...25% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cb} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cb}}{100\%}, \quad (4.13)$$

де H_{cb} – норма нарахування за статтею «Службові відрядження», прийmemo $H_{cb} = 20\%$.

$$B_{cv} = (92938,18 + 5827,86) \cdot 20 / 100\% = 19753,21 \text{ грн.}$$

4.2.10 Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації

Витрати за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації» розраховуємо як 30...45% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{cn} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{cn}}{100\%}, \quad (4.14)$$

де H_{cn} – норма нарахування за статтею «Витрати на роботи, які виконують сторонні підприємства, установи і організації», прийmemo $H_{cn} = 30\%$.

$$B_{cn} = (92938,18 + 5827,86) \cdot 30 / 100\% = 29629,81 \text{ грн.}$$

4.2.11 Інші витрати

До статті «Інші витрати» належать витрати, які не знайшли відображення у зазначених статтях витрат і можуть бути віднесені безпосередньо на собівартість досліджень за прямими ознаками.

Витрати за статтею «Інші витрати» розраховуємо як 50...100% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$I_e = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{ie}}{100\%}, \quad (4.15)$$

де H_{ie} – норма нарахування за статтею «Інші витрати», прийmemo $H_{ie} = 50\%$.

$$I_e = (92938,18 + 5827,86) \cdot 50 / 100\% = 49383,02 \text{ грн.}$$

4.2.12 Накладні (загальновиробничі) витрати

До статті «Накладні (загальновиробничі) витрати» належать: витрати, пов'язані з управлінням організацією; витрати на винахідництво та раціоналізацію; витрати на підготовку (перепідготовку) та навчання кадрів; витрати, пов'язані з набором робочої сили; витрати на оплату послуг банків; витрати, пов'язані з освоєнням виробництва продукції; витрати на науково-технічну інформацію та рекламу та ін.

Витрати за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати» розраховуємо як 100...150% від суми основної заробітної плати дослідників та робітників за формулою:

$$B_{нзв} = (Z_o + Z_p) \cdot \frac{H_{нзв}}{100\%}, \quad (4.16)$$

де $H_{нзв}$ – норма нарахування за статтею «Накладні (загальновиробничі) витрати», прийmemo $H_{нзв} = 100\%$.

$$B_{нзв} = (92938,18 + 5827,86) \cdot 100 / 100\% = 98766,04 \text{ грн.}$$

Витрати на проведення науково-дослідної роботи на тему «Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку» розраховуємо як суму всіх попередніх статей витрат за формулою:

$$B_{заг} = Z_o + Z_p + Z_{дод} + Z_n + M + K_{г} + B_{спец} + B_{прг} + A_{обл} + B_e + B_{св} + B_{сп} + I_{г} + B_{нзв}. \quad (4.17)$$

$$B_{заг} = 92938,18 + 5827,86 + 11851,92 + 24335,95 + 6150,10 + 30289,30 + 52550,40 + 18659,55 + 9540,60 + 2036,25 + 19753,21 + 29629,81 + 49383,02 + 98766,04 = 451712,20 \text{ грн.}$$

Загальні витрати ZB на завершення науково-дослідної (науково-технічної) роботи та оформлення її результатів розраховується за формулою:

$$ZB = \frac{B_{заг}}{\eta}, \quad (4.18)$$

де η - коефіцієнт, який характеризує етап (стадію) виконання науково-дослідної роботи, прийmemo $\eta=0,9$.

$$ZB = 451712,20 / 0,9 = 501902,44 \text{ грн.}$$

4.3 Оцінювання важливості та наукової значимості науково-дослідної роботи

Оцінювання та доведення ефективності виконання науково-дослідної роботи фундаментального чи пошукового характеру є достатньо складним процесом і часто базується на експертних оцінках, тому має вірогідний характер.

Для обґрунтування доцільності виконання науково-дослідної роботи на тему «Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку» використовується спеціальний комплексний показник, що враховує важливість, результативність роботи, можливість впровадження її результатів у виробництво, величину витрат на роботу.

Комплексний показник K_p рівня науково-дослідної роботи може бути розрахований за формулою:

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t}, \quad (4.19)$$

де I – коефіцієнт важливості роботи. Прийmemo $I = 4$;

n – коефіцієнт використання результатів роботи; $n = 0$, коли результати роботи не будуть використовуватись; $n = 1$, коли результати роботи будуть використовуватись частково; $n = 2$, коли результати роботи будуть використовуватись в дослідно-конструкторських розробках; $n = 3$, коли результати можуть використовуватись навіть без проведення дослідно-конструкторських розробок. Прийmemo $n = 3$;

T_c – коефіцієнт складності роботи. Прийmemo $T_c = 3$;

R – коефіцієнт результативності роботи; якщо результати роботи плануються вище відомих, то $R = 4$; якщо результати роботи відповідають відомому рівню, то $R = 3$; якщо нижче відомих результатів, то $R = 1$. Прийmemo $R = 3$;

B – вартість науково-дослідної роботи, тис. грн. Прийmemo $B = 501902,44$ грн;

t – час проведення дослідження. Прийmemo $t = 0,25$ років, (3 міс.).

Визначення показників I , n , T_c , R , B , t здійснюється експертним шляхом або на основі нормативів [43].

$$K_p = \frac{I^n \cdot T_c \cdot R}{B \cdot t} = \frac{4^3 \cdot 3 \cdot 3}{501,9 \cdot 0,25} = 4,59.$$

Якщо $K_p > 1$, то науково-дослідну роботу на тему «Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку» можна вважати ефективною з високим науковим, технічним і економічним рівнем.

ВИСНОВКИ

На основі проведеного аналізу літератури можна зазначити перспективи розвитку сонячної енергетики для приватних домогосподарств, враховуючі можливі вигоди, виклики та фактори, що впливають на її прийняття. Загалом, в умовах військового стану розвиток сонячної енергетики для приватних домогосподарств в Україні може мати стратегічне значення для забезпечення енергетичної незалежності та забезпечення безпеки енергопостачання окремих домогосподарств. Такий крок може сприяти забезпеченню життєвих потреб населення та зменшити залежність від централізованих систем енергопостачання.

У роботі розроблено можливі варіанти схем сонячної електростанції для автономного забезпечення розумного будинку. Сонячна енергія може забезпечити розумному будинку джерело енергії, незалежне від централізованих енергетичних систем. Це може дозволити зберігати енергію в акумуляторах та використовувати її для живлення пристроїв та систем у будинку навіть у випадках перебоїв роботи централізованих електромереж.

Було запропоновано математичні моделі залежності характеристик вихідної енергетичної потужності сонячних панелей від параметрів навколишнього середовища та типу модуля. Проведені енергетичні розрахунки показали, що запропонована система здатна забезпечити ефективну роботу пристроїв розумного будинку.

Розумні будинки здатні до автоматизації різних систем для оптимізації споживання енергії. В умовах військового стану ефективне використання сонячної енергії та моніторингу споживання може бути ключовим для забезпечення як енергоефективності, так і систем безпеки для живлення камер спостереження, сигналізаційних систем та інших пристроїв. Крім того, може бути забезпечено стабільне живлення для систем віддаленого моніторингу та керування.

В роботі проведено огляд та аналіз програмного забезпечення, що наявне на ринку і використовується для моделювання сонячних модулів. Він показав, що найбільш оптимальними є середовища розробки PvSyst та HelioScope, в яких було виконано комп'ютерне моделювання параметрів сонячної електростанції для автономного забезпечення електроенергією розумного будинку.

Було виконані структурна та функціональна схеми проєкту сонячної електростанції та параметри її компонентів для системи автономного забезпечення житлового будинку. Виконаний розрахунок щомісячної продуктивності СЕС проєкту на основі даних, отриманих при модуляції. При цьому, враховано джерела системної втрати електроенергії. За допомогою програмного продукту було розраховано ефективність проєкту СЕС житлового будинку

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Yaremko, S., Kuzmina, E., Savina, N., Yaremko, D., Kuzmin, V., Adler, O. (2022). Development of a Smart Education System for Analysis and Prediction of Students' Academic Performance. In: Babichev, S., Lytvynenko, V. (eds) Lecture Notes in Computational Intelligence and Decision Making. ISDMCI 2021. Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, vol 77. Springer, Cham. https://doi.org/10.1007/978-3-030-82014-5_52
2. Кузьмін, В.. СОНЯЧНІ БАТАРЕЇ - АЛЬТЕРНАТИВНІ ДЖЕРЕЛА ЕНЕРГІЇ СУЧАСНОСТІ. НТКП ВНТУ. Ukraine, may. 2022. Available at: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-frtzp/all-frtzp-2022/paper/view/15542>. Date accessed: 02 Dec. 2023.
3. Кузьмін, В.. АНАЛІЗ ЗАСТОСУВАННЯ ПРОГРАМ МОДЕЛЮВАННЯ НЕЙРОМЕРЕЖ. НТКП ВНТУ. Ukraine, mar. 2021. Available at: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2021/paper/view/12335>. Date accessed: 01 Dec. 2023.
4. Скорюкова, Я.; Кузьмін, В.. ТРИВИМІРНЕ МОДЕЛЮВАННЯ В ГРАФІЧНІЙ СИСТЕМІ AUTOCAD ДЛЯ ВИРІШЕННЯ ЗАДАЧ З ІНЖЕНЕРНОЇ ГРАФІКИ. НТКП ВНТУ. Ukraine, mar. 2019. Available at: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-fksa/all-fksa-2019/paper/view/6828>. Date accessed: 02 Dec. 2023.
5. Позігун С., Голушко С., Вахнін О., Павленко І., Іванов В. Перспективи розвитку сонячної енергетики в світі та в Україні: використання пристроїв сонячної енергетики для автономного живлення енергією систем розвідки та зв'язку. Збірник наукових праць Національної академії Державної прикордонної служби України. Серія: військові та технічні науки, 2020. Том 82 № 1. С.270-285.
6. Дзяди́кевич Ю.В., Буряк М.В., Любезна І.В. Розвиток сонячної енергетики в Україні. Інноваційна економіка, 2018. №1-2 (73). С. 120-125.

7. Чекунова С. Перспективні технології фотоелектричної сонячної енергетики: щорічні аналітичні підсумки і прогнози (21.10.2021). [Електронний ресурс]. URL: <https://razumkov.org.ua/statti/perspektyvni-tehnologii-fotoelektrychnoi-soniachnoi-energetyky> (дата звернення 18.11.2023).
8. Future of Solar Photovoltaic, Deployment, investment, technology, grid integration and socio-economic aspects. IRENA. URL: <https://www.irena.org/publications/2021/Nov/Future-of-Solar-Photovoltaic> (дата звернення 15.11.2023).
9. Solar Power Europe, Global Market Outlook for Solar. URL: https://www.solarpowereurope.org/wp-content/uploads/2021/07/SolarPower-Europe-Global-Market-Outlook-for-Solar-2021-2025_V1.pdf (дата звернення 15.11.2023).
10. Renewable energy: official statistics from IRENA. [Електронний ресурс]. URL: <https://www.irena.org/statistics>
11. Energy and Climate Change [Електронний ресурс]. URL: <http://www.iea.org/publications/freepublications/publication/WEO2015SpecialReportonEnergyandClimateChangeExecutiveSummaryRussianversion.pdf>.
12. У 2024-му потужність сонячних електростанцій зрівняється з АЕС. [Електронний ресурс]. URL: <https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/2615-v-2024-om-moshchnost-solnechnykh-elektrostantsijsravnyaetsya-s-aes.html>.
13. Темп зростання сонячної енергетики вперше випередив вугільну. [Електронний ресурс]. URL: <https://ecotechnica.com.ua/energy/solntse/2722-temp-rosta-solnechnoj-energetiki-vpervye-operedilugolnuyu.html>.
14. Стан відновлюваної енергетики REN21 2021. Глобальний звіт. [Електронний ресурс]. URL: http://www.ren21.net/wp-content/uploads/2021/10/REN21_GSR2016_KeyFindings.pdf
15. 100% ВДЕ – нова модель глобальної енергосистеми. [Електронний ресурс]. URL : <http://renen.org/100-res-a-new-model-of-the-global-energy-system/>
16. Проект «Land Art Generator Initiative». [Електронний ресурс]. URL : <https://www.designboom.com/tag/land-art-generator-initiative/>

17. Види сонячних батарей. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.solnpanels.com/vidysolnechnyh-batarej/> (дата звернення 15.11.2023).
18. Колонтаєвський Ю. П., Тугай Д. В., Котелевець С. В. Фотоенергетика: навч. посібн. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 160 с.
19. Колонтаєвський Ю. П., Тугай Д. В. Перетворювальна техніка в нетрадиційній та відновлювальній електроенергетиці: навчальний посібник. Харків: ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2019. 67 с.
20. Офіційний сайт компанії Avenston. URL: <https://avenston.com/> (дата звернення 11.11.2023).
21. Офіційний сайт групи компаній KNESS. URL: <https://kness.energy/sonyachni-moduli/> (дата звернення 12.11.2023).
22. Міжнародне агентство з відновлюваної енергетики. IRENA. URL: <https://www.irena.org/solar> (дата звернення 16.11.2023).
23. World Adds Record New Renewable Energy Capacity in 2022. URL: <https://www.irena.org/newsroom/pressreleases/2022> (дата звернення 12.11.2023).
24. Державне агентство з енергоефективності та енергозбереження України. Офіційний сайт. URL: <https://sae.gov.ua/uk> (дата звернення 15.11.2023).
25. Сонячна енергія. [Електронний ресурс]. URL: <http://www.rea.org.ua/dieret/Solar/solar.html#GUIDELINES>. (дата звернення 11.11.2023).
26. Савченко О. О., Козак Х. Р., Федак Ю. Т. Автономна сонячна електростанція для будинку ОСББ. Вісник національного університету «Львівська політехніка». Серія: теорія і практика будівництва, 2018. Вип.888. С.117-122.
27. Ali Najah Al-Shamani, Mohd Yusof Hj Othman, Sohif Mat, M. H. Ruslan, Azher M. Abed, K. Sopian Design & Sizing of Stand-alone Solar Power Systems A house Iraq. Recent Advances in 122 Renewable Energy Sources. 2015. P.145-150.
28. СХЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ [Електронний ресурс]. URL: <https://renenergy.com.ua/soniachnielektrostantsii/skhemy-orhanizatsiisoniachnykh-elektrostantsii> (дата звернення: 6.11.2023).

29. Кожем'яко В. П., Домбровський О. Г., Жердецький В. Ф., Маліновський В. І., Притуляк Г. В. Аналітичний огляд сучасних технологій фотоелектричних перетворювачів для сонячної енергетики. Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. 2011. № 2. С. 142-157. URL: http://nbuv.gov.ua/UJRN/oeiet_2011_2_20
30. СХЕМИ ОРГАНІЗАЦІЇ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ [Електронний ресурс]. URL: <https://renewenergy.com.ua/soniachnielektrostantsii/skhemy-orhanizatsiisoniachnykh-elektrostantsii> (дата звернення: 26.11.2023)
31. ЕФЕКТИВНІСТЬ ВИКОРИСТАННЯ СОНЯЧНИХ БАТАРЕЙ [Електронний ресурс]. URL: <https://conferences.vntu.edu.ua/index.php/all-ebmd/all-ebmd2021/paper/viewFile/773/873> (дата звернення: 26.11.2023)
32. Поновлювані джерела енергії застосування [Електронний ресурс]. URL: <http://shkola.ostriv.in.ua/publication/code-C5D356ABCF66/listB8AFBC4326> (дата звернення: 26.11.2023).
33. Вибір акумуляторної батареї для сонячної електростанції URL: <https://prel.prom.ua/a257262-vibir-akumulyatornoyi-batareyi.html> (дата звернення 05.04.2022).
34. Середовища розробок HelioScope URL: <https://www.helioscope.com> (дата звернення 20.05.22).
35. Побоченко Л. М. "Розумне місто" ("розумний будинок") та його енергетична складова: світовий досвід / Л. М. Побоченко, Ю. Е. Шваюк // Стратегія розвитку України. – 2016. – № 1. – С. 141– 145. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/sru_2016_1_27.
36. Атоян А.С., Голубєв Л.П. Дослідження вразливостей автоматизованих систем «Розумний будинок» / Атоян А.С., Голубєв Л.П. //Обладнання, електротехнічні та автоматизовані системи та комплекси: Серія«Технічні науки». – ВІСНИК КНУТД. – 2015. – №3 (86). – С.57 – 62.
37. Дужак І.О. Розумний будинок / І.О. Дужак // Автоматизація технологічних і бізнес– процесів, 2013. – № 13,14. – С. 30– 37.

38. What is a Smart Building? Smart Grids and Smart Buildings // Institute for building efficiency. An Initiative of Johnson Controls. – April, 2011[Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.institutebe.com/smartgridsmart-building/What-is-a-Smart-Building.aspx>
39. Даковські М., Вянцковські С.-К. Про енергетику для споживачів та скептиків. – Львів: ЕКОінформ, 2007. – 212 с.
40. Дослідження можливостей використання сонячної енергії для автономного живлення об'єкту. /О.О. Казіміров, К.В. Власов, А.І. Куртов, А.І. Потіхенський // Система обробки інформації, 2017.- №1(147).- С. 58-61
41. Азаров О. Д. Комп'ютерні мережі : підручник / Азаров О. Д., Захарченко С. М., Кадук О. В. та ін. Вінниця : ВНТУ, 2020. – 378 с. ISBN 978-966-641-808-4.
42. Нікітюк Л.А. Архітектура інформаційних мереж: Навч. Посібник/ За ред. М.В. Захарченка – Одеса: УДАЗ ім. О.С.Попова, 2000. – 60 стор.
43. Бірюков М.Л., Стеклов В.К., Костік Б.Я. Транспортні мережі телекомунікацій: Системи мультиплексування: Підручник для студентів вищ. техн. закладів; За ред. В.К. Стеклова. – К.: Техніка, 2005. – 312 с

ДОДАТОК А (Обов'язковий)

ПРОТОКОЛ ПЕРЕВІРКИ НА ПЛАГІАТ МАГІСТЕРСЬКОЇ КВАЛІФІКАЦІЙНОЇ РОБОТИ

Назва роботи: «Автоматизована система сонячної енергетики для автономного житлового будинку»

Тип роботи: магістерська кваліфікаційна робота

Підрозділ: кафедра БМІОЕС

Науковий керівник: Кожем'яко А.В., к.т.н., доцент каф. БМІОЕС


Показники звіту подібності:

Unicheck	
Оригінальність	95,13 %
Схожість	4,87 %

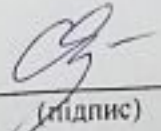
Аналіз звіту подібності (відмітити потрібне):

1. Запозичення, виявлені у роботі, оформлені коректно і не містять ознак плагіату.
2. Виявлені у роботі запозичення не мають ознак плагіату, але їх надмірна кількість викликає сумніви щодо цінності роботи і самостійності її автора. Роботу направити на доопрацювання.
3. Виявлені у роботі запозичення є недобросовісними і мають ознаки плагіату та/або в ній містяться навмисні спотворення тексту, що вказують на спроби приховування недобросовісних запозичень.

Заявляю, що ознайомлений з повним звітом подібності, який був згенерований системою щодо роботи

Автор  Кузьмін В.А.
(підпис)

Опис прийнятого рішення Робота допускається до захисту


Особа, відповідальна за перевірку  Тужанський С.Є.
(підпис)

ДОДАТОК Б
Технічне завдання

Міністерство освіти та науки України
Вінницький національний технічний університет
Факультет інформаційних технологій та комп'ютерної інженерії
Кафедра обчислювальної техніки

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри БМІОЕС

 к.т.н., доц. Коваль Л.Г.


(прізвище та ініціали)

« 18 » 09 2023 р.

ТЕХНІЧНЕ ЗАВДАННЯ

на виконання магістерської кваліфікаційної роботи

«Телемедична система передачі та попередньої обробки медичних даних»

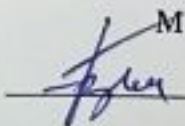
 Науковий керівник

к.т.н., доц. каф. ОТ

Кожем'яко А.В.

виконав:

магістрант 2 курсу,

 Бондар І.Д

1. Підстава виконання магістерської кваліфікаційної роботи

1.1 Одним із найбільш актуальних напрямів розвитку енергозбереження є потреба в інструментах, що застосовують автоматизований механізм прийняття рішень для такого сучасного явища, як "розумний будинок" для підвищення енергоефективності та комфортних умов мешканців таких будинків. Актуальність роботи полягає в розробці системи енергонезалежності для "розумних" будинків із застосування відновлювальних джерел енергії. Важливо забезпечити набір комплексних рішень, що включають апаратні і програмні засоби, для визначення важливих характеристик, як ззовні так всередині будинку, що впливають на поведінку пристроїв «розумного» будинку .1.2 Наказ про затвердження теми МКР

2 Мета і призначенням МКР

2.1 Метою роботи є вдосконалення автоматизованих систем сонячної енергетики для автономного житлового будинку і за рахунок застосування технологій управління елементами «розумних» будинків, що дозволить підвищити їх енергонезалежність та автономність

2.2 Призначення розробки — виконання магістерської кваліфікаційної роботи.

3 Вихідні дані для виконання МКР

Вихідні дані для виконання МКР: методи засновані на класичних алгоритмах проектування комп'ютерних мереж, пасивна оптична мережа засоби налаштування оптичних комутаторів та абонентських пристроїв.

4 Вимоги до виконання МКР

МКР повинна задовольняти такі вимоги:

- забезпечити функціонування системи розумного будинку в умовах відсутності централізованого електропостачання;

— провести моделювання та тестування системи;

5 Етапи МКР та очікувані результати

Етапи роботи та очікувані результати приведено в табл. А.1.

6 Матеріали, що подаються до захисту МКР

До захисту МКР подаються: пояснювальна записка МКР, ілюстративні та графічні матеріали, протокол попереднього захисту МКР на кафедрі, відзив наукового керівника, відзив опонента, протоколи складання державних екзаменів, анотації до МКР українською та іноземною мовами, довідка про відповідність оформлення МКР діючим вимогам.

Таблиця А.1 — Етапи МКР

№ з/п	Назва етапів МКР	Строк виконання етапів роботи	Примітка
1	Постановка задачі дослідження	18.09.2023	
2	Аналіз методів і систем керування розумними будинками	09.10.2023	
3	Розробка методу енергозабезпечення розумного будинка	09.11.2023	
4	Експериментальні дослідження системи	15.11.2023	
5	Економічний розділ	28.11.2023	
6	Попередній захист МКР	29.11.2023	
7	Нормоконтроль МКР	06.12.2023	
8	Рецензування МКР	07.12. 2023	
8	Остаточний Захист МКР	14.12.2023	

7 Порядок контролю виконання та захисту МКР

Виконання етапів розрахункової та графічної документації МКР контролюється науковим керівником згідно зі встановленими термінами. Захист МКР відбувається на засіданні Державної екзаменаційної комісії, затвердженою наказом ректора.

8 Вимоги до оформлення МКР

8.1 При оформлюванні МКР використовуються:

— ДСТУ 3008: 2015 «Звіти в сфері науки і техніки. Структура та правила оформлювання»;

— ДСТУ 8302: 2015 «Бібліографічні посилання. Загальні положення та правила складання»;

8.2 Порядок виконання МКР викладено в «Положення про кваліфікаційні роботи на другому (магістерському) рівні вищої освіти СУЯ ВНТУ–03.02.02 П.001.01:21.

Додаток В
(довідниковий)
Варіанти схем автономної сонячної електростанції

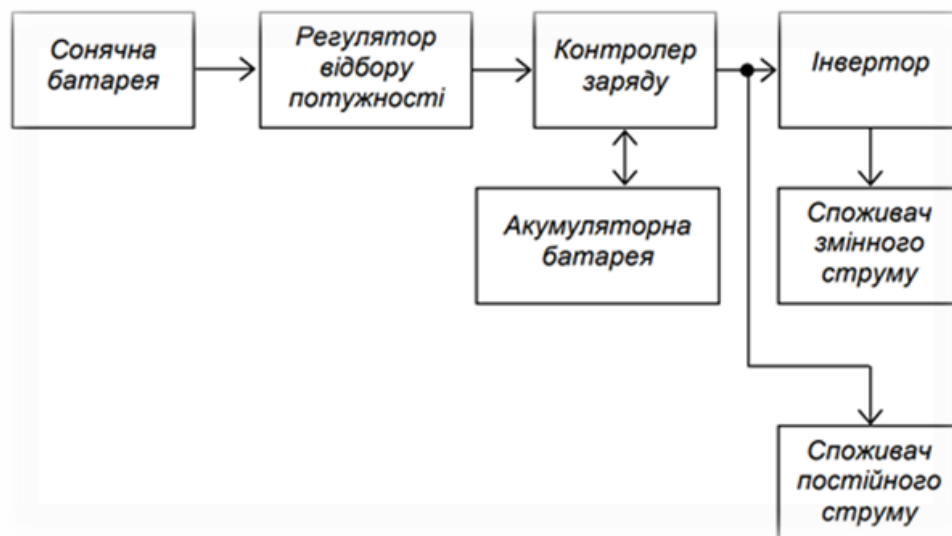


Рисунок В.1 - Схема автономної сонячної електростанції

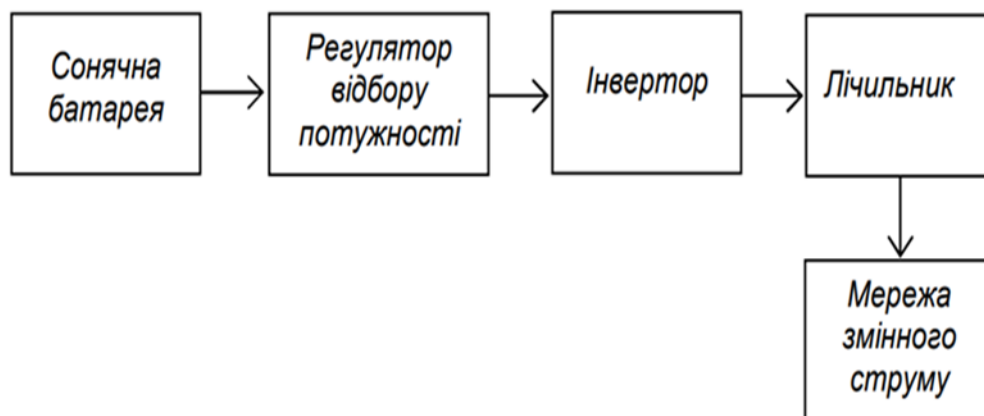


Рисунок В.2 - Схема сонячної електростанції, що з'єднана з електромережею

Додаток Г
(довідниковий)
Схема роботи фотоелемента

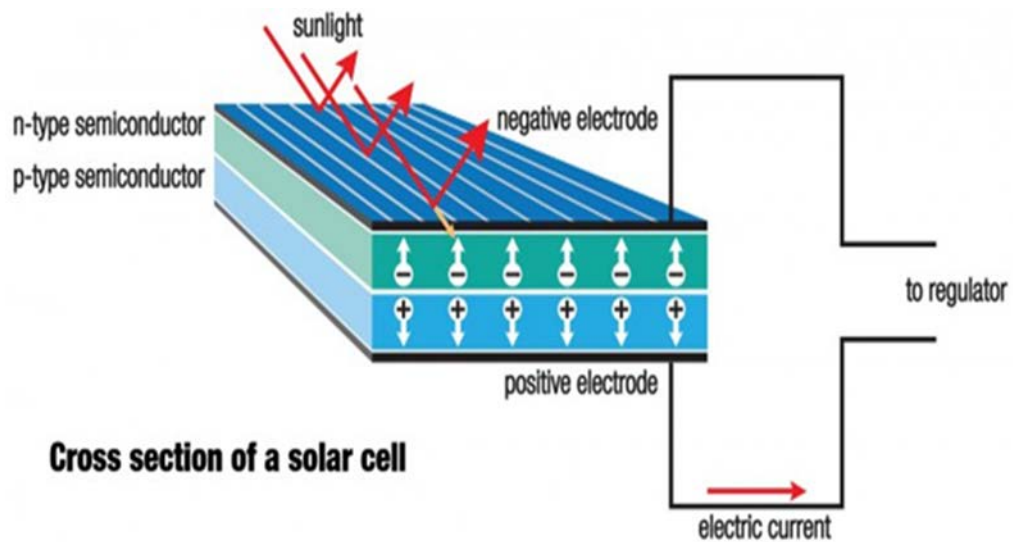


Рисунок Г.1 - Схема роботи фотоелемента

Додаток Д
(обов'язковий)
Ілюстративний матеріал

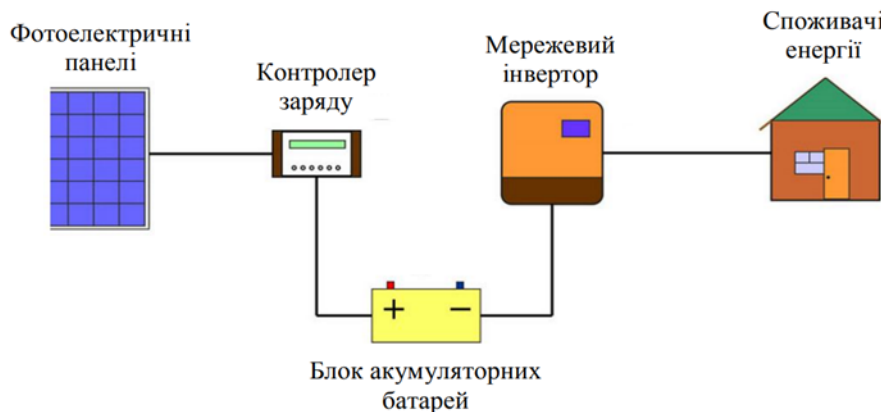


Рисунок Д.1 - Схема автономної сонячної електростанції (off-grid)

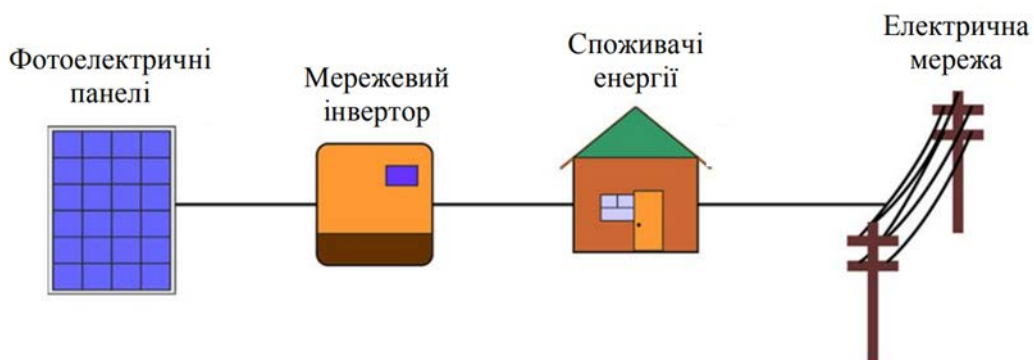


Рисунок Д.2 – Схема автономної сонячної електростанції під'єднаної до мережі (on-grid)

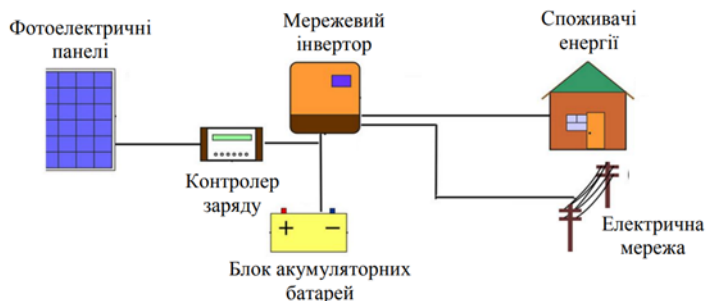
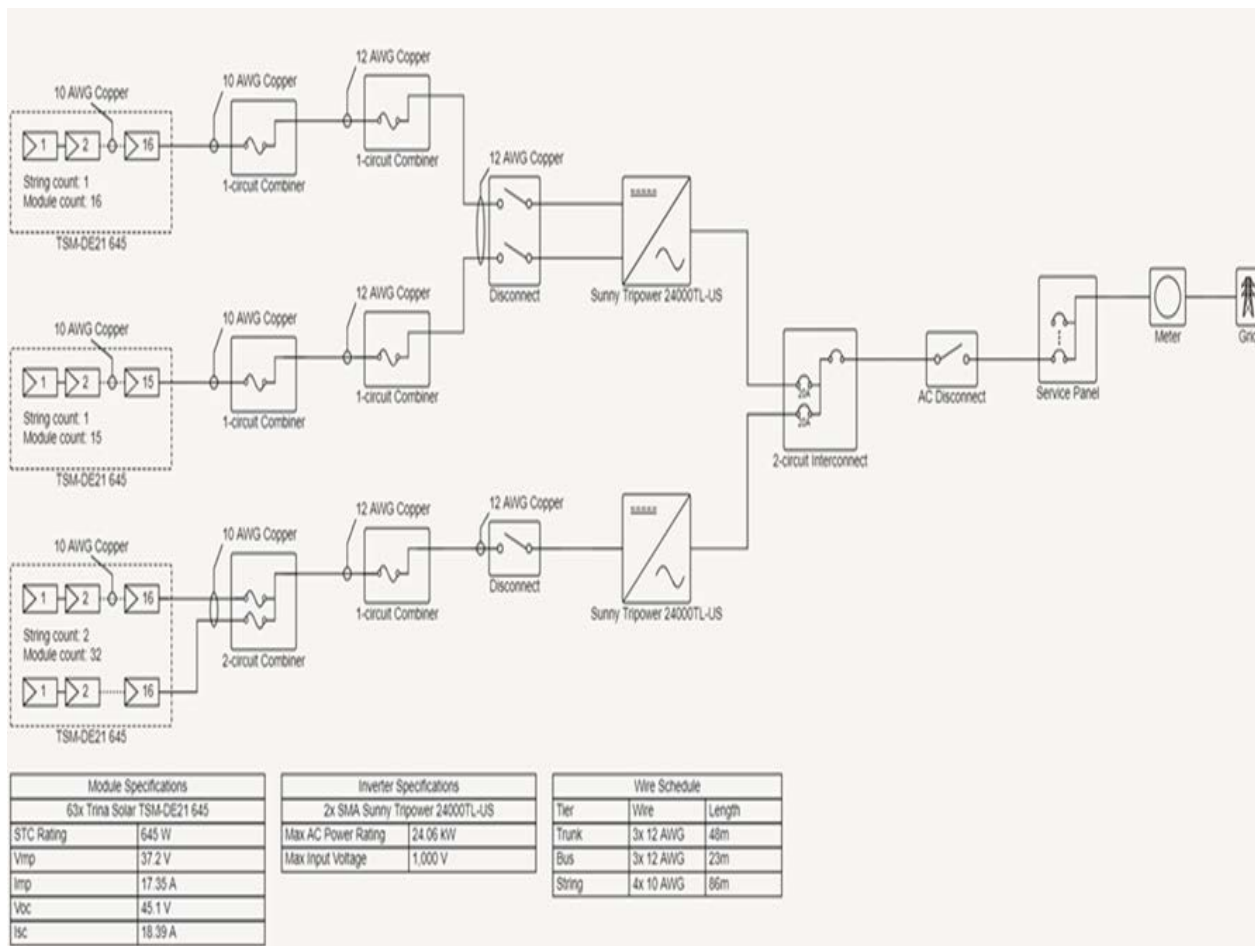


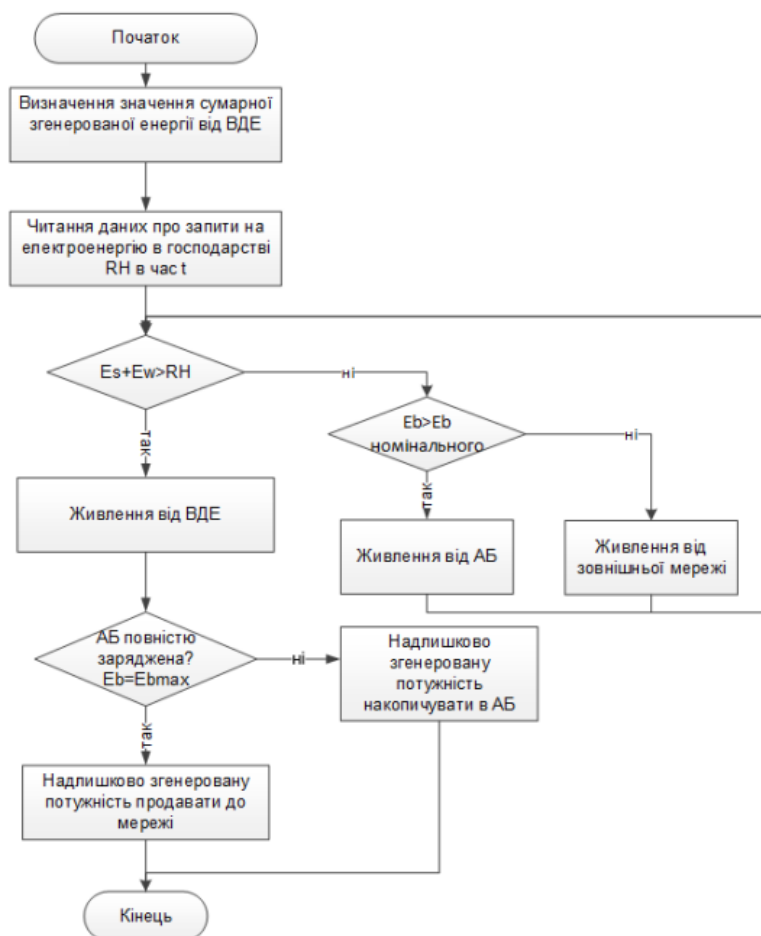
Рисунок Г.3 – Схема сонячної електростанції з резервним (безперебійним) живленням

Додаток Е
(довідниковий)
Схема проєкту сонячної електростанції для автономного забезпечення
«розумного» будинку (модель середовища Helios)

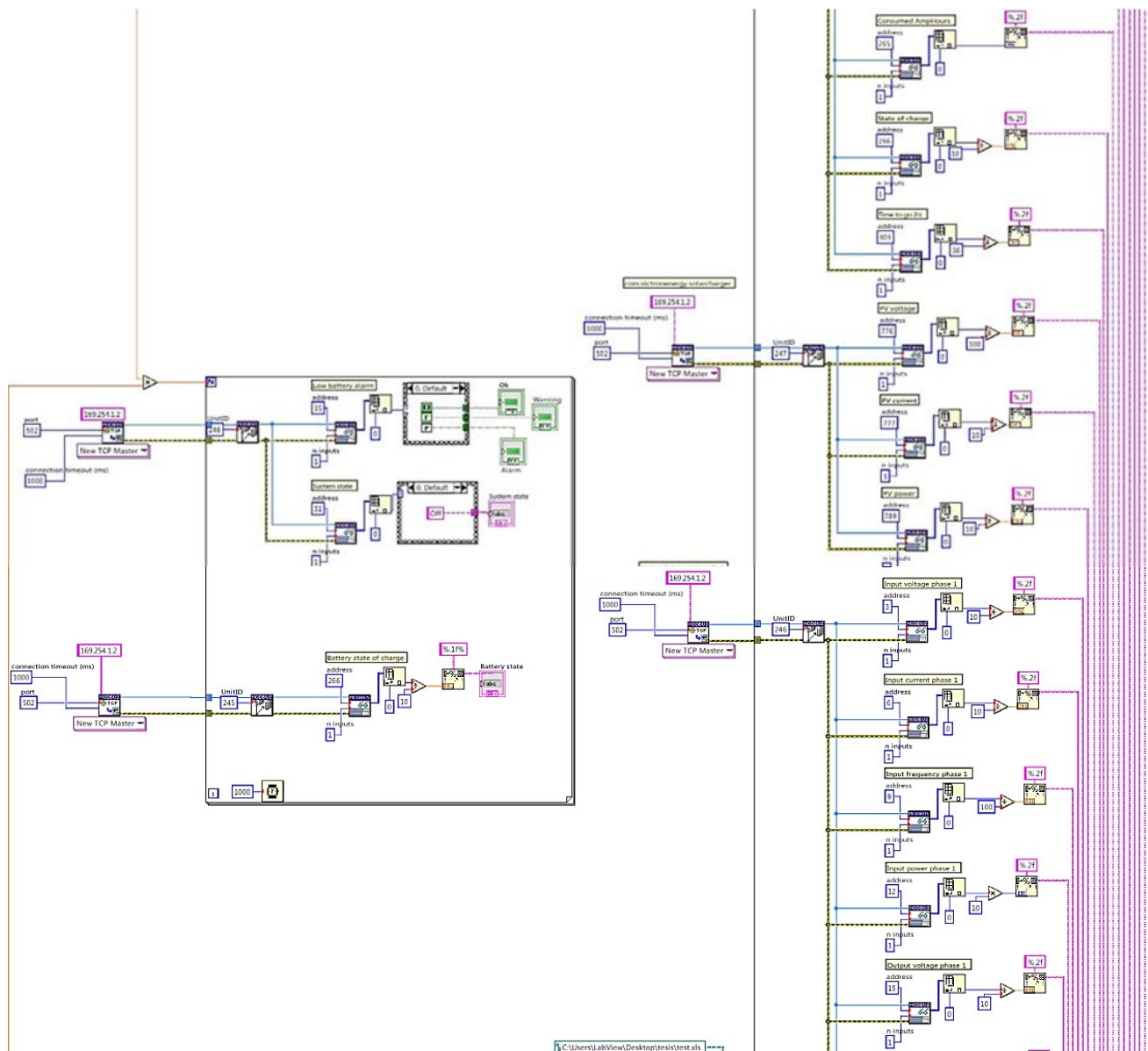


Додаток Ж (довідниковий)

Алгоритм керування «розумним» з різними джерелами живлення



Додаток 3 (довідниковий) Блок-схема в LabVIEW



Додаток І
(обов'язковий)
Ілюстративний матеріал
Практична реалізація системи

