МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ ІМЕНІ В. Н. КАРАЗІНА
НАВЧАЛЬНО-НАУКОВИЙ ІНСТИТУТ КОМП'ЮТЕРНОЇ ФІЗИКИ ТА ЕНЕРГЕТИКИ
Кафедра інформаційних технологій в фізико-енергетичних системах

ПОЯСНЮВАЛЬНА ЗАПИСКА

до дипломної роботи
за освітньо-кваліфікаційним рівнем магістр

«Розрахунок окупності використання сонячних панелей»

Виконала: студентка 2 курсу, групи НФ-63
Іванющенко В.В.
спеціальність:
105 Прикладна фізика та наноматеріали
освітня програма: Прикладна фізика
енергетичних систем
Керівник: к.т.н. Гарячевська І.В.

Рецензент:

Харків – 2019

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна

Навчально-науковий інститут комп'ютерної фізики та енергетики
Кафедра інформаційних технологій у фізико-енергетичних системах
Рівень вищої освіти (освітньо-кваліфікаційний рівень) магістр
Спеціальність 105 Прикладна фізика та наноматеріали

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ доц. Сухов Р.В.
підпис

"____"_____2019 року

З А В Д А Н Н Я
НА ДИПЛОМНУ РОБОТУ (ПРОЕКТ)

Іванющенко Вікторії Віталіївні

1. Тема роботи «Розрахунок окупності використання сонячних панелей»
керівник роботи: Гарячевська Ірина Василівна, кандидат технічних наук.
затверджені наказом по університету від "06" листопада 2019 року №0210-05/2127
2. Строк подання студентом роботи 25.11.2019
3. Перелік питань, які потрібно розробити:
1) Дослідити принцип роботи мережевих сонячних електростанцій;
2) Розглянути типові рішення по впровадженню мережевих сонячних електростанцій в приватних домоволодіннях;
3) Розглянути алгоритми роботи готових програмних продуктів для розрахунку окупності мережевих сонячних електростанцій та виявити їх суттєві недоліки;
4) Розробити архітектуру системи розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій;
5) Розробити інтерфейс програмного продукту та провести тестування розробленої системи.

4. План роботи

№ з/п	Назви етапів роботи
1	Вибір теми, узгодження, а також затвердження її на кафедрі
2	Робота над літературою та іншими джерелами
3	Затвердження теми на кафедрі
4	Написання вступу до роботи та першого розділу
5	Написання другого розділу
6	Написання третього розділу
7	Завершення написання дипломної роботи(висновки та література)
8	Подача науковому керівнику
9	Відгук, рецензія, підготовка до захисту
10	Попередній захист
11	Захист

5. Дата видачі завдання: 25.09.2019

Студент _____ **В.В. Іванющенко**
підпис

Керівник роботи _____ **І.В. Гарячевська**
підпис

РЕФЕРАТ

Іванющенко Вікторія Віталіївна. «Розрахунок окупності використання сонячних панелей».

Дипломна робота представлена на 49 сторінках; складається з вступу, 3 розділів та висновків; містить 24 рисунка, список використаних джерел з 18 найменувань.

Мета даної роботи – розробка системи розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій, яка призначена для розрахунку виробки сонячної електростанції, що встановлюється в приватних домоволодіннях на території України, а також термінів повернення інвестицій витрачених на її впровадження.

Об’єкт дослідження – система розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій.

Предмет дослідження – розробка системи розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій.

В даній роботі було досліджено принцип роботи мережевих сонячних електростанцій; проаналізовано нормативну і законодавчу база, що стосується функціонування мережевих сонячних електростанцій на території України; розглянуто типові рішення з впровадження мережевих сонячних електростанцій в приватних домоволодіннях; проаналізовано вартість електроенергії для населення, яке проживає в житлових будинках; вивчено механізм роботи «Зеленого тарифу»; вивчено алгоритми роботи готових програмних продуктів для розрахунку окупності мережевих сонячних електростанцій та виявлено їх суттєві недоліки; розроблено архітектуру програмного продукту; розроблено інтерфейс програмного продукту; проведено тестування програмного продукту.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: МЕРЕЖЕВА СОНЯЧНА ЕЛЕКТРОСТАНЦІЯ, «ЗЕЛЕНИЙ ТАРИФ», ВИРОБКА, ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ, ТЕРМІН ОКУПНОСТІ, КОМП’ЮТЕРНА ПРОГРАМА.

РЕФЕРАТ

Иванющенко Виктория Витальевна. «Расчет окупаемости использования солнечных панелей».

Дипломная работа представлена на 49 листах; состоит из введения, 3 глав и выводов; содержит 24 рисунка, список использованных источников из 18 наименований.

Цель данной работы – разработка системы расчета окупаемости внедрения сетевых солнечных электростанций, предназначенной для расчета выработки солнечной электростанции, которая устанавливается в частных домовладениях на территории Украины, а также сроков возврата инвестиций затраченных на ее внедрение.

Объект исследования – система расчета окупаемости внедрения сетевых солнечных электростанций.

Предмет исследования – разработка системы расчета окупаемости внедрения сетевых солнечных электростанций.

В данной работе было исследовано принцип работы сетевых солнечных электростанций; проанализировано нормативную и законодательную базы, касающиеся функционирования сетевых солнечных электростанций на территории Украины; рассмотрено типовые решения по внедрению сетевых солнечных электростанций в частных домовладениях; проанализировано стоимость электроэнергии для населения, проживающего в жилых домах; изучено механизм работы «Зеленого тарифа»; изучено алгоритмы работы готовых программных продуктов для расчета окупаемости сетевых солнечных электростанций и выявлены их существенные недостатки; разработано архитектуру программного продукта; разработано интерфейс программного продукта; проведено тестирование программного продукта.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: СЕТЕВАЯ СОЛНЕЧНАЯ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЯ, «ЗЕЛЁНЫЙ ТАРИФ», ВЫРАБОТКА, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ, СРОК ОКУПАЕМОСТИ, КОМПЬЮТЕРНАЯ ПРОГРАММА.

ABSTRACT

Ivaniushchenko Viktoriia. “Calculation of payback of solar panels using” The master thesis covers 49 pages, contains 24 pictures, the thesis is based on 18 literary sources.

Aim of the thesis: the aim of the master thesis is to develop a system for calculating the payback on the introduction of grid solar power plants, which is designed to calculate the production of solar power plants installed in private households in Ukraine, as well as the terms of the return on investment spent on its implementation.

The object of the master thesis is the process of developing a system for calculating the payback of the introduction of grid solar power plants The subject: the system for calculating the payback of the introduction of grid solar power plants.

In this paper, the principle of operation of network solar power plants was investigated; analyzed the regulatory and legislative framework relating to the operation of grid solar power plants in Ukraine; standard solutions for the introduction of grid solar power stations in private households are considered; analyzed the cost of electricity for the population living in residential buildings; studied the mechanism of the "Green Tariff"; the algorithms of the work of ready-made software products for calculating the payback of network solar power plants were studied and their significant shortcomings were identified; developed software product architecture; software product interface developed; software product testing.

KEYWORDS: GRID SOLAR POWER PLANT, “GREEN TARIFF”, GENERATION, ECONOMIC EFFICIENCY, PAYBACK PERIOD, COMPUTER PROGRAM.

ЗМІСТ

ВСТУП.....8
1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ.....11
1.2. Існуючі калькулятори.....12
2. ТЕОРЕТИЧНІ ДАНІ.....15
2.1. Сонячне випромінювання.....15
2.2. Модель Хея-Девіса.....28
2.3. Поглинуте сонячне випромінювання.....29
2.4. Розрахунок виробки мережевий сонячної електростанції.....30
2.5. Розрахунок окупності мережевої сонячної електростанції.....31
3. ОПИС ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ «КАЛЬКУЛЯТОР ОКУПНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ».....33
3.1. Функціональне призначення та алгоритм роботи.....33
3.2. Опис інтерфейсу системи.....34
3.3. Обговорення результатів розробки програмного продукту «Калькулятор окупності сонячної електростанції».....45
ВИСНОВКИ.....47
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....48

ВСТУП

Сонце – це єдина зірка, яка розташована в центрі нашої сонячної системи. Всі планети і Земля в тому числі, обертаються навколо Сонця. Сонячна енергія в формі сонячного випромінювання підтримує практично все життя на Землі за допомогою фотосинтезу і управляє кліматом і погодою Землі.

Сонячна енергія є основоположним чинником зародження і подальшого існування життя на Землі. За допомогою сонячної енергії здійснюються найголовніші процеси, що підтримують життя на Землі, такі як фотосинтез і кругообіг води в природі. Фотосинтез, мабуть, є найважливішим відомим біохімічним процесом, і від нього залежить практично все життя на Землі. В основному все викопне паливо в світі зобов'язане своєму існуванню сонячної енергії. Всі види викопного палива, такі як нафта, вугілля, природний газ і деревина спочатку були отримані за допомогою процесу фотосинтезу, який супроводжується складними хімічними реакціями, в результаті яких розкладається рослинність піддавалась впливу високих температур і тисків протягом тривалого періоду часу. Навіть такі природні явища як вітер і припливи з'явилися завдяки сонячній енергії, так як вони утворюються за рахунок перепаду температур в різних регіонах Землі.

У всі часи, Сонце визнавали рушійною силою будь-якого природного явища. З цієї причини багато хто з доісторичних племен вважали Сонце богом. У багатьох свитках, що збереглися з часів стародавнього Єгипту, говориться, що піраміда Хеопса, одне з найбільших інженерних творінь людства, була побудована як сходи до Сонця.

З доісторичних часів люди усвідомлювали, що розумне використання сонячної енергії є вигідним. Грецький письменник і історик Ксенофонт в своїх «Спогадах про Сократа» описує деякі вчення грецького філософа Сократа (470-399 до н.е.) щодо правильної орієнтації житла, що дозволяє зберегти влітку прохолоду в будинку і тепло взимку.

Найбільшою перевагою сонячної енергії в порівнянні з іншими видами енергії є її екологічна чистота і можливість її використання без забруднення навколишнього середовища. За минуле століття викопне паливо покрило більшу частину наших енергетичних потреб, оскільки воно є набагато дешевше енергії, отриманої з альтернативних джерел.

За підтвердженими даними світові запаси нафти становлять 1341 млрд. Барелів (2009 г.), світові запаси вугілля складають 948 000 млн. Тонн (2008 г.), а світові запаси природного газу - 178.3 трлн. м3 (2009 р.) Поточна видобуток нафти дорівнює 87.4 млн. Барелів на добу, вугілля - 21.9 млн. Тонн на добу, природного газу - 9.05 млрд. М3 на добу. Таким чином, основна проблема полягає в тому, що підтверджених запасів нафти і газу при нинішніх темпах споживання вистачить для задоволення попиту ще на 37 і 49 років відповідно, а світові запаси вугілля зникнуть протягом наступних 115 років.

Якщо спробувати поглянути на наслідки, які виникнуть через обмеженість запасів викопного палива, то зіткнемося з ситуацією, коли зростання цін на паливо буде прискорюватися в міру зменшення їх запасів. З огляду на те, що ціна на нафту утвердилася в якості лідера цін на всі види палива, можна зробити висновок, що ціни на енергоносії будуть зростати протягом наступних десятиліть. Крім того, буде наростати все більше занепокоєння через забруднення навколишнього середовища, викликаного спалюванням викопного палива.

Мета і завдання дослідження

Метою роботи є розробка програмного продукту «Калькулятор окупності сонячної електростанції», призначеного для розрахунку виробки сонячної електростанції, яка встановлюється в приватних домоволодіннях на території України, а також термінів повернення капіталовкладень витрачених на її впровадження.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

- вивчений принцип роботи мережевих сонячних електростанцій;

- проаналізовано нормативна і законодавча база, що стосується функціонування мережевих сонячних електростанцій;
- розглянуті типові рішення з впровадження мережевих сонячних електростанцій в приватних домоволодіннях;
- проаналізовано вартість електроенергії для населення, яке проживає в житлових будинках;
- вивчено механізм роботи «Зеленого тарифу»;
- вивчені алгоритми роботи готових програмних продуктів для розрахунку окупності мережевих сонячних електростанцій та виявлено їх суттєві недоліки;
- розроблена архітектура програмного продукту;
- розроблено інтерфейс програмного продукту;
- розроблено програмний продукт «Калькулятор окупності сонячної електростанції»;
- проведено тестування програмного продукту.

1. АНАЛІЗ ЛІТЕРАТУРНИХ ДАНИХ І ПОСТАНОВКА ПРОБЛЕМИ

З давніх-давен людство усвідомило, що розумне використання сонячної енергії може приносити користь суспільству. Незважаючи на це, тільки нещодавно, протягом останніх 40 років, сонячна енергія почала використовуватися в якості альтернативного джерела енергії, головним чином тому, що вона є безкоштовною і не завдає шкоди навколишньому середовищу. Сонячна енергія використовується для опалення та охолодження будинків, при нагріванні води для побутових і промислових потреб, для обігріву басейнів, в силових холодильниках, для роботи двигунів і насосів, при опрісненні води, для виробки електроенергії і т.д.

Якщо світова інфраструктура буде і далі розвиватися, то попит на електроенергію збільшиться, навіть якщо буде вжито всіх зусиль для підвищення ефективності використання електроенергії. В даний час прийнято вважати що технології, засновані на використанні поновлюваних джерел енергії, можуть задовольнити більшу частину зростаючого попиту на електроенергію за цінами рівними, або навіть менше, ніж ті, які зазвичай прогнозуються при використанні традиційної енергетики.

До середини XXI століття електроенергія вироблювана електростанціями, що працюють від альтернативних джерел енергії, може становити три п'ятих світового ринку електроенергії. З кожним днем все більша кількість людей відмовляється від використання традиційної енергетики на користь альтернативних джерел енергії. Більш ніж в 50 країнах розроблено та впроваджено механізм «Зеленого тарифу» для залучення інвестицій в технології використання поновлюваних джерел енергії. В основі «Зеленого тарифу» лежать три основні чинники: гарантія підключення до мережі, довгостроковий контракт на покупку всієї виробленої відновлюваної електроенергії, а також надбавка до вартості виробленої електроенергії. В Україні найбільшою ставкою «Зеленого тарифу» володіє електроенергія, вироблена з сонячного випромінювання [1], тобто та, яка виробляється

сонячними електростанціями. У зв'язку з чим, серед населення все більше зростає попит на установки приватних мережевих сонячних електростанцій.

Незважаючи на всі переваги альтернативних енерготехнологій, головним стримуючим фактором при переході на сонячні електростанції є їх ціна. Середня ринкова вартість мережевий сонячної електростанції становить 1 $ за 1 Вт встановленої потужності [2]. Спеціально для оцінки окупності сонячних електростанцій багатьма фірмами розробляються різні програмні продукти, що дозволяють розрахувати терміни повернення капіталовкладень від моменту встановлення сонячної електростанції. Однак, результати їх обчислень, носять приблизний характер, і в кращому випадку відрізняються від реальних даних на 15-20% [3-6].

Питання окупності впровадження приватних мережевих сонячних електростанцій, котрим присвячується означена стаття, представлені в роботах

1.2. Існуючі калькулятори

При виконанні даної дипломної роботи нами було розглянуто 2 калькулятори. Калькулятор фірми «Solar Sevice» та калькулятор фірми «Atmosfera».

1.2.1. Solar Service

На даному рис.1.1. представлений калькулятор фірми «Solar Service»

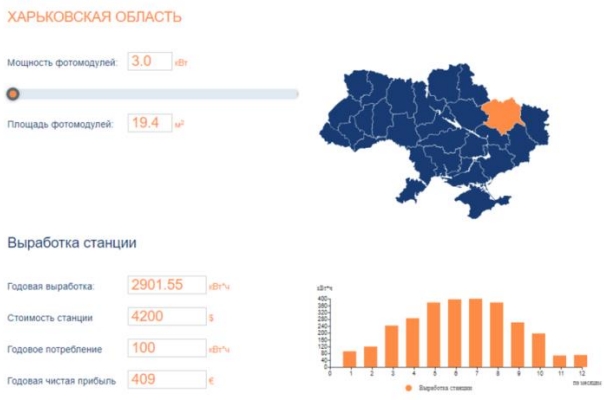


Рис.1.1. Калькулятор фірми «Solar Sevice»

Даний калькулятор дозволяє розрахувати:

– річну виробку;
– ціну станції;
– річне споживання;
– річний прибуток.

Для розрахунку виробки сонячної електростанції користувачу необхідно задати наступні параметри:

– область розташування приватного домоволодіння, в якому встановлено сонячну електростанцію;
– потужність фотомодулів;
– площа фотомодулів.

До недоліків даного калькулятора можна віднести:

– не враховується кут нахилу покрівлі;
– не розраховуються строки окупності сонячної електростанції;
– не враховується орієнтація розташування приватного будинку.

1.2.2. Atmosfera

На рис.1.2. представлений калькулятор фірми «Atmosfera»

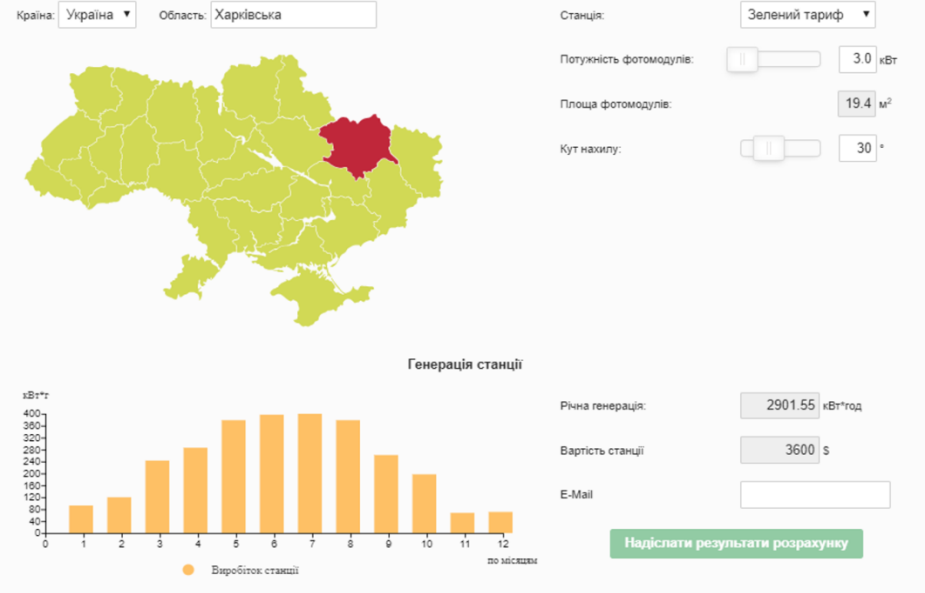


Рис.1.2. Калькулятор фірми «Atmosfera»

Даний калькулятор дозволяє розрахувати:

– річну генерацію;
– вартість станції.

Для розрахунку даних критеріїв користувачу потрібно надати наступні параметри:

– обрати область, в якій знаходиться приватне домоволодіння;
– потужність фотомодулів;
– площа фотомодулів;
– кут нахилу покрівлі.

Недоліком даного калькулятору є те, що він також не розраховує окупність сонячної електростанції, як і калькулятор фірми Solar Service, але в калькуляторі фірми «Atmosfera» враховується кут нахилу покрівлі, тому похибка отриманих результатів менша ніж у попереднього калькулятора.

2. ТЕОРЕТИЧНІ ДАНІ

2.1. Сонячне випромінювання

Земля отримує сонячну енергію у вигляді сонячного випромінювання. Це випромінювання складається з ультрафіолетового, видимого та інфрачервоного випромінювання. Кількість сонячного випромінювання, яке досягає будь-якого місця на Землі, залежить від кількох факторів, таких як географічне положення, час доби, пору року, площа місцевості і місцева погода. Оскільки Земля кругла, сонячні промені падають на поверхню Землі під різними кутами (від 0 ° до 90 °). Коли сонячні промені розташовані вертикально, поверхня Землі отримує максимально можливу енергію. Сонячне випромінювання, яке досягає поверхні Землі без розсіювання, називається прямим сонячним випромінюванням. Коли сонячне світло проходить через атмосферу, деяка його частина поглинається і розсіюється. Це випромінювання називається розсіяним сонячним випромінюванням. Частина сонячного світла відбивається від різних поверхонь. Таке випромінювання називається відбитим сонячним випромінюванням. Сума прямого, розсіяного і відбитого сонячного випромінювання називається загальним сонячним випромінюванням або глобальною сонячною радіацією (рис. 2.1.)

$$G_t = G_{Bt} + G_{Dt} + G_{Gt}\,. \qquad (2.1.)$$

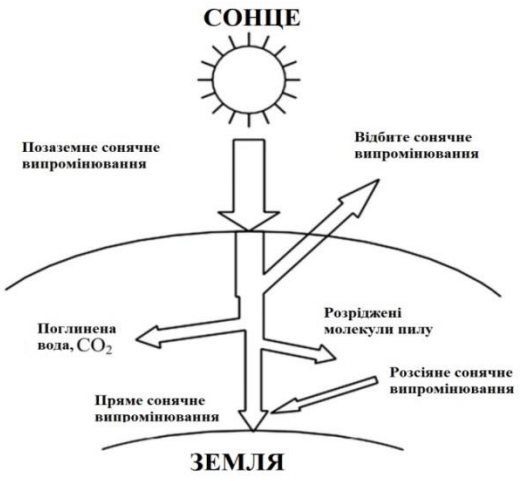


Рис. 2.1. Сонячне випромінювання

Для розрахунку поглиненого сонячного випромінювання поверхнею сонячної електростанції, і її правильної орієнтації щоб уникнути затінення сонячних панелей, необхідно знати траєкторію руху Сонця по небу. Для цього треба розрахувати справжній сонячний час, а також визначити сонячні кути.

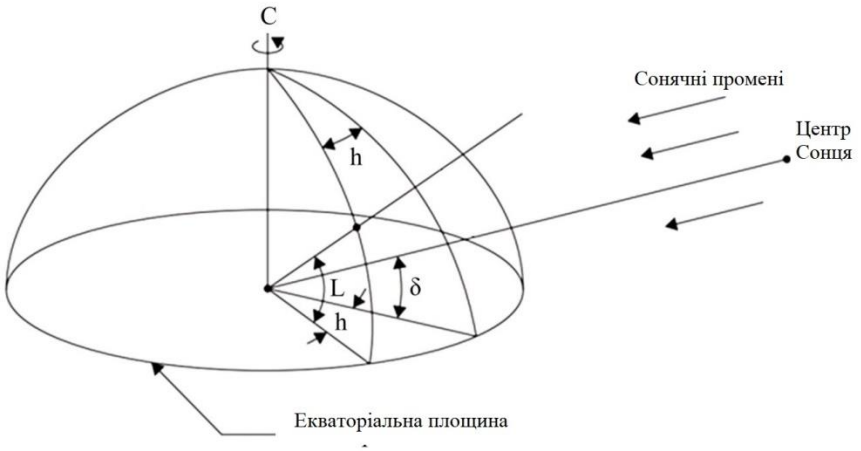


Рис. 2.2. Широта L, часовий кут h и сонячне схиляння δ

2.1.1. Схиляння

Схиляння δ – це кут, утворений лінією, що з'єднує центр Сонця і центр Землі з її проекцією на екваторіальну площину (рис. 2.2).

Схиляння коливається від $0°$ в день весняного рівнодення, і до $23.45°$ в день літнього сонцестояння; від $0°$ в день осіннього рівнодення і до $-23.45°$ в день зимового сонцестояння (рис. 2.3.).

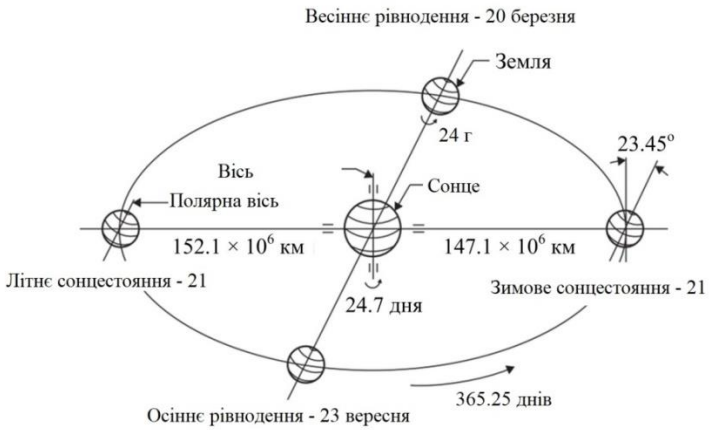


Рис. 2.3. Річний рух Землі навколо Сонця

Схилення розраховується за формулою [10]:

$$\delta = 23.45\sin\left(360\frac{284+N}{365}\right),$$

де N – номер дня у році $N \in [1, 365]$.

Схилення також можна обчислити в радіанах за формулою Спенсера [11]:

$$\delta = 0.006918 - 0.399912\cos(\Gamma) + 0.070257\sin(\Gamma) - 0.006758\cos(2\Gamma) + \\ +0.000907\sin(2\Gamma) - 0.002697\cos(3\Gamma) + 0.00148\sin(3\Gamma),$$

де $\Gamma = \frac{2\pi(N-1)}{365}$, N – номер дня у році.

2.1.2. Істинний сонячних час

Для розрахунку сонячної енергії має використовуватися істинний сонячне час AST. AST засноване на видимому кутовому русі Сонця по небу. Час, коли Сонце перетинає меридіан спостерігача - це місцевий сонячний полудень. Зазвичай істинний сонячне час не збігається з 12:00 годинами за місцевим часом. Для перетворення місцевого стандартного часу LST в AST застосовується дві поправки: рівняння часу ET і корекція довготи.

Через фактори, пов'язані з орбітою обертання Землі навколо Сонця, орбітальна швидкість Землі змінюється протягом року, тому AST незначно відрізняється від середнього часу, підтримуваного годинами, що працюють з однаковою швидкістю. Ця зміна описується рівнянням часу ET.

Рівняння часу виникає тому, що тривалість дня, тобто часу, необхідного Землі для здійснення одного обороту навколо своєї осі відносно Сонця, не є постійною протягом року.

Протягом року середня тривалість дня складає 24 години. Однак тривалість дня варіюється в залежності від ексцентриситету земної орбіти і нахилу земної осі від нормальної площини її орбіти. Через еліптичності орбіти Земля знаходиться ближче до Сонця 3 січня і знаходиться найдалі від Сонця 4 липня. Тому, з жовтня по березень, швидкість руху Землі по орбіті швидше,

ніж її середня швидкість протягом півроку, і з квітня по вересень, швидкість повільніше, ніж її середня швидкість за половину року.

Значення ЕТ як функції від дня року N може бути отримано з наступного рівняння [12]:

$$ET = 9.87\sin(2B) - 7.53\cos(B) - 1.5\sin(B),$$

$$\text{де } B = (N - 81)\frac{360}{364}$$

Істинний час відраховується від обраного меридіана поблизу центру часового поясу або від стандартного меридіана, за Гринвічем, який знаходиться на довготі.

Оскільки Сонцю потрібно 4 хвилини, щоб перетнути довготи, то член корекції довготи дорівнює, і повинен бути доданий або віднятий від стандартного часового часу населеного пункту.

Ця поправка є постійною для конкретної довготи. При виборі знаку потрібно дотримуватися такого правила. Якщо місце розташування знаходиться на сході від стандартного меридіана, за Гринвічем, поправка додається до вартового часу. Якщо місце розташування розташовується на заході від стандартного меридіана - вона віднімається. Тоді рівняння для розрахунку AST запишеться наступним чином::

$$AST = LST + ET \pm 4(SL - LL) - DS,$$

де LST – місцевий стандартний час, ET – рівняння часу, SL – стандартна догота, LL – місцева довгота, DS – літній час (0 або 60 хвилин).

2.1.3. Часовий кут

Часовий кут h – це кут, на який потрібно повернути Землю, щоб площина меридіана виявилася прямо під Сонцем (див. Рис. 2).

Так як 24 годинам в добі відповідає кут в, отже кожній годині відповідає кут в. Часовий кут обчислюється за формулою:

$$h = 15(AST - 12),$$

де AST – істинний сонячний час.

2.1.4. Кут піднесення, зенітний кут і азимутальний кут Сонця

Кут піднесення α – це кут між падаючим сонячним променем і проекцією сонячного променя на горизонтальну площину.

Зенітний кут Ф – це кут між падаючим сонячним променем і перпендикулярною лінією до горизонтальної площини.

Кут піднесення і зенітний кут пов'язані наступним співвідношенням:

$$\Phi + \alpha = \frac{\pi}{2} = 90°.$$

Кут піднесення обчислюється за формулою [13]:

$$\sin(\alpha) = \cos(\Phi) = \sin(L)\sin(\delta) + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h),$$

де L – місцева широта, що визначається як кут, утворений радіальної лінією, що з'єднує місце розташування центру Землі з проекцією лінії на екваторіальну площину (см. Рис. 2.2).

Широта відраховується від 0 ° до 90 ° в обидві сторони від екватора. Географічну широту точок, що лежать в північній півкулі, (північну широту) прийнято вважати позитивною, широту точок в південній півкулі - негативною: $-90° \le L \le 90°$.

Азимутальний кут Сонця Z – це кут між лінією, що проходить через південь, і проекцією сонячних променів на горизонтальну площину.

Азимутальний кут Сонця розраховується з наступного співвідношення [14]:

$$\sin(Z) = \frac{\cos(\delta)\sin(h)}{\cos(\alpha)}.$$

На рис. 2.4. Представлені кут піднесення α, зенітний кут Ф та азимутальний кут Сонця Z.

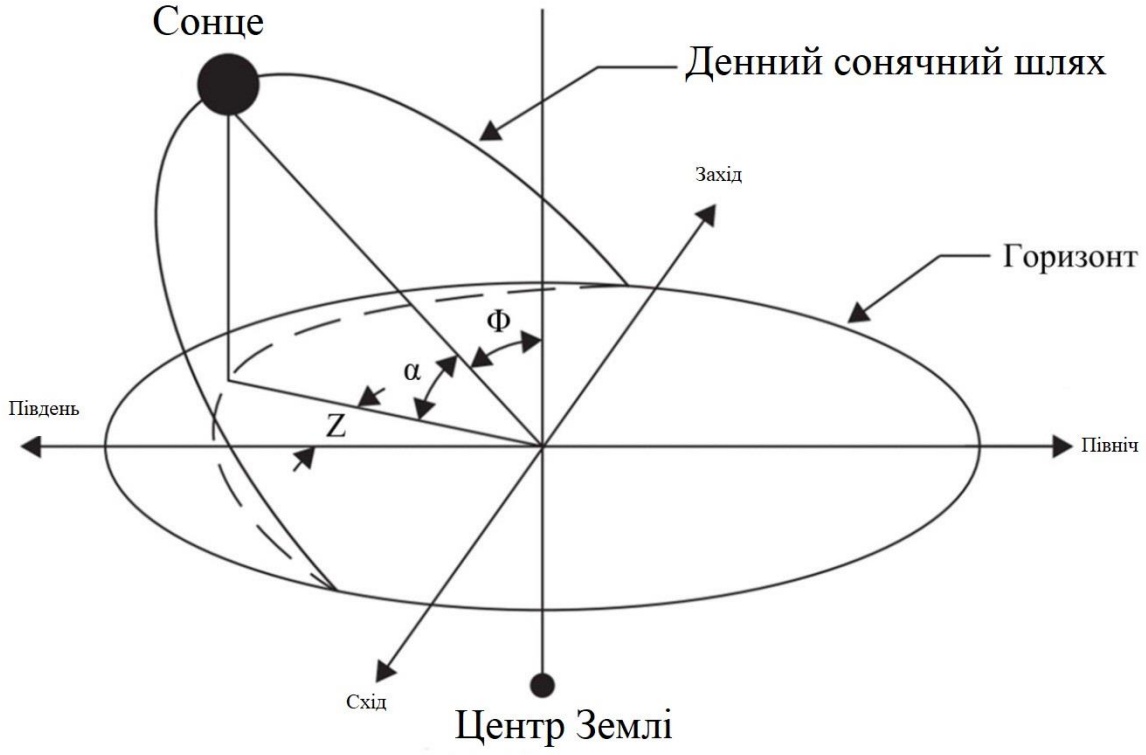


Рис. 2.4. Кут піднесення α, зенітний кут Φ та азимутальний кут Сонця Z

2.1.5.Час сходу і заходу Сонця, тривалість дня

Для розрахунку сонячного випромінювання падаючого на поверхню землі протягом дня, необхідно точно розрахувати час сходу і заходу Сонця. Кажуть, що Сонце піднімається і сідає, коли кут піднесення Сонця дорівнює нулю. Часовий кут на заході h_{SS} можна знайти з рівняння

$$\sin(\alpha)=\cos(\Phi)=\sin(L)\sin(\delta)+\cos(L)\cos(\delta)\cos(h),$$

вирішивши його відносно змінної h, при $\alpha=0°$:

$$\sin(\alpha)=\sin(0)=0=\sin(L)\sin(\delta)+\cos(L)\cos(\delta)\cos(h_{SS}).$$

Звідси

$$\cos(h_{SS})=-\frac{\sin(L)\sin(\delta)}{\cos(L)\cos(\delta)}=-\tan(L)\tan(\delta),$$

де h_{SS} є позитивним на заході.

Оскільки часовий кут в місцевий сонячний полудень дорівнює 0°, а кожні 15° довготи дорівнюють 1 години, то час сходу H_{SR} і заходу Сонця H_{SS} щодо часу місцевого сонячного півдня дорівнює:

$$H_{SS} = -H_{SR} = \frac{1}{15}\cos^{-1}\left[-\tan(L)\tan(\delta)\right].$$

Тривалість дня вдвічі більше часу заходу Сонця, оскільки сонячний полудень знаходиться в середині тимчасового інтервалу між сходом і заходом. Отже, тривалість дня в годинах дорівнює:

$$\text{Day Length} = \frac{2}{15}\cos^{-1}\left[-\tan(L)\tan(\delta)\right].$$

2.1.6. Кут падіння

Кут падіння θ – це кут між сонячними променями і нормаллю до поверхні. кут падіння θ и зенітний кут Ф для горизонтальної поверхні співпадають.

У загальному випадку кут падіння обчислюється таким чином [14]:

$$\begin{aligned}\cos(\theta) = {} & \sin(L)\sin(\delta)\cos(\beta) - \cos(L)\sin(\delta)\sin(\beta)\cos(Z_S) + \\ & + \cos(L)\cos(\delta)\cos(h)\cos(\beta) + \sin(L)\cos(\delta)\cos(h)\sin(\beta)\cos(Z_S) + \\ & + \cos(\delta)\sin(h)\sin(\beta)\sin(Z_S),\end{aligned}$$

де β – кут нахилу поверхні від горизонтального напрямку, Z_S – азимутальний кут поверхні - кут між проекцією нормалі до похилой поверхні на горизонтальну площину і півднем.

На рис.2.5. представлений відлік сонячних кутів щодо похилой поверхні.

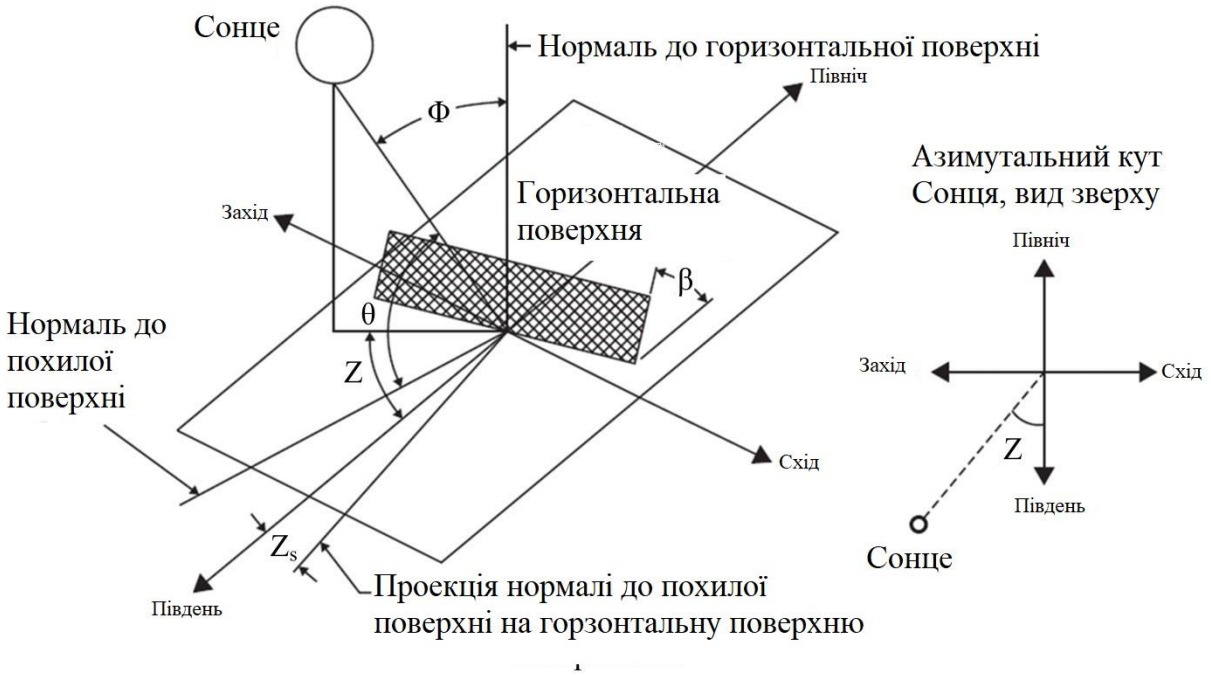


Рис. 2.5. Відлік сонячних кутів: Z – азимутальний кут Сонця, θ – кут падіння, Z_S – азимутальний кут поверхні, Ф – зенітний кут, β –кут нахилу поверхні від горизонтального напряму.

2.1.7. Позаземне сонячне випромінювання

Кількість сонячного випромінювання на середній відстані Землі від Сонця, що падає на одиницю площі поверхні, орієнтованої перпендикулярно напрямку поширення випромінювання, за одиницю часу, поза земною атмосферою називається сонячною сталою

$$G_{SC} = 1366.1 \text{ Вт/м}^2.$$

Коли Сонце знаходиться найближче до Землі (3 січня), сонячне випромінювання на зовнішній межі земної атмосфери становить близько 1400 Вт / м2; і коли Сонце знаходиться найдалі (4 липня), ця величина становить близько 1330 Вт / м2.

Позаземне випромінювання, падаюче на поверхню перпендикулярну напрямку поширення випромінювання в N-й день року, варіюється між цими межами і може бути розрахована за наступною формулою [14]:

$$G_{ON} = G_{SC}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{360N}{365}\right)\right].$$

Якщо поверхня розташовується паралельно землі, то швидкість сонячного випромінювання, що падає на позаземну горизонтальну поверхню в N-й день року, визначається як:

$$G_{OH} = G_{ON}\cos(\Phi) =$$
$$= G_{SC}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{360N}{365}\right)\right]\left[\cos(L)\cos(\delta)\cos(h) + \sin(L)\sin(\delta)\right].$$

Загальна кількість випромінювання, що падає на позаземну горизонтальну поверхню протягом дня, може бути отримано шляхом інтегрування рівняння (17). Провівши інтегрування, маємо:

$$H_O = \frac{24\times 3600 G_{SC}}{\pi}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{360N}{365}\right)\right]\times$$
$$\times\left[\cos(L)\cos(\delta)\sin(h_{SS}) + \left(\frac{\pi h_{SS}}{180}\right)\sin(L)\sin(\delta)\right].$$

де h_{SS} – час заходу в градусах.

Для розрахунку кількості випромінювання, що падає на позаземну горизонтальну поверхню протягом певного часу, використовується наступне рівняння:

$$I_O = \frac{12\times 3600 G_{SC}}{\pi}\left[1 + 0.033\cos\left(\frac{360N}{365}\right)\right]\times$$
$$\times\left\{\cos(L)\cos(\delta)\left[\sin(h_2) - \sin(h_1)\right] + \left(\frac{\pi(h_2 - h_1)}{180}\right)\sin(L)\sin(\delta)\right\}.$$

Змінні h_1 и h_2 визначають часовий інтервал, протягом якого розраховується енергія падаючого випромінювання.

2.1.8. Атмосферне ослаблення сонячного випромінювання

Сонячне випромінювання, що досягає земної поверхні, знижується нижче значення , тому що велика його частина розсіюється, відбивається назад в космос і поглинається атмосферою. В результаті взаємодії атмосфери з

сонячним випромінюванням, частина променів розсіюється. Частина цього розсіяного випромінювання досягає поверхні землі. Це випромінювання називається розсіяним випромінюванням. Сонячне випромінювання, яке проходить безпосередньо через атмосферу, називається прямим випромінюванням. Інсоляція, отримана земною поверхнею, є сумою розсіяного випромінювання і нормальної складової прямого випромінювання. Сонячне випромінювання в будь-якій точці Землі залежить від:

1. Товщина озонового шару;
2. Відстані, пройдена випромінюванням через атмосферу до цієї точки;
3. Кількості туману в повітрі;
4. Ступені хмарності.

Земля оточена атмосферою, яка містить різні газоподібні компоненти, зважений пил, різні дрібні частинки і хмари різних типів. Коли сонячне випромінювання проходить через земну атмосферу, дуже короткі хвилі, такі як рентгенівські промені і гамма-промені, поглинаються в іоносфері на надзвичайно великій висоті. Тому кількість сонячного випромінювання, що проходить атмосферу, знижується в міру наближення до земної поверхні. Вважається, що зменшення інтенсивності випромінювання зі збільшенням зенітного кута Сонця прямопропорційно збільшенню повітряної маси. Ступінь ослаблення сонячного випромінювання, що проходить через земну атмосферу, залежить від довжини шляху і характеристик пройденого середовища. При розрахунках сонячного випромінювання одна стандартна повітряна маса m визначається як довжина шляху пройденого сонячним випромінюванням, до того як воно досягне рівня моря, коли Сонце знаходиться в зеніті (рис. 2.6.).

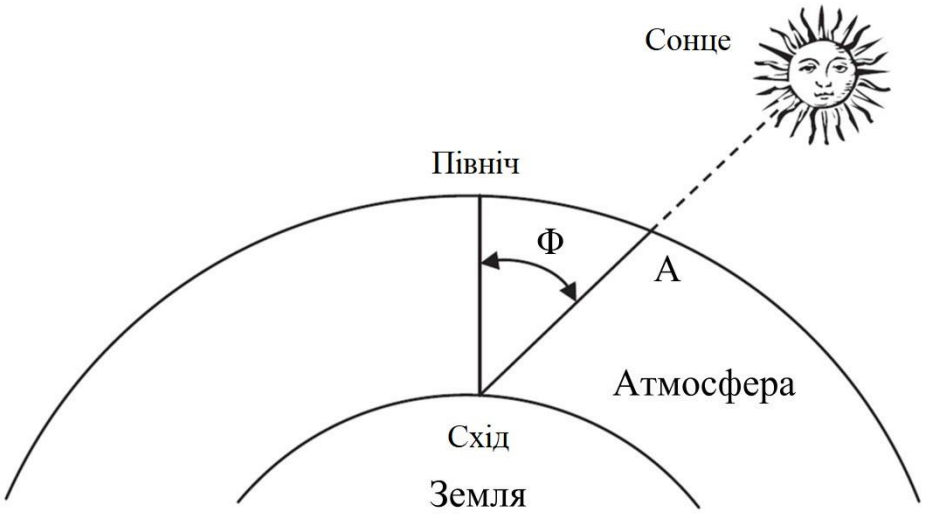


Рис. 2.6. Визначення повітряної маси, Φ – зенітний кут.

Повітряна маса пов’язана з зенітним кутом без урахування викривлення землі наступним співвідношенням [14]:

$$m = \frac{AB}{BC} = \frac{1}{\cos(\Phi)}$$

Або з урахуванням викривлення

$$m = \frac{1}{\cos(\Phi) + 0.5050(96.08 - \Phi)^{-1.634}}.$$

2.1.9. Випромінювання, що падає на похилу поверхню

Зазвичай сонячні панелі встановлюються не горизонтально, а під кутом, щоб збільшити кількість падаючого випромінювання і зменшити втрати при відображенні. Тому при проектуванні сонячних електростанцій потрібні дані про сонячне випромінювання, яке падає на похилу поверхню. Однак, дані про кількість сонячного випромінювання виміряного безпосередньо приладами, в основному доступні або для нормального падіння сонячних променів на поверхню, або для горизонтальних поверхонь. Отже, для розрахунку виробки сонячних електростанцій, необхідно знайти випромінювання, падаюче на похилу поверхню.

Кількість інсоляції на поверхні Землі в конкретній точці протягом заданого часу залежить від орієнтації і нахилу поверхні.

З рис. 2.7., б видно, що пряме випромінювання, падаюче на похилу поверхню G_{Bt}, обчислюється за формулою:

$$G_{Bt} = G_{Bn}\cos(\theta).$$

Випромінювання, яке падає на горизонтальну поверхню G_B, розраховується наступним чином (рис. 2.7., *а*):

$$G_B = G_{Bn}\cos(\Phi).$$

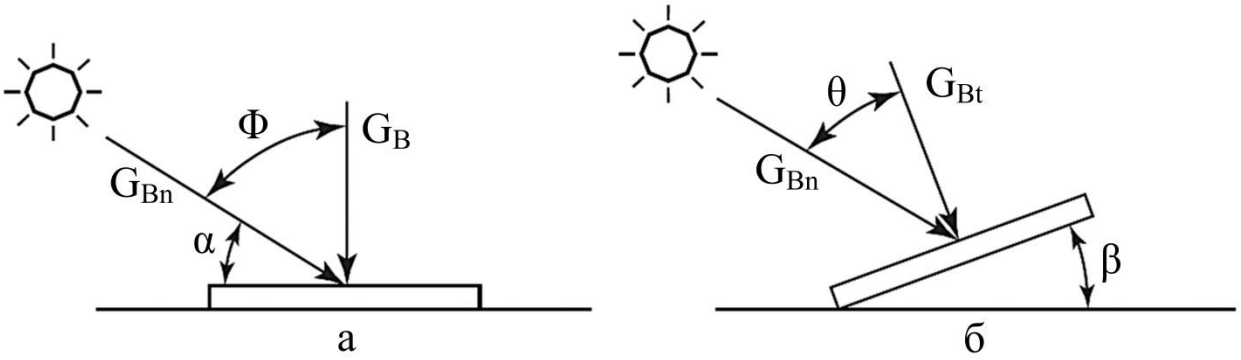


Рис. 2.7. *а* – випромінювання, яке падає на горизонтальну поверхню G_B; *б* – випромінювання, яке падає на похилу поверхню G_{Bt}. Ф – зенітний кут, α – кут піднесення, θ – кут падіння, β –кут нахилу поверхні від горизонтального напрямку.

Коефіцієнт нахилу випромінювання R_B знаходиться зі співвідношення:

$$R_B = \frac{G_{Bt}}{G_B} = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\Phi)}.$$

Таким чином, випромінювання, що падає на похилу поверхню, обчислюється за формулою:

$$G_{Bt} = G_B R_B. \qquad (2.2)$$

Для нерухомої похилої поверхні з кутом нахилу β, зверненої на південь, коефіцієнт нахилу випромінювання запишеться у вигляді:

$$R_B = \frac{\cos(\theta)}{\cos(\Phi)} = \frac{\sin(L-\beta)\sin(\delta)+\cos(L-\beta)\cos(\delta)\cos(h)}{\sin(L)\sin(\delta)+\cos(L)\cos(\delta)\cos(h)}.$$

2.1.10. Ізотропна модель неба

Багато моделей дозволяють розрахувати сонячне випромінювання, падаюче на похилу поверхню. Одна з таких моделей - це ізотропна модель неба, спочатку розроблена Hottel та Woertz у 1942 році [15], та вдосконалена Liu та Jordan у 1960 році [16]. Відповідно до цієї моделі випромінювання розраховується наступним чином:

Розсіяне випромінювання, яке падає на горизонтальну поверхню, визначається так:

$$G_D = 2\int_0^{\pi/2} G_R \cos(\Phi)\,\mathrm{d}\Phi = 2G_R,$$

де G_R – розсіяне небесне сяйво.

Розсіяне випромінювання, яке падає на похилу поверхню розраховується за формулою:

$$G_{Dt} = \int_0^{\frac{\pi}{2}-\beta} G_R \cos(\Phi)\,\mathrm{d}\Phi + \int_0^{\pi/2} G_R \cos(\Phi)\,\mathrm{d}\Phi,$$

де β – кут відхилення поверхні від горизонтального напрямку.

Так як

$$G_R = \frac{G_D}{2},$$

то

$$G_{Dt} = \frac{G_D}{2}\int_0^{\frac{\pi}{2}-\beta} \cos(\Phi)\,\mathrm{d}\Phi + \frac{G_D}{2} = \frac{G_D}{2}\left[\sin\left(\frac{\pi}{2}-\beta\right)\right] + \frac{G_D}{2} = G_D\left[\frac{1+\cos(\beta)}{2}\right]. \quad (2.3)$$

Аналогічним чином розраховується відбите від землі випромінювання $\rho_G(G_B+G_D)$, де ρ_G це альбедо земної поверхні - відношення відбитого випромінювання до сумарного сонячного випромінювання.

Відбите випромінювання від земної горизонтальної поверхні дорівнює

$$\rho_G\left(G_B+G_D\right)=2\int_0^{\pi/2}G_r\cos(\Phi)\,\mathrm{d}\Phi=2G_r,$$

де G_r – відбите від землі сяйво.

Відбите випромінювання від земної похилої поверхні обчислюється за формулою:

$$G_{Gt}=\int_{\frac{\pi}{2}-\beta}^{\pi/2}G_r\cos(\Phi)\,\mathrm{d}\Phi=\rho_G\left(G_B+G_D\right)\left[\frac{1-\cos(\beta)}{2}\right]. \tag{2.4}$$

Підставляючи рівняння (2.25), (2.30) та (2.32) в рівняння (2.1), отримаємо вираз для загального випромінювання G_t:

$$G_t=R_BG_B+G_D\left[\frac{1+\cos(\beta)}{2}\right]+\rho_G\left(G_B+G_D\right)\left[\frac{1-\cos(\beta)}{2}\right].$$

Загальне випромінювання, яке падає на горизонтальну поверхню G, є сумою горизонтального і розсіяного випромінювання:

$$G=G_B+G_D. \tag{2.5}$$

Тоді, з урахуванням рівняння (2.34), загальний коефіцієнт нахилу випромінювання дорівнює:

$$R=\frac{G_t}{G}=\frac{G_B}{G}R_B+\frac{G_D}{G}\left[\frac{1+\cos(\beta)}{2}\right]+\rho_G\left[\frac{1-\cos(\beta)}{2}\right]$$

2.2. Модель Хея-Девіса

В моделі Хея-Девіса розсіяне випромінювання неба складається з ізотропного і позаземного випромінювання. коефіцієнт анізотропії A є коефіцієнт пропускання через атмосферу прямого випромінювання, і обчислюється з наступного співвідношення [17]:

$$A=\frac{G_{Bn}}{G_{ON}}.$$

Коефіцієнт анізотропії використовується для кількісної оцінки частини розсіяного випромінювання, що розглядається як позаземне, а інша частина розсіяного випромінювання вважається ізотропною.

Загальне випромінювання в моделі Хея-Девіса розраховується за формулою:

$$G_t = \left(G_B + G_D A\right) R_B + G_D \left(1 - A\right) \left[\frac{1 + \cos\left(\beta\right)}{2}\right] + \rho \left(G_B + G_D\right) \left[\frac{1 - \cos\left(\beta\right)}{2}\right],$$

де ρ – відбивна здатність.

2.3. Поглинуте сонячне випромінювання

Основним фактором, що впливає на виробку сонячної електростанції, є загальне сонячне випромінювання S, поглинене поверхнею сонячної електростанції. Загальне сонячне випромінювання залежить від значень падаючого випромінювання Gt, повітряної маси m і кута падіння. Для знаходження поглиненого сонячного випромінювання, необхідно використовувати дані про сонячне випромінювання, яке падає на горизонтальну поверхню і інформацію про кут падіння. Поглинене сонячне випромінювання складається з прямого, розсіяного і відбитого сонячного випромінювання. В рамках моделі Хея-Девіса, поглинене загальне сонячне випромінювання S можна розрахувати за формулою:

$$S = m\left\{\left(G_B \left(\tau\alpha\right)_B + G_D \left(\tau\alpha\right)_D A\right) R_B + \right.$$
$$\left. + G_D \left(\tau\alpha\right)_D \left(1 - A\right) \left[\frac{1 + \cos\left(\beta\right)}{2}\right] + \rho G \left(\tau\alpha\right)_G \left[\frac{1 - \cos\left(\beta\right)}{2}\right]\right\},$$

де $\left(\tau\alpha\right)_B$ – коефіцієнт пропускання-поглинання для прямого випромінювання, $\left(\tau\alpha\right)_D$ – коефіцієнт пропускання-поглинання для розсіяного випромінювання, $\left(\tau\alpha\right)_G$ – коефіцієнт пропускання-поглинання для відбитого від землі випромінювання.

2.4. Розрахунок виробки мережевий сонячної електростанції

Сумарна номінальна потужність сонячної електростанції W_{TOTAL}:

$$W_{TOTAL} = NW_{CELL},$$

де N – загальне число сонячних панелей, W_{CELL} – номінальна потужність однієї панелі.

Добова виробка сонячної електростанції розраховується за формулою:

$$P_{DAY} = \frac{S\,K_{LOSS}}{I}\left[\left(\frac{K_P}{100}W_{TOTAL}\right)\left(T_C - 25\right) + W_{TOTAL}\right],$$

де $K_P\left[\frac{\%}{C°}\right]$ – температурний коефіцієнт потужності, K_{LOSS} – коефіцієнт, враховує втрати сонячної панелі при перетворенні і передачі електроенергії, - інтенсивність сонячного випромінювання, при якій тестуються сонячні панелі (умови STC) $1000\frac{\text{Вт}}{\text{м}^2}$, T_C – температура фотоелементів.

Продуктивність сонячної електростанції залежить від температури фотоелементів. Ця температура може бути визначена за допомогою рівняння балансу енергії і з урахуванням того, що поглинена сонячна енергія поверхнею сонячних панелей, що не перетвориться в електрику, перетворюється в тепло, яке розсіюється в навколишнє середовище. Як правило, при підвищенні температури фотоелементів, ефективність сонячної електростанції знижується.

Емпірична формула, яка може бути використана для розрахунку температури фотоелементів сонячної електростанції яка складаються з полікристалічного кремнію, була представлена Lasnier і Ang в 1990 році [18]:

$$T_C = 30 + 0.0175\left(G_t - 300\right) + 1.14\left(T_A - 25\right),$$

де T_A – температура навколишнього середовища.

Місячна виробка сонячної електростанції P_{MONTH}:

$$P_{MONTH} = \sum_{i=1}^{M} P_{DAY\,i},$$

де M – кількість днів у місяці.

Середньодобова виробка сонячної електростанції $\bar{P}_{DAY}$:

$$\bar{P}_{DAY} = \frac{P_{MONTH}}{M},$$

де M – кількість днів у місяці.

Річна виробка сонячної електростанції P_{YEAR}:

$$P_{YEAR} = \sum_{i=1}^{12} P_{MONTH\,i}.$$

2.5. Розрахунок окупності мережевої сонячної електростанції

Середня ринкова вартість мережевий сонячної електростанції становить 1 $ за 1 Вт встановленої потужності.

Річні витрати споживача на електроенергію розраховуються за формулою:

$$C_{YEAR}^{n} = P_{USER}\left(C_{YEAR}^{n-1} + \frac{K_{IN}}{100} C_{YEAR}^{n-1}\right), \quad 1 \le n \le 20,$$

де P_{USER} – кількість електроенергії, яка споживається за рік (кВт*год), C_{YEAR}^{0} – поточна ціна за 1 кВт*год електроенергії, C_{YEAR}^{n} – ціна за 1 кВт*год електроенергії на n-му році, K_{IN} – річний ріст цін на електроенергію, n – номер року.

Річний тариф по Зеленому тарифу C_{YGT} дорівнює:

$$C_{YFT} = \begin{cases} \left(P_{YEAR} - P_{USER}\right) C_{FT}, \text{ якщо } P_{YEAR} > P_{USER} \\ 0, \text{ інакше} \end{cases},$$

де C_{FT} – ціна по Зеленому тарифу за 1 кВт*год.

Окупність сонячної електростанції на n-му році PB^{n}:

$$PB^{n} = \begin{cases} -C_{SOLAR} + C_{YEAR}^{n} + C_{YFT}, \text{ якщо } n = 1 \\ PB^{n-1} + C_{YEAR}^{n} + C_{YFT}, \text{ інакше} \end{cases}, \quad 1 \le n \le 20$$

Номер року, на якому мережева сонячна електростанція повністю окупить інвестиції витрачені на її будівництво *PY*, розраховується за формулою:

$$PY = \begin{cases} \min\limits_{n}\{p\}, \text{ якщо } \exists\, p \in \left\{ PB^n \middle| PB^n \geq 0 \right\}_{n=1}^{20} \\ 0, \text{ інакше} \end{cases}$$

Загальний дохід від сонячної електростанції протягом двадцяти років з урахуванням економії на оплаті електроенергії PB_{TOTAL}:

$$PB_{TOTAL} = \begin{cases} \sum\limits_{n=PY}^{20} \left(C_{YEAR}^{n} + C_{YFT} \right), \text{ якщо } 1 \leq PY \leq 20 \\ 0, \text{ інакше} \end{cases}$$

3. ОПИС ПРОГРАМНОГО ПРОДУКТУ «КАЛЬКУЛЯТОР ОКУПНОСТІ СОНЯЧНОЇ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЇ»

3.1. Функціональне призначення та алгоритм роботи

Комп'ютерна програма «Калькулятор окупності сонячної електростанції» призначена для розрахунку виробки сонячної електростанції, яка встановлюється в приватних домоволодіннях на території України, а також термінів повернення капіталовкладень витрачених на її впровадження.

При розрахунку виробки сонячної електростанції враховуються такі параметри як пряме, розсіяне і відбите сонячне випромінювання з урахуванням атмосферного ослаблення, кут нахилу покрівлі та її орієнтація, температура фотоелементів, температурний коефіцієнт потужності сонячних панелей, а також коефіцієнт, що враховує втрати сонячної панелі при перетворенні і передачі електроенергії .

При розрахунку економічної складової, системою враховується річне споживання електроенергії, поточна ціна на електроенергію, ціна за «Зеленим тарифом», а також річне зростання цін на електроенергію.

На підставі отриманих даних система обчислює місячну, середньодобову і річну виробку мережевий сонячної електростанції, розраховує відносну вартість мережевої сонячної електростанції, будує прогноз витрат споживача на електроенергію протягом наступних двадцяти років, а також обчислює річний дохід за «Зеленим тарифом». Завершальним етапом роботи системи, є розрахунок періоду окупності впровадження мережевої сонячної електростанції з точністю до року.

Місячна і середньодобова виробка мережевої сонячної електростанції, прогноз витрат споживача на електроенергію протягом двадцяти років, а також окупність мережевий сонячної електростанції відображаються в системі у вигляді відповідних графіків і діаграм.

Загальна блок-схема алгоритму роботи «калькулятор окупності сонячної електростанції» представлена на рис. 3.1.

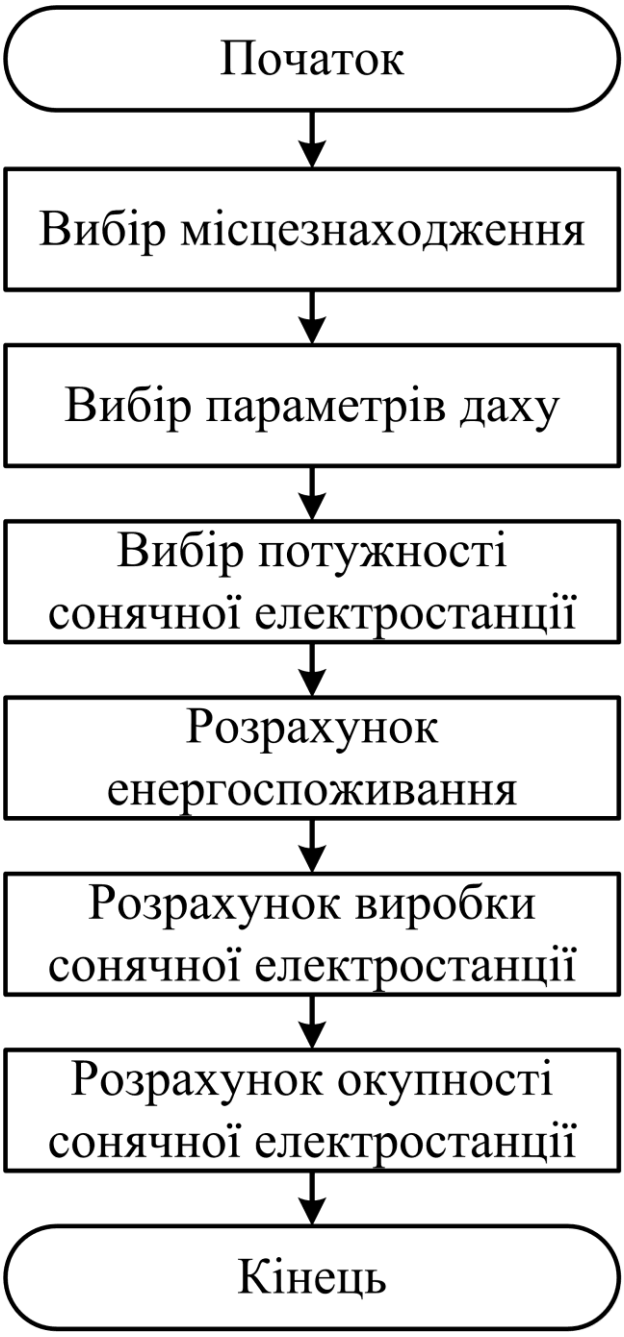


Рис. 3.1. Загальна блок-схема алгоритму роботи «калькулятор окупності сонячної електростанції»

3.2. Опис інтерфейсу системи

У момент запуску «калькулятора окупності сонячної електростанції», перед користувачем з'являється стартова заставка, зображена на рис.3.2., яка свідчить про запуск програми



Рис. 3.2. Стартова заставка

Після зникнення стартової заставки, на екрані з’являється головне вікно програми (рис. 3.3.).

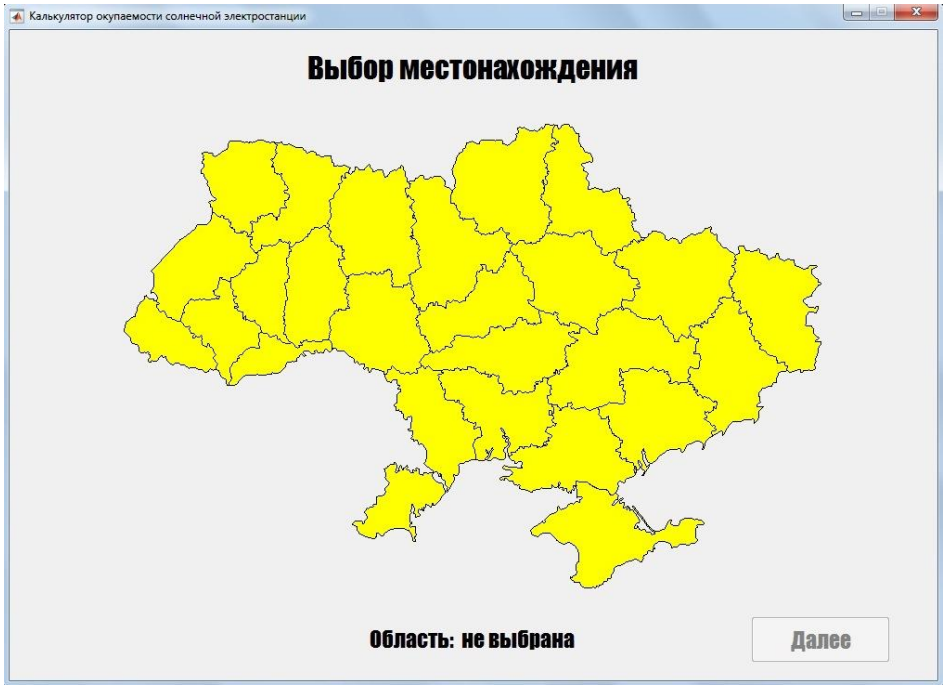


Рис. 3.3. Головне вікно програми

Комп'ютерна програма «Калькулятор окупності сонячної електростанції» складається з 6 різних вкладок, розташованих послідовно. Перейти від однієї вкладки здійснюється за допомогою натискання кнопок «Далее» і «Назад», розташованих в нижній частині робочої області програми (див. Рис. 3.1.).

Інтерфейс вкладки «Вибор местонахождения» представлено на рис. 3.1 Дана вкладка відповідає за вибір області, в якій буде розміщуватися сонячна електростанція. Як видно з Рис.3.1. , кнопка «Далее» є неактивною. Для її активації необхідно вибрати область на карті України. Для цього слід підвести курсор миші на бажану область, і клікнути лівою кнопкою миші. Після цього, обрана область забарвиться в синій колір, її назва відобразиться під картою України, і активується кнопка «Далее» для переходу на наступну вкладку (рис. 3.4.)Після натискання кнопки «Далее» перед користувачем з'явиться вкладка, зображена на рис. 3.5.

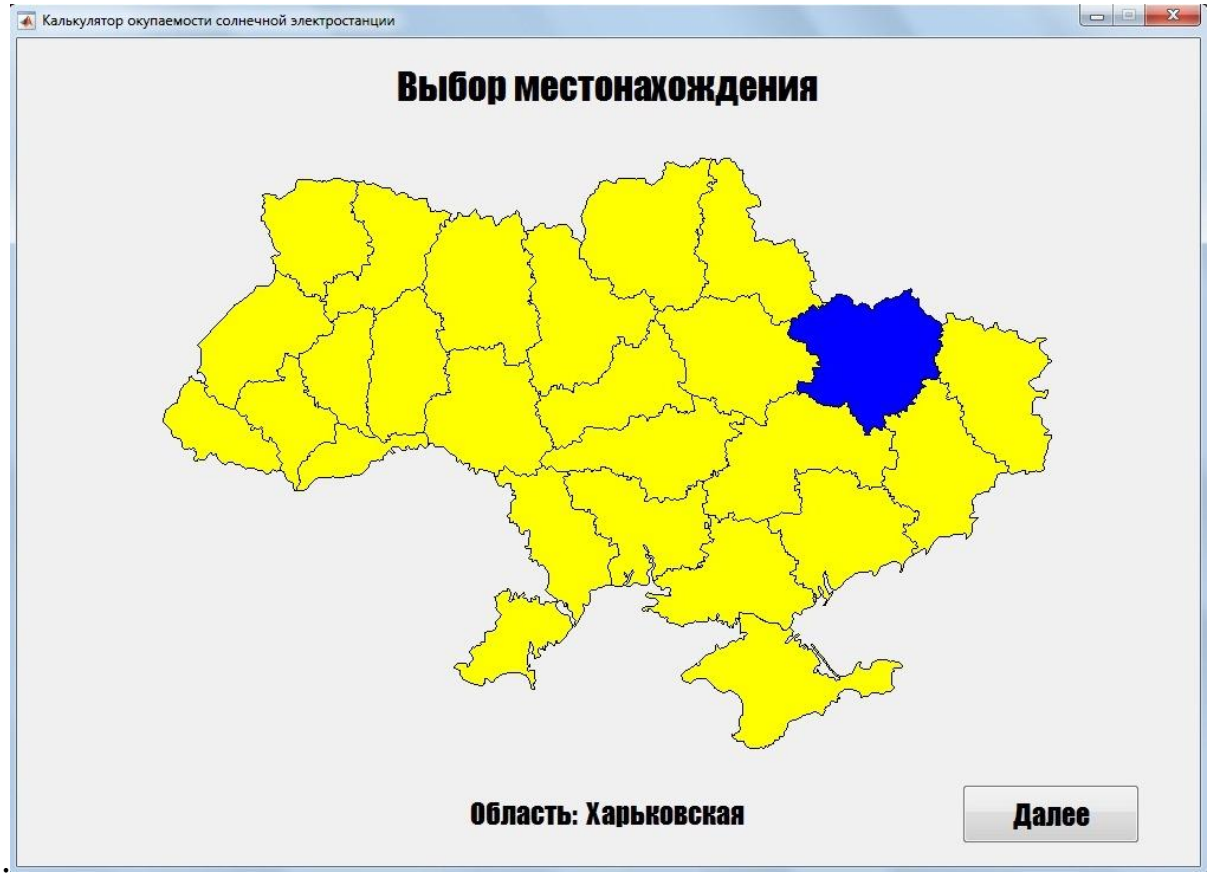


Рис. 3.5. Вкладка «Выбор местонахождения»

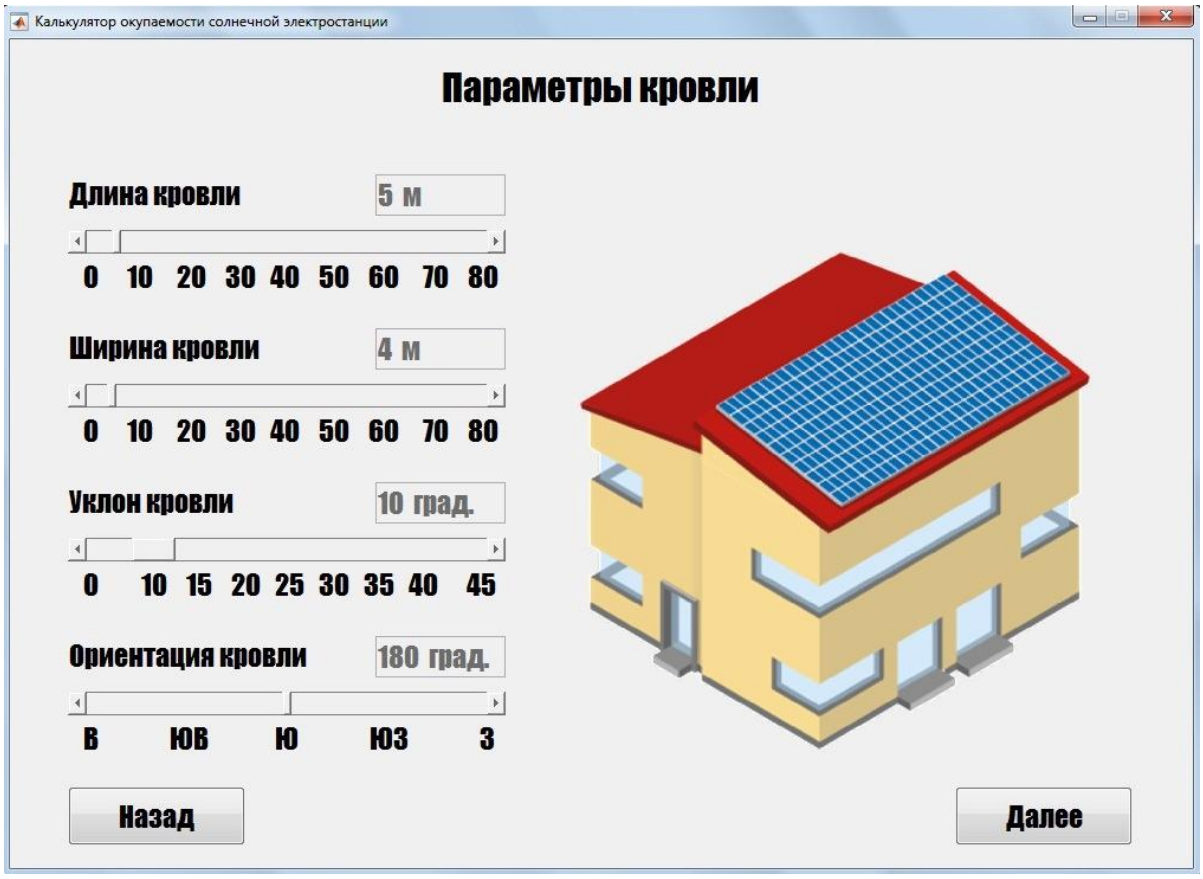


Рис. 3.6. Вкладка «Параметры кровли»

Вкладка «Параметры кровли» призначена для завдання розмірів покрівлі, її нахилу і орієнтації. Робоча область даної вкладки умовно поділена на дві частини. У лівій частині робочої області розташовуються елементи управління, що відповідають за вибір параметрів покрівлі, а в правій частині знаходиться графічна область, що відображає користувачеві поточний кут нахилу покрівлі (див. Рис. 3.3). Поточне значення, встановлене на кожному слайдері, відображається у відповідній текстової області, розташованої над слайдером. При переміщенні повзунка слайдера «Уклон кровли», відбувається автоматичне зміна кута нахилу покрівлі в графічній області програми (рис.3.7.)

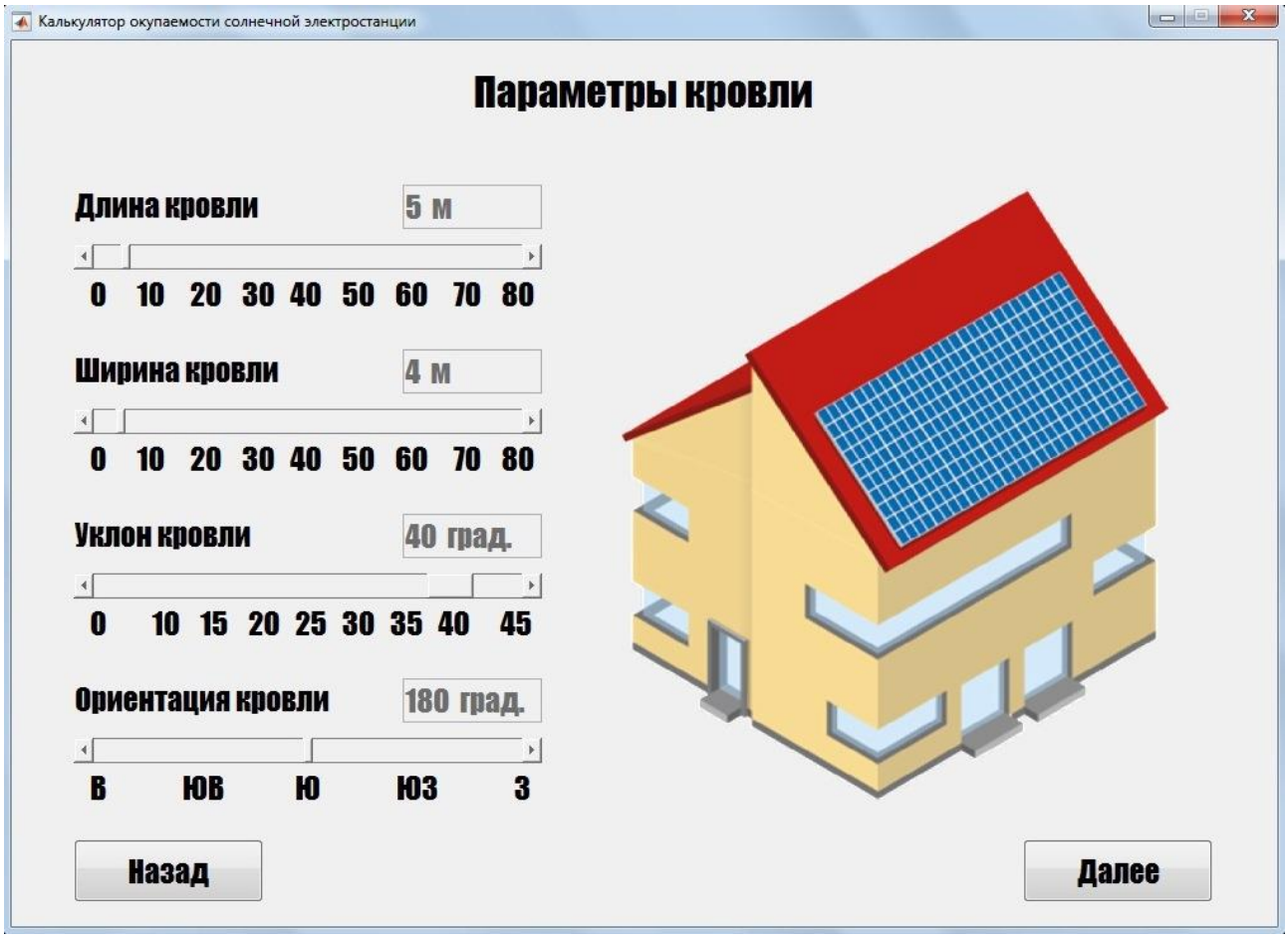


Рис. 3.7. Зміна куту нахилу

Після натискання кнопки «Далее» перед користувачем з'явиться вкладка, зображена на рис. 3.8.

Вкладка «Солнечная электростанция» призначена для вибору необхідної номінальної потужності сонячної електростанції. У верхній частині робочої області даної вкладки, розташовується інформація про поточну кількість сонячних панелей, а також виводиться інформація про загальною номінальною потужності сонячної електростанції. Максимально можливу кількість сонячних панелей розраховується виходячи з параметрів покрівлі. Основну частину робочої області даної вкладки займає графічна область, в якій відображаються сонячні панелі.

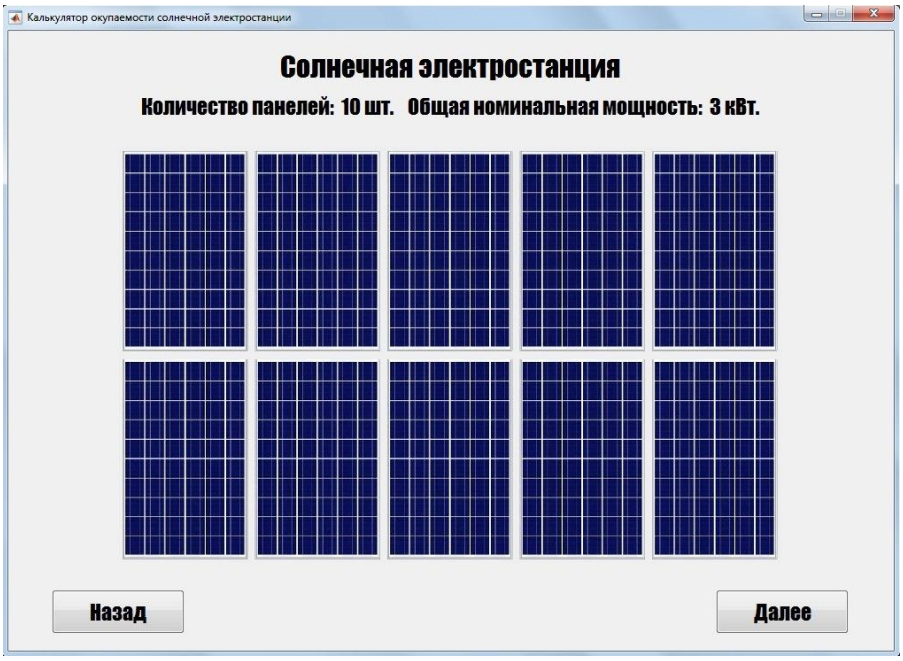


Рис. 3.8. Вкладка «Солнечная электростанция»

При наведенні курсора на сонячну панель і подальшого натискання лівої кнопки миші, відбувається деактивація сонячної панелі. Неактивні сонячні панелі автоматично виключаються із загальної кількості панелей, які складають сонячну електростанцію, і не повинні розглядатися як загальною номінальною потужності (рис. 3.9).

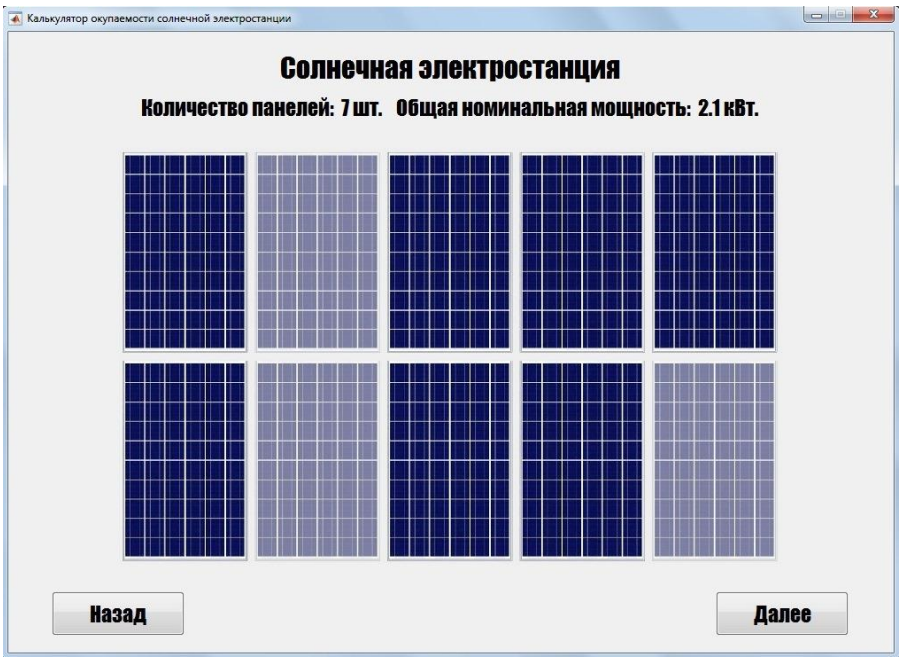


Рис. 3.9. Вибір номінальної потужності сонячної електростанції

При повторному натисканні лівою кнопкою миші по деактивованій панелі, вона активується і додається до загальної кількості сонячних панелей, які складають сонячну електростанцію.

Після натискання кнопки «Далее» перед користувачем з'явиться вкладка, зображена на рис. 3.10.

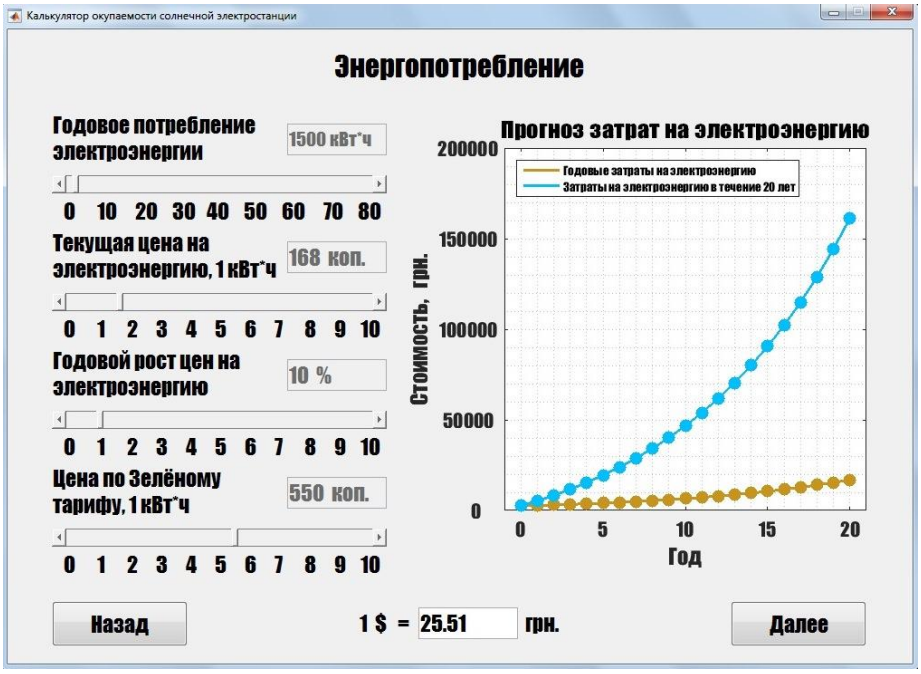


Рис. 3.10. Вкладка «Энергопотребление»

Вкладка «Энергопотребление» призначена для завдання річного споживання користувачем електроенергії, поточної ціни на електроенергію, річного зростання цін на електроенергію, а також ціни за «Зеленим тарифом». Робоча область даної вкладки умовно поділена на дві частини. У лівій частині робочої області розташовуються елементи управління, що відповідають за вибір параметрів енергоспоживання. У правій частині робочої області знаходиться графічна область, що відображає прогноз річних витрат на оплату електроенергії та загальні витрати на оплату електроенергії протягом наступних двадцяти років у вигляді двох графіків. При переміщенні повзунків слайдерів, відбувається автоматичне оновлення інформації в графічній області програми.

При наведенні курсора на маркер графіка і подальшого натискання лівої кнопки миші, з'являється спливаюче вікно, яке відображає інформацію про вартість електроенергії на обраному році. При натисненні лівої кнопки миші з затиснутою клавішею «Shift» відбувається додавання нового спливаючого вікна(рис.3.11).

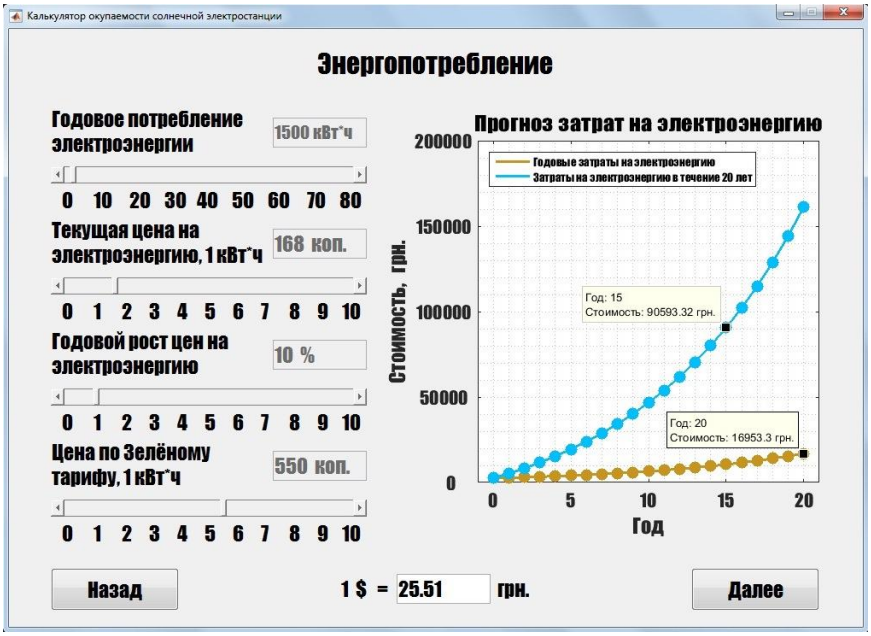


Рис. 3.11. Відображення вартості електроенергії

При натисканні на клавішу «Delete» відбувається видалення поточного спливаючого вікна.

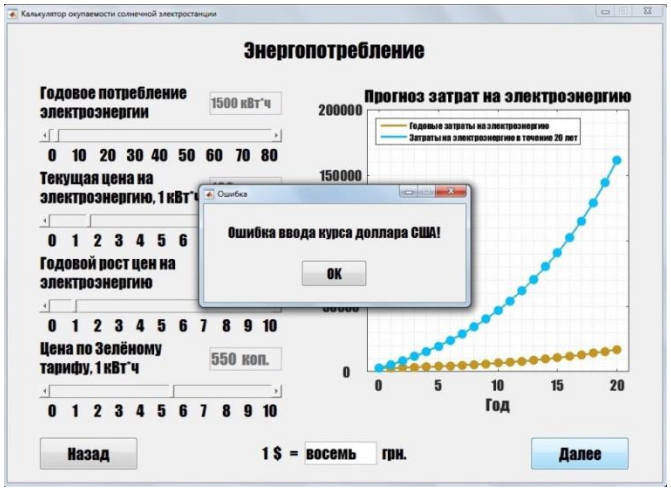


Рис. 3.12. Некоректне завдання курсу долара США

У самому низу робочої області вкладки «Энергопотребление» розміщується вікно введення поточного курсу долара США по відношенню до гривні. При некоректному завданні курсу долара США і наступному натисканні кнопки «Далее», на екрані з'явиться діалогове вікно, що оповіщає користувача про помилку (рис. 3.12.).

Після натискання кнопки «Далее» перед користувачем з'явиться вкладка, зображена на рис. 3.13.

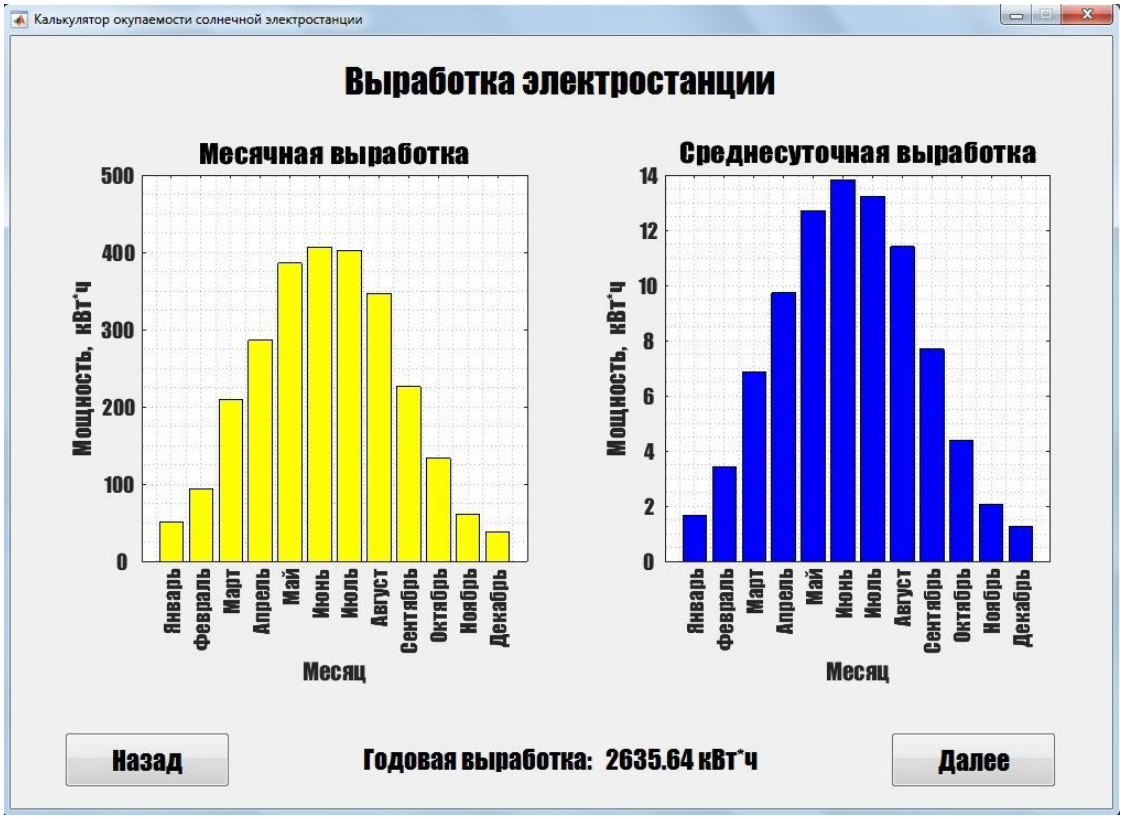


Рис. 3.13. Вкладка «Выработка электростанции»

Вкладка «Выработка электростанции» призначена для відображення середньодобової, місячної та річної виробки сонячної електростанції.

При наведенні курсора на стовпець діаграми і подальшого натискання лівої кнопки миші, з'являється спливаюче вікно, яке відображає інформацію про виробку сонячної електростанції в кВт * год. При натисненні лівої кнопки миші з затиснутою клавішею «Shift» відбувається додавання нового

спливаючого вікна (рис. 3.14.). При натисканні на клавіші «Delete» відбувається видалення поточного спливаючого вікна.

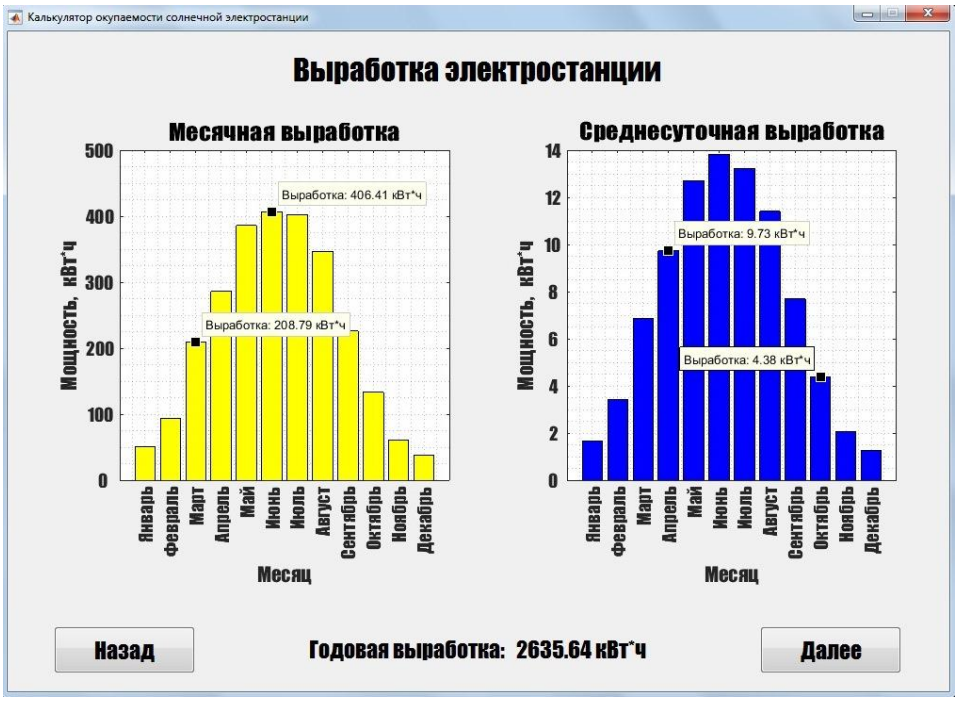


Рис. 3.14. Відображення виробки сонячної електростанції

Після натискання кнопки «Далее» перед користувачем з’явиться вкладка, представлена на Рис. 3.15.

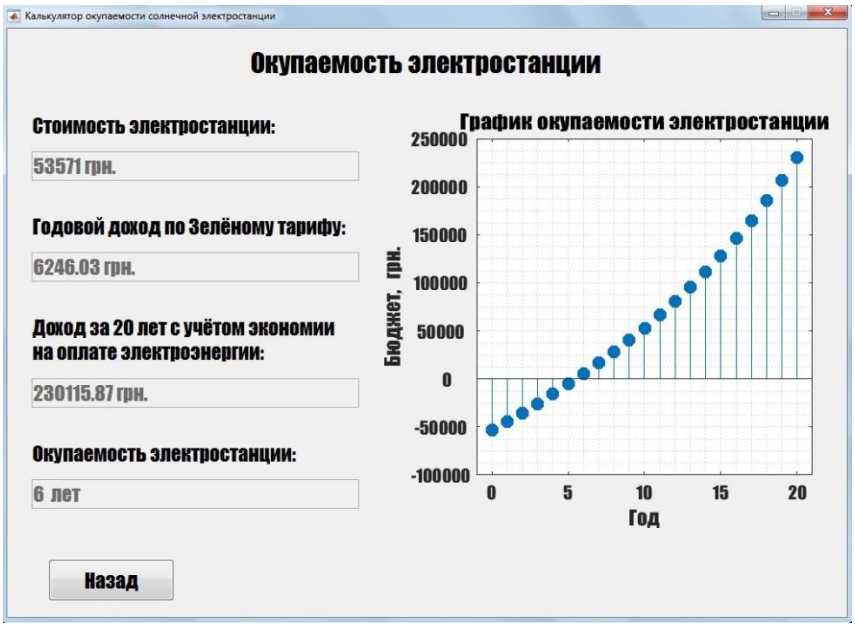


Рис. 3.15. Вкладка «Окупаемость электростанции»

Вкладка «Окупаемость электростанции» є останньою з 6 вкладок і призначена для відображення інформації про окупність сонячної електростанції. На даній вкладці відображається вартість сонячної електростанції, річний дохід за «Зеленим тарифом», виводиться інформація про сумарний дохід за двадцять років з урахуванням економії на оплаті електроенергії, а також період окупності сонячної електростанції. У правій частині робочої області програми розташовується діаграма окупності сонячної електростанції, на якій відображається зміна бюджету користувача з моменту установки сонячної електростанції на протязі наступних двадцяти років.

Якщо капіталовкладення, необхідні на установку сонячної електростанції, не окупляться протягом двадцяти років, дана інформація також буде відображена на екран (рис. 3.16).

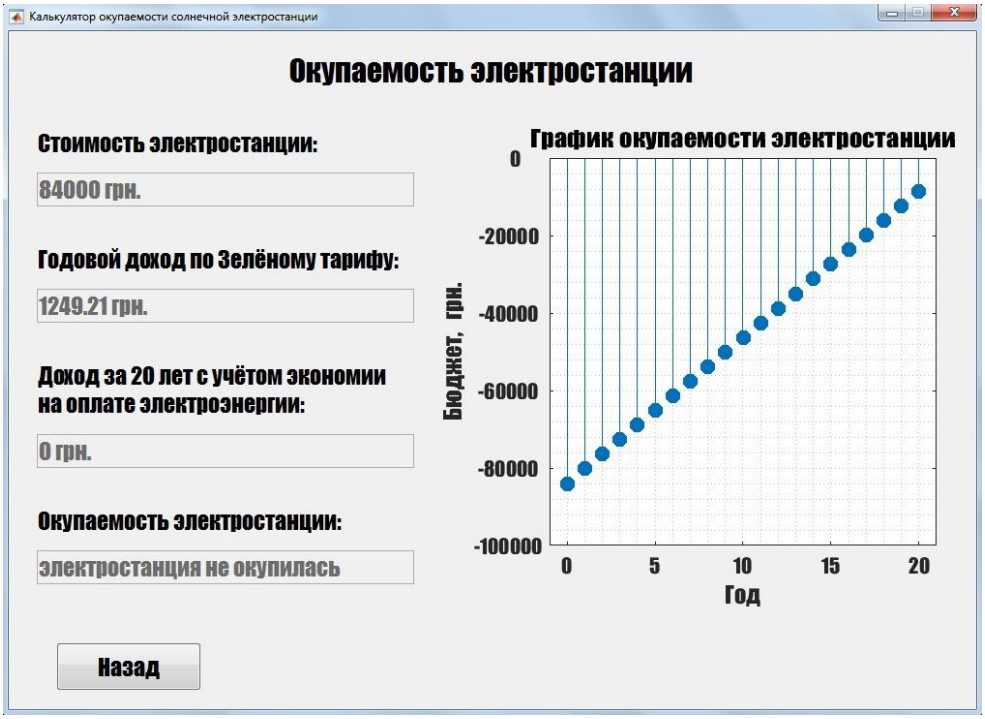


Рис. 3.16. Інформація, про окупність сонячної електростанції

При наведенні курсора на маркер діаграми і подальшого натискання лівої кнопки миші, з'являється спливаюче вікно, яке відображає інформацію про бюджет користувача після установки сонячної електростанції на обраному

році. При натисненні лівої кнопки миші з затиснутою клавішею «Shift» відбувається додавання нового спливаючого вікна. При натисканні на клавішу «Delete» відбувається видалення поточного спливаючого вікна.

3.3. Обговорення результатів розробки програмного продукту «Калькулятор окупності сонячної електростанції»

В ході виконання дипломної роботи, була розроблена комп'ютерна програма «Калькулятор окупності сонячної електростанції», вона призначена для розрахунку виробки сонячної електростанції, яка встановлюється в приватних домоволодіннях на території України, а також термінів повернення капіталовкладень витрачених на її впровадження.

При розрахунку виробки сонячної електростанції системою враховуються такі параметри як пряме, розсіяне і відбите сонячне випромінювання з урахуванням атмосферного ослаблення, кут нахилу покрівлі та її орієнтація, температура фотоелементів, температурний коефіцієнт потужності сонячних панелей, а також коефіцієнт, що враховує втрати сонячної панелі при перетворенні і передачі електроенергії.

Розрахунок сонячного випромінювання падаючого на поверхню фотоелементів, здійснюється системою відповідно до моделі Хея-Девіса.

При розрахунку економічної складової, системою враховується річне споживання електроенергії, поточна ціна на електроенергію, ціна за «Зеленим тарифом», а також річне зростання цін на електроенергію.

На підставі отриманих даних система обчислює місячну, середньодобову і річну виробки мережевий сонячної електростанції, розраховує відносну вартість мережевої сонячної електростанції, будує прогноз витрат споживача на електроенергію протягом наступних двадцяти років, а також обчислює річний дохід за «Зеленим тарифом». Завершальним етапом роботи системи, є розрахунок періоду окупності впровадження мережевої сонячної електростанції з точністю до року.

Місячна і середньодобова виробка мережевої сонячної електростанції, прогноз витрат споживача на електроенергію протягом двадцяти років, а також окупність мережевої сонячної електростанції відображаються в системі у вигляді відповідних графіків і діаграм.

ВИСНОВКИ

Розроблена та програмно-реалізована комп'ютерна програма «Калькулятор окупності сонячної електростанції», яка дозволяє розрахувати місячну, середньодобову і річну виробки мережевиої сонячної електростанції, яка встановлюється в приватних домоволодіннях на території України, а також визначити її економічну ефективність протягом двадцятирічного терміну експлуатації.

«Калькулятор окупності сонячної електростанції» володіє широким спектром можливостей, які дозволяють:

- вибрати область, в якій буде розміщуватися мережева сонячна електростанція;

- задати параметри покрівлі, на якій планується розміщення фотоелементів;

- задати номінальну потужність мережевої сонячної електростанції;

- вказати параметри енергоспоживання.

Результати обчислень виробки і періоду окупності мережевих сонячних електростанцій, отримані за допомогою «калькулятор окупності сонячної електростанції», узгоджуються з розрахунковими даними, які надаються провідними компаніями з впровадження мережевих сонячних електростанцій в приватних домоволодіннях.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. НКРЕКП встановила "зелені" тарифи для приватних домогосподарств [Електронний ресурс] // Українська асоціація відновлювальної енергетики. URL: https://uare.com.ua/novyny/388-nkrekp-vstanovila-zeleni-tarifi-dlya-privatnikh-domogospodarstv.html(дата звернення: 10.05.2018).

2. "Зелёный" тариф для физических лиц [Электронный ресурс] // Alteco. URL: https://alteco.in.ua/economics/zelenyj-tarif/zelenyj-tarif-dlya-fizicheskikh-lits (дата звернення: 10.05.2018).

3. Калькулятор Стоимости Солнечной Электростанции [Электронный ресурс] // Solar Service. URL: https://solarservice.pro/kalkulyator/(дата звернення: 11.05.2018).

4. Калькулятор сонячної електростанції [Електронний ресурс] // ATMOSFERA. URL: https://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostancii/kalkulyator-sonyachnoi-elektrostancii/ (дата звернення: 11.05.2018).

5. Калькулятор Вартості дахової сонячної електростанції, яка працює по "зеленому" тарифу [Електронний ресурс] // IKNET. URL: https://iknet.com.ua/uk/rooftop-solar-power-plant-cost-calculator/ (дата звернення: 11.05.2018).

6. Калькулятор солнечной электростанции - СЭС зеленый тариф [Электронный ресурс] // Artenergy. URL: https://www.artenergy.com.ua/novosti/kalkuliator-zelenyi-tarif (дата звернення: 11.05.2018).

7. Клён А.Н., Ефременко В.В. Экономическая эффективность использования сетевых солнечных электростанций в частных домовладениях // Технологический аудит и резервы производства. – 2015. – № 3/1 (23). – С. 8-13. doi: 10.15587/2312-8372.2015.42789

8. Peishi W., Xiaoming M., Junping J., Yunrong M. Review on Life Cycle Assessment of Energy Payback of Solar Photovoltaic Systems and a Case Study // Energy Procedia. 2017. – V. 105. – P. 68-74. doi: 10.1016/j.egypro.2017.03.281

9. Marimuthu C., Kirubakaran V., Rajasekaran R. Energy payback period and carbon payback period for solar photovoltaic power plant // Int. J. Chem. Sci. 2014. – N. 12 (1). – P. 293-305. URL: https://www.tsijournals.com/articles/energy-pay-back-period-and-carbon-pay-back-period-for-solar-photovoltaic-power-plant.pdf

10. 2007 ASHRAE Handbook - HVAC Applications (SI): Heating, Ventilating, and Air-Conditioning Applications / Amer Society of Heating. Atlanta, USA, 2007. URL: https://www.slideshare.net/danysofi/2007-ashrae-handbook-heating-ventilating-and-air-conditioning-applications

11. Spencer J.W. Fourier series representation of the position of the sun. 1971. – Search 2 (5). – P. 172. URL: https://www.mail-archive.com/sundial@uni-koeln.de/msg01050.html

12. Goswami D. Y. Principles of solar engineering. Third Edition. / CRC Press. 2015. – 822 p.

13. Duffie J. A., Beckman W. A. Solar Engineering of Thermal Processes, 4th Edition. / John Wiley & Sons, Inc. 2013. – 944 p. doi:10.1002/9781118671603

14. Soteris A. K. Solar Energy Engineering, 2nd Edition. / Academic Press, Elsevier. 2013. – 840 p.

15. Hottel H.C., Woertz B.B. The Performance of Flat Plate Solar-Heat Collectors / Transactions of the ASME. 1942. – V. 64. – P. 64-91.

16. Liu B.Y.H., Jordan R.C. The Interrelationship and Characteristic Distribution of Direct, Diffuse and Total Solar Radiation // Solar Energy. 1960. – V. 4, Issue 3. – P. 1-19. URL: http://dx.doi.org/10.1016/0038-092X(60)90062-1

17. Hay J.E., Davies J.A. Calculation of the Solar Radiation Incident on an Inclined Surface. / Proceedings of the 1st Canadian Solar Radiation Data Workshop. 1980. – Toronto, Canada. – P. 59-72.

18. Lasnier F., Ang, T.G. Photovoltaic Engineering Handbook. / CRC Press, Bristol, England. 1990. – 548 p.