

УДК 004.42:621.311

Система розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій в приватних домоволодіннях

І.В. Гарячевська, В.В. Іванющенко, Д.О. Протектор

*Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи 4, м. Харків, 61022, Україна
e-mail: i.garyachevskaya@karazin.ua*

У статті описується система розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій в приватних домоволодіннях, які розташовуються на території України. При розрахунку виробки мережевої сонячної електростанції враховуються такі параметри як пряме, розсіяне та відбите сонячне випромінювання з урахуванням атмосферного ослаблення, кут нахилу даху та його орієнтація, середньодобова температура фотоелементів в різні пори року, температурний коефіцієнт потужності сонячних панелей, а також коефіцієнт, що враховує втрати сонячної панелі при перетворенні та передачі електроенергії. Потік сонячного випромінювання, який падає на поверхню фотоелементів, визначається в рамках моделі Хей-Девіса. При розрахунку економічної складової, системою враховується річне споживання електроенергії, поточна ціна на електроенергію, ціна по «Зеленому тарифу», а також річне зростання цін на електроенергію. Середня ринкова вартість мережевої сонячної електростанції береться з розрахунку 1\$ за 1Вт встановленої потужності. На підставі отриманих даних система обчислює місячну, середньодобову та річну виробки мережевої сонячної електростанції, розраховує відносну вартість мережевої сонячної електростанції, будує прогноз витрат споживача на електроенергію протягом наступних двадцяти років, а також обчислює річний дохід по «Зеленому тарифу». Фінальним етапом роботи системи, є розрахунок періоду окупності впровадження мережевої сонячної електростанції з точністю до року. Місячна і середньодобова виробки мережевої сонячної електростанції, прогноз витрат споживача на електроенергію на протязі двадцяти років, а також окупність мережевої сонячної електростанції відображаються в системі у вигляді відповідних графіків і діаграм.

Ключові слова: мережева сонячна електростанція, «Зелений тариф», виробка, економічна ефективність, термін окупності, комп'ютерна програма.

В статье описывается система расчёта окупаемости внедрения сетевых солнечных электростанций в частных домохозяйствах, которые располагаются на территории Украины. При расчёте выработки сетевой солнечной электростанции учитываются такие параметры как прямое, рассеянное и отражённое солнечное излучение с учётом атмосферного ослабления, угол наклона кровли и её ориентация, среднесуточная температура фотоэлементов в различное время года, температурный коэффициент мощности солнечных панелей, а также коэффициент, учитывающий потери солнечной панели при преобразовании и передачи электроэнергии. Поток солнечного излучения, который падает на поверхность фотоэлементов, определяется в рамках модели Хей-Дэвиса. При расчёте экономической составляющей, системой учитывается годовое потребление электроэнергии, текущая цена на электроэнергию, цена по «Зелёному тарифу», а также годовой рост цен на электроэнергию. Средняя рыночная стоимость сетевой солнечной электростанции берётся из расчёта 1 \$ за 1 Вт установленной мощности. На основании полученных данных система вычисляет месячную, среднесуточную и годовую выработку сетевой солнечной электростанции, рассчитывает относительную стоимость сетевой солнечной электростанции, строит прогноз затрат потребителя на электроэнергию в течение последующих двадцати лет, а также вычисляет годовой доход по «Зелёному тарифу». Завершающим этапом работы системы, является расчёт периода окупаемости внедрения сетевой солнечной электростанции с точностью до года. Месячная и среднесуточная выработки сетевой солнечной электростанции, прогноз затрат потребителя на электроэнергию в течение двадцати лет, а также окупаемость сетевой солнечной электростанции отображаются в системе в виде соответствующих графиков и диаграмм. В случае если капиталовложения, необходимые на постройку и введение в эксплуатацию сетевой солнечной электростанции не окупятся в течение двадцати лет, система отобразит данную информацию в соответствующем окне программы.

Ключевые слова: сетевая солнечная электростанция, «Зелёный тариф», выработка, экономическая эффективность, срок окупаемости, компьютерная программа.

The article presents the payback calculation system of introducing networked solar power plants for private Ukrainian households. The system takes into account such parameters as beam, ground-reflected and diffuse solar radiation accounting for atmospheric attenuation, the angle and the orientation of roofs, the daily average temperature of photovoltaic cells and the temperature coefficient of solar panels, when calculating the output of a networked solar power plant. The flux of solar radiation that falls on the surface of photovoltaic cells is determined using the Hay-Davis model. Calculating payback, the system takes into account such parameters as annual electricity consumption, current price of electricity, feed-in tariff and annual electricity price increase. The average market price of a networked solar power plant is taken at the rate of 1 dollar per 1 watt of installed capacity. Based on these parameters, the system calculates monthly, daily average and annual output of a networked solar power plant, calculates the relative cost of a networked solar power plant, calculates the electricity cost forecast over twenty years, and calculates a payback period of a networked solar power plant. Monthly and daily average output of a networked solar power plant, electricity cost forecast over twenty years and a payback period for a network solar power plant are displayed in the system as corresponding graphs and diagrams. In case if investments necessary for the construction and commissioning of a networked solar power plant do not pay off within twenty years, the system will display this information in the corresponding field.

Keywords: network solar power plant, feed-in tariff, generation, economic efficiency, payback period, computer program.

1 Вступ

Сонце – єдина зірка, розташована в центрі нашої сонячної системи. Земля й інші планети обертаються навколо Сонця. Сонячна енергія в формі сонячного випромінювання підтримує практично все життя на Землі за допомогою фотосинтезу та керує кліматом і погодою Землі.

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 горючі корисні копалини покрили більшу частину наших енергетичних потреб, оскільки їх вартість була набагато дешевшою в порівнянні з енергією, яка отримується з альтернативних джерел.

За підтвердженими даними світові запаси нафти складають 1341 млрд. барелів (2009 р.), світові запаси вугілля складають 948 000 млн. тонн (2008 р.), а світові запаси природного газу – 178.3 трлн. м³ (2009 р.) Поточний 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 та 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 горючих корисних копалин, то опинимось в ситуації, коли зростання цін на паливо буде прискорюватися по мірі зменшення їх запасів. Враховуючи, що ціна на нафту утвердилася в якості лідера цін на всі види палива, можна зробити висновок, що ціни на енергоносії будуть невпинно зростати протягом наступних десятиліть. Крім того, буде наростати все більше занепокоєння через забруднення навколишнього середовища, спричиненого спалюванням горючих корисних копалин.

2 Ступінь розробленості теми та постановка проблеми

Споконвіку людство усвідомило, що розумне використання сонячної енергії може приносити користь суспільству. Незважаючи на це, тільки недавно, протягом останніх 40 років, сонячна енергія почала використовуватися в якості альтернативного джерела енергії, головним чином тому, що вона є необмеженою 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 та інше.

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 рівним, або навіть меншими, ніж ті, які зазвичай прогноуються при використанні традиційної енергетики.

До середини XXI століття електроенергія, яка виробляється 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 виробки електроенергії. В Україні найбільшу ставку «Зеленого тарифу» має електроенергія, яка надходить з сонячного випромінювання [1], тобто виробляється сонячними електростанціями. У зв'язку з чим, серед населення все більше зростає попит на будівництво приватних мережевих сонячних електростанцій.

Незважаючи на всі переваги альтернативних енерготехнологій, головним стримуючим фактором при переході на сонячні електростанції є їх ціна. Середня ринкова вартість мережевої сонячної електростанції становить 1\$ за 1Вт встановленої потужності [2]. Спеціально для оцінки окупності сонячних електростанцій багатьма фірмами розробляються різні програмні продукти, які дозволяють розрахувати термін повернення інвестицій, витрачених на будівництво та введення в експлуатацію мережевої сонячної електростанції, від моменту її установки. Однак,

результати їх обчислень, носять приблизний характер, і в кращому випадку відрізняються від реальних показників на 15-20% [3-6].

Питання розрахунку окупності впровадження приватних мережевих сонячних електростанцій розглядаються в роботах [7-9].

3 Мета та постановка завдання

Метою роботи є 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.

Для досягнення поставленої мети були вирішені наступні завдання:

- досліджено принцип роботи мережевих сонячних електростанцій;
- проаналізована нормативна і законодавча база, що стосується функціонування мережевих сонячних електростанцій на території України;
- розглянуті типові рішення по впровадженню мережевих сонячних електростанцій в приватних домоволодіннях;
- проаналізована вартість електроенергії для населення, яке проживає в житлових будинках на території України;
- досліджено механізм роботи «Зеленого тарифу»;
- розглянуті алгоритми роботи готових програмних продуктів для розрахунку окупності мережевих сонячних електростанцій та виявлено їх суттєві недоліки;
- розроблено архітектуру системи розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій;
- розроблено інтерфейс програмного продукту;
- проведено тестування розробленої системи.

4 Розрахунок виробки мережевої сонячної електростанції

Основним фактором, що впливає на виробку сонячної електростанції, є загальне сонячне випромінювання S , яке поглинається сонячними панелями. Загальне сонячне випромінювання залежить від значень падаючого випромінювання G , атмосферної маси m , кута нахилу сонячної панелі від горизонтального напрямку β та її орієнтації. Для знаходження сонячного випромінювання, яке поглинається сонячними панелями, необхідно використовувати дані про сонячне випромінювання, що падає на горизонтальну поверхню та інформацію про кут падіння. Поглинене сонячне випромінювання складається з прямого, розсіяного і відбитого сонячного випромінювання. Для розрахунку загального поглиненого сонячного випромінювання S використовується модель Хей-Девіса:

$$S = m \left\{ (G_B (\tau\alpha)_B + G_D (\tau\alpha)_D A) R_B + G_D (\tau\alpha)_D (1 - A) \left[\frac{1 + \cos(\beta)}{2} \right] + \rho (G_B + G_D) (\tau\alpha)_G \left[\frac{1 - \cos(\beta)}{2} \right] \right\} \quad (4.1)$$

де G_B – пряме випромінювання, яке падає на горизонтальну поверхню, $(\tau\alpha)_B$ – коефіцієнт пропускання-поглинання для прямого випромінювання, G_D – розсіяне випромінювання, яке падає на горизонтальну поверхню, $(\tau\alpha)_D$ – коефіцієнт пропускання-поглинання для розсіяного випромінювання, A – коефіцієнт анізотропії, R_B – коефіцієнт нахилу випромінювання, ρ – відбивна здатність, $(\tau\alpha)_G$ – коефіцієнт пропускання-поглинання для відбитого від землі випромінювання.

Сумарна номінальна потужність сонячної електростанції W_{TOTAL} :

$$W_{TOTAL} = L W_{CELL} \quad (4.2)$$

де L – загальна кількість сонячних панелей, W_{CELL} – номінальна потужність однієї сонячної панелі.

Добова виробка сонячної електростанції P_{DAY} розраховується за формулою:

$$P_{DAY} = \frac{S K_{LOSS}}{I} \left[\left(\frac{K_P}{100} W_{TOTAL} \right) (T_C - 25) + W_{TOTAL} \right] \quad (4.3)$$

де K_{LOSS} – коефіцієнт, що враховує втрати сонячної панелі при перетворенні та передачі електроенергії, I – інтенсивність сонячного випромінювання, при якому тестуються сонячні панелі (умови STC) 1000 Вт/м^2 , K_P – температурний коефіцієнт потужності сонячної панелі, T_C – температура фотоелементів.

Продуктивність сонячної електростанції залежить від температури фотоелементів. Як правило, при підвищенні температури фотоелементів, ефективність сонячної електростанції знижується. Ласньє та Енг в 1990 році отримали емпіричну формулу, яка може бути використана для розрахунку температури фотоелементів сонячної електростанції, що складаються з полікристалічного кремнію [10]:

$$T_C = 30 + 0.0175(G_t - 300) + 1.14(T_A - 25) \quad (4.4)$$

де T_A – температура навколишнього середовища.

Місячна виробка сонячної електростанції P_{MONTH} :

$$P_{MONTH} = \sum_{i=1}^M P_{DAY}^i \quad (4.5)$$

де M – кількість днів у місяці, P_{DAY}^i – виробка сонячної електростанції в i -ий день місяця.

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

$$\bar{P}_{DAY} = \frac{P_{MONTH}}{M} \quad (4.6)$$

де M – кількість днів у місяці.

Річна виробка сонячної електростанції P_{YEAR} :

$$P_{YEAR} = \sum_{i=1}^{12} P_{MONTH}^i \quad (4.7)$$

де P_{MONTH}^i – виробка сонячної електростанції в i -му місяці.

5 Розрахунок окупності мережевої сонячної електростанції

Середня ринкова вартість мережевої сонячної електростанції C_{SOLAR} становить 1\$ за 1Вт встановленої потужності.

Річні витрати споживача на оплату електроенергії C_{YEAR}^n розраховуються за формулою:

$$C_{YEAR}^n = P_{USER} \left(C_{YEAR}^{n-1} + \frac{K_{IN}}{100} C_{YEAR}^{n-1} \right), \quad n = 1, 2, \dots, 20 \quad (5.1)$$

де P_{USER} – загальний обсяг електроенергії, який 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} – річне зростання цін на електроенергію у відсотках, n – номер року.

Річний прибуток по Зеленому тарифу C_{YFT} дорівнює:

$$C_{YFT} = \begin{cases} (P_{YEAR} - P_{USER}) C_{FT}, & \text{якщо } P_{YEAR} > P_{USER} \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (5.2)$$

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

Окупність витрат на n -му році після будівництва мережевої сонячної електростанції PB^n складає:

$$PB^n = \begin{cases} -C_{SOLAR} + C_{YEAR}^n + C_{YFT}, & \text{якщо } n = 1 \\ PB^{n-1} + C_{YEAR}^n + C_{YFT}, & \text{інакше} \end{cases}, \quad n = 1, 2, \dots, 20 \quad (5.3)$$

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

$$PY = \begin{cases} \min_n \{n \in N \mid PB^n \geq 0\}, & \text{якщо } \exists PB^n \geq 0 \\ 0, & \text{інакше} \end{cases}, \quad n = 1, 2, \dots, 20 \quad (5.4)$$

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

$$PB_{TOTAL} = \begin{cases} PB^{20}, & \text{якщо } 1 \leq PY \leq 20 \\ 0, & \text{інакше} \end{cases} \quad (5.5)$$

6 Опис системи розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій в приватних домоволодіннях

6.1. Функціональне призначення та алгоритм роботи

Система розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій призначена для розрахунку виробки сонячної електростанції, яка встановлюється в приватних домоволодіннях на території України, а також термінів повернення інвестицій витрачених на її впровадження.

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

При розрахунку економічної складової, системою враховується річне споживання електроенергії, поточна ціна на електроенергію, ціна по «Зеленому тарифу», а також річне зростання цін на електроенергію.

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

Загальна блок-схема алгоритму роботи системи розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій представлена на рис. 1.



Рис. 1 Загальна блок-схема алгоритму роботи системи розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій

6.2. Опис інтерфейсу системи

У момент запуску системи розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій, перед користувачем з'являється стартова заставка, зображена на рис. 2, яка свідчить про запуск системи.



Рис. 2 Стартова заставка

Система складається з 6 різних вкладок, розташованих послідовно. Перехід між вкладками здійснюється за допомогою натискання кнопок «Далее» і «Назад», розташованих в нижній частині робочої області програми.

На рис. 3 представлено інтерфейс вкладки «Выбор местонахождения». Дана вкладка відповідає за вибір області, в якій буде розміщуватися сонячна електростанція. Для обрання області на мапі України, слід підвести курсор миші на бажану область і натиснути ліву кнопку миші.

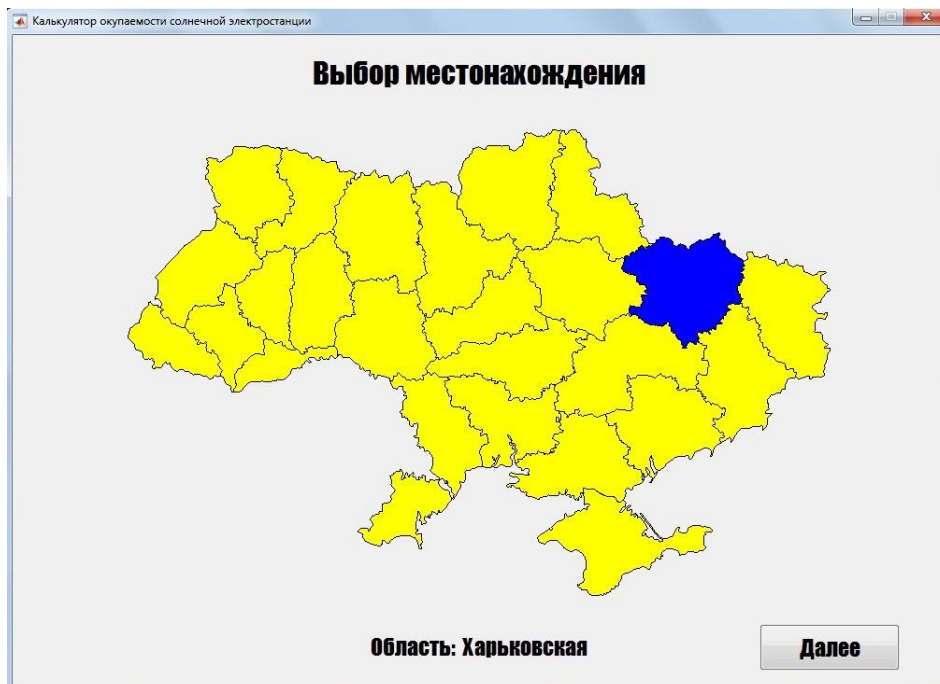


Рис. 3 Вкладка «Выбор местонахождения»

Після натискання кнопки «Далее» перед користувачем з'явиться вкладка «Параметры кровли», яка призначена для обрання розмірів даху, його нахилу та орієнтації (рис. 4). Робоча область даної вкладки умовно поділена на дві частини. У лівій частині робочої області розташовані елементи управління, що відповідають за вибір параметрів даху, а в правій частині знаходиться графічна область, яка відображає користувачу поточний кут нахилу даху. При переміщенні повзунка «Уклон кровли», відбувається автоматична зміна кута нахилу даху будинку в графічній області програми.

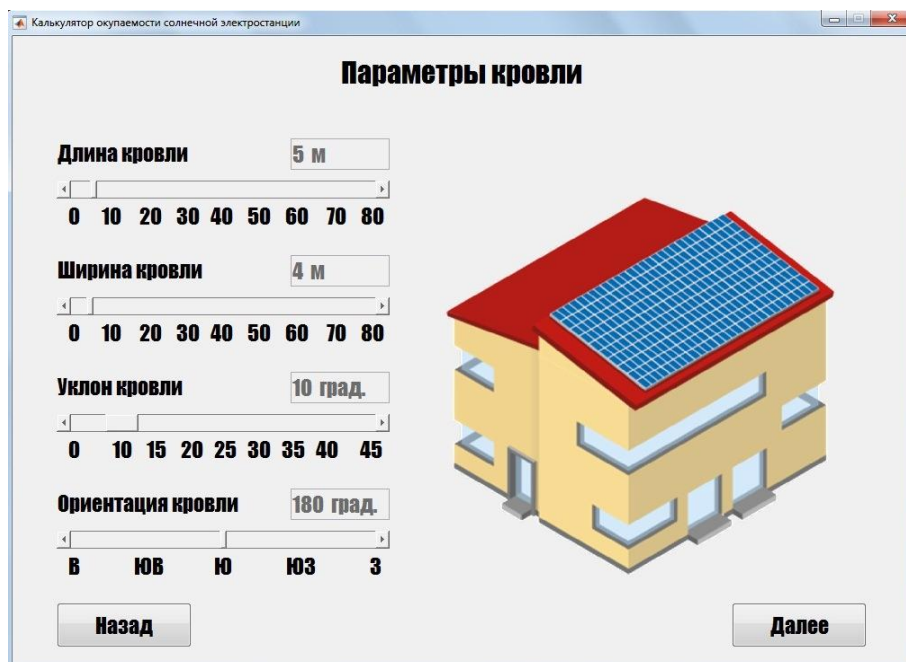


Рис. 4 Вкладка «Параметры кровли»

Вкладка «Солнечная электростанция» предназначена для выбора необходимой номинальной мощности солнечной электростанции (рис. 5). У верхней части рабочей области данной вкладки, размещается информация про текущую количество солнечных панелей, а также выводится информация про общую номинальную мощность солнечной электростанции. Максимально возможная количество солнечных панелей рассчитывается исходя из параметров даху.

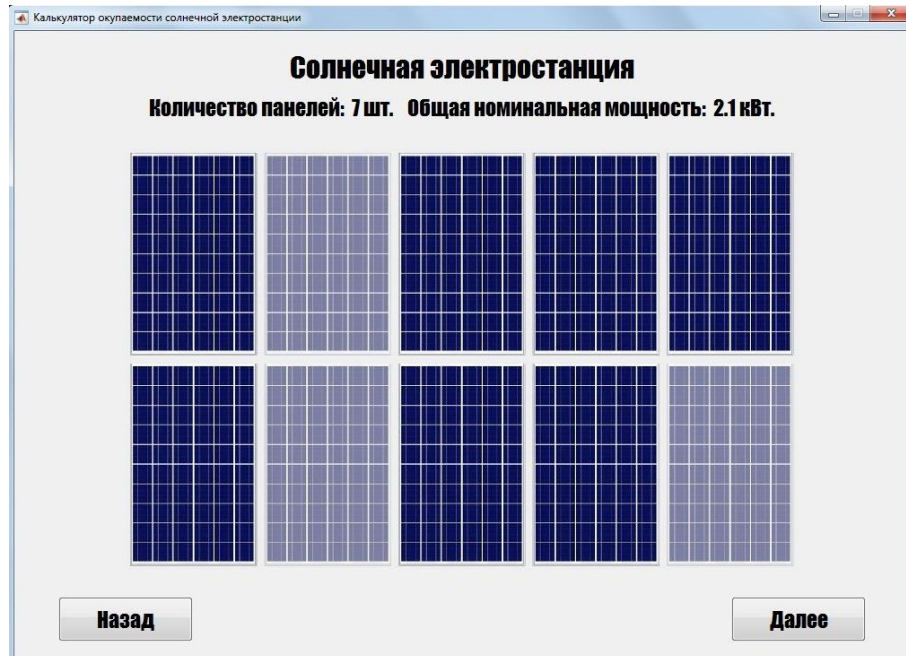


Рис. 5 Вкладка «Солнечная электростанция»

Основную часть рабочей области вкладки «Солнечная электростанция» занимает графическая область, в которой отображаются солнечные панели. При наведении курсора на солнечную панель и последующего нажатия левой кнопки мыши, происходит деактивация солнечной панели. Неактивные солнечные панели автоматически вычисляются из общей количества панелей, которые составляют солнечную электростанцию, та не учитываются при подсчете общей номинальной мощности электростанции.

Вкладка «Энергопотребление» предназначена для задания ричного споживання користувачем електроенергії, поточної ціни на електроенергію, ричного зростання цін на електроенергію, а також ціни за «Зеленим тарифом» (рис. 6). У правій частині робочої області знаходиться графічна область, яка відображає прогноз ричних витрат на оплату електроенергії та загальні витрати на оплату електроенергію протягом наступних двадцяти років.

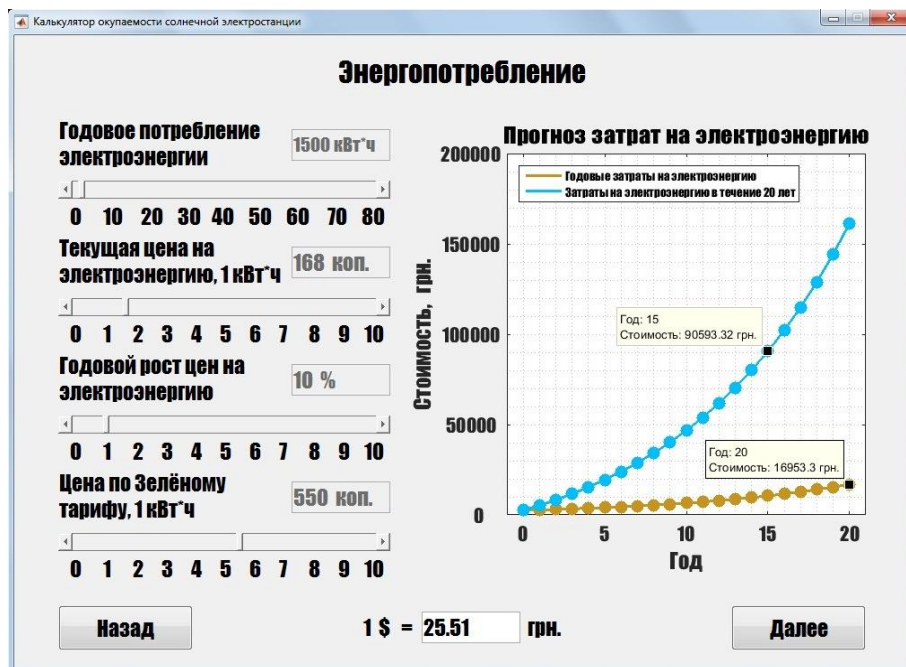


Рис. 6 Вкладка «Энергопотребление»

При наведенні курсору на маркер графіка та подальшого натискання лівої кнопки миші, з'являється спливаюче вікно, яке відображає інформацію про вартість електроенергії в обраному році. При одночасному натисканні лівої кнопки миші та клавіші «Shift» відбувається додавання нового спливаючого вікна. При натисканні клавіші «Delete» відбувається видалення поточного спливаючого вікна.

Вкладка «Выработка электростанции» предназначена для відображення середньодобової, місячної та ричної виробки сонячної електростанції (рис. 7).

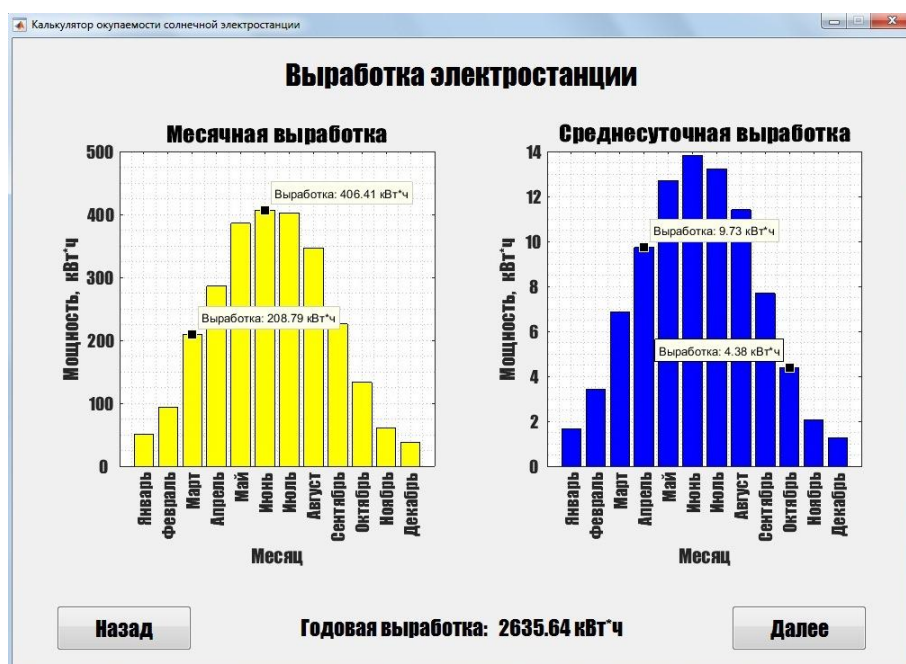


Рис. 7 Вкладка «Выработка электростанции»

Вкладка «Окупаемость электростанции» є останньою з 6 вкладок і призначена для відображення інформації про окупність сонячної електростанції (рис. 8). На даній вкладці відображається вартість сонячної електростанції, річний дохід по «Зеленому тарифу», 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 розташована діаграма окупності сонячної електростанції, на якій відображається зміна бюджету користувача з моменту установки сонячної електростанції на протязі наступних двадцяти років.



Рис. 8 Вкладка «Окупаемость электростанции»

Якщо інвестиції, необхідні на будівництво сонячної електростанції, не окупляться протягом двадцяти років, дана інформація відобразиться у відповідному полі системи (рис. 9).

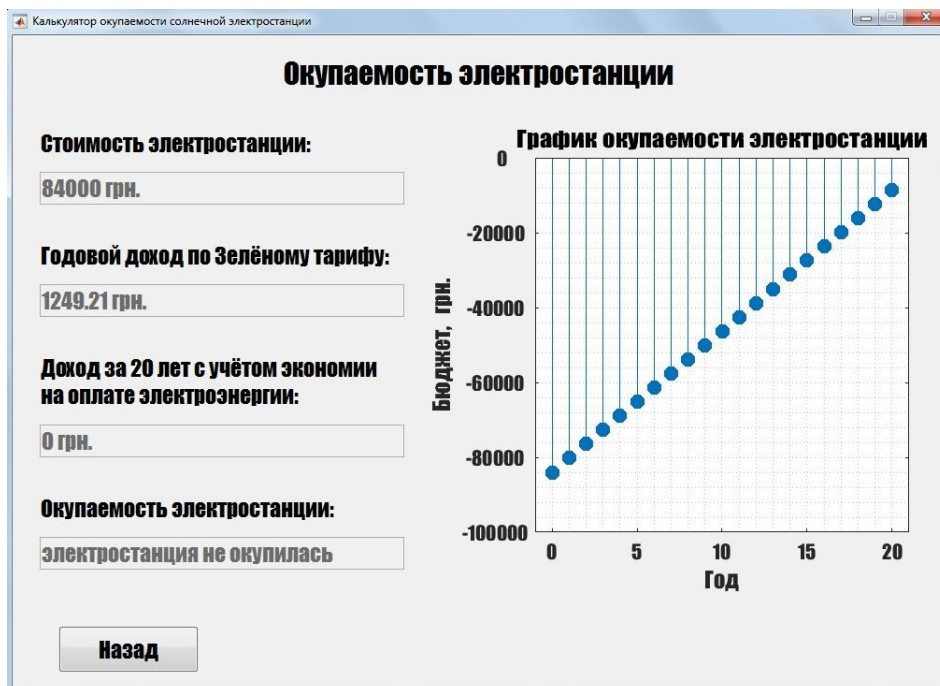


Рис. 9 Інформація щодо окупності впровадження сонячної електростанції

При наведенні курсору 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 одночасному натисканні лівої кнопки миші та клавіші «Shift» відбувається додавання нового спливаючого вікна. При натисканні клавіші «Delete» відбувається видалення поточного спливаючого вікна.

7 Висновки

Розроблено систему 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.

Система розрахунку окупності впровадження мережевих сонячних електростанцій має широкий спектр можливостей, який дозволяє:

- обрати область на мапі України, в межах якої буде розміщуватися мережева сонячна електростанція;
- задати параметри даху, на якому планується розміщення фотоелементів;
- задати номінальну потужність мережевої сонячної електростанції;
- задати параметри енергоспоживання житлового будинку за лічильником.

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

Потік сонячного випромінювання, який падає на поверхню фотоелементів, визначається в рамках моделі Хей-Девіса.

При розрахунку економічної складової, системою враховується річне споживання електроенергії, поточна ціна на електроенергію, ціна по «Зеленому тарифу», а також річне зростання цін на електроенергію.

На підставі отриманих даних система обчислює місячну, середньодобову та річну виробку мережевої сонячної електростанції, розраховує відносну вартість мережевої сонячної електростанції, буде прогноз витрат споживача на електроенергію протягом наступних двадцяти років, а також обчислює річний дохід по «Зеленому тарифу».

Завершальним етапом роботи системи, є розрахунок періоду окупності впровадження мережевої сонячної електростанції з точністю до року.

Місячна та середньодобова виробки 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.

Результати обчислень виробки та періоду окупності мережевих сонячних електростанцій, отримані за допомогою розробленої системи, узгоджуються з розрахунковими даними, які надаються провідними компаніями по впровадженню мережевих сонячних електростанцій в приватних домоволодіннях.

Варто відзначити, що мережеві сонячні електростанції приносять прибуток тільки при досить великій номінальній потужності та за умови підключення їх до «Зеленого тарифу». Максимальний прибуток при мінімальному терміні окупності надають електростанції, потужність яких близька до максимально допустимої для мережевих електростанцій в приватних домоволодіннях.

ЛІТЕРАТУРА

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: 10.09.2019).
2. "Зелёный" тариф для физических лиц [Электронный ресурс]. *Alteco*. URL: <https://alteco.in.ua/economics/zelenyj-tarif/zelenyj-tarif-dlya-fizicheskikh-lits> (дата обращения: 10.09.2019).
 3. Калькулятор Стоимости Солнечной Электростанции [Электронный ресурс]. *Solar Service*. URL: <https://solarservice.pro/kalkulyator/> (дата обращения: 11.09.2019).
 4. Калькулятор сонячної електростанції [Електронний ресурс]. *ATMOSFERA*. URL: <https://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/kalkulyator-sonyachnoi-elektrostantsii/> (дата звернення: 11.09.2019).
 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: 11.09.2019).
 6. Калькулятор солнечной электростанции - СЭС зеленый тариф [Электронный ресурс]. *Artenergy*. URL: <https://www.artenergy.com.ua/novosti/kalkuliator-zelenyi-tarif> (дата обращения: 11.09.2019).
 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. *International Journal of Chemical Science*. 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> (Last accessed: 13.09.2019)
 10. Lasnier F., Ang T.G. *Photovoltaic Engineering Handbook*. CRC Press, Bristol, England. 1990. – 548 p.

REFERENCES

1. Ukrainian Association of Renewable Energy. NKREKP set feed-in tariffs for private households. (n.d.). Retrieved from <https://uare.com.ua/novyny/388-nkrekp-vstanovila-zeleni-tarifi-dlya-privatnikh-domogospodarstv.html> [in Ukrainian]
2. Alteco. Feed-in tariff for individuals. (n.d.). Retrieved from <https://alteco.in.ua/economics/zelenyj-tarif/zelenyj-tarif-dlya-fizicheskikh-lits> [in Russian]
3. Solar Service. Cost Calculator of Solar Power Plant. (n.d.). Retrieved from <https://solarservice.pro/kalkulyator/> [in Russian]
4. ATMOSFERA. Calculator of Solar Power Plant. (n.d.). Retrieved from <https://www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/kalkulyator-sonyachnoi-elektrostantsii/> [in Ukrainian]
5. IKNET. Cost Calculator of Solar Power Plant which works on feed-in tariff. (n.d.). Retrieved from <https://iknet.com.ua/uk/rooftop-solar-power-plant-cost-calculator/> [in Ukrainian]
6. Artenergy. Calculator of Solar Power Plant - SPP feed-in tariff. (n.d.). Retrieved from <https://www.artenergy.com.ua/novosti/kalkuliator-zelenyi-tarif> [in Russian]
7. Klyon A., & Efremenko V. "Economic efficiency of using Solar Power Plants in private households". *Technology audit and production reserves*, vol. 23, no. 3(1), pp. 8-13, 2015. doi: 10.15587/2312-8372.2015.42789. [in Russian]
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*, vol. 105, pp. 68-74, 2017. 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". *International Journal of Chemical Science*, vol. 12, no. 1, pp. 293-305, 2014. Retrieved from <https://www.tsijournals.com/articles/energy-pay-back-period-and-carbon-pay-back-period-for-solar-photovoltaic-power-plant.pdf>

10. Lasnier F., & Ang T.G. *Photovoltaic Engineering Handbook*. Bristol, England: CRC Press, 1990.

Гарячевська Ірина Василівна – кандидат технічних наук, доцент; декан фізико-енергетичного факультету, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, Харків-22, Україна, 61022;

e-mail: i.garyachevskaya@karazin.ua; ORCID: 0000-0002-4630-9519.

Іванющенко Вікторія Віталіївна – студент; фізико-енергетичний факультет, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, Харків-22, Україна, 61022;

e-mail: vivanushenko23@gmail.com; ORCID: 0000-0001-7201-926X.

Протектор Денис Олегович – аспірант; фізико-енергетичний факультет, Харківський національний університет імені В. Н. Каразіна, майдан Свободи, 4, Харків-22, Україна, 61022;

e-mail: d.protector@karazin.ua; ORCID: 0000-0003-3323-7058.

Garyachevskaya Irina V. PhD, Associate Professor, Dean of the School of Physics and Energy V. N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq 4, 61022, Kharkiv, Ukraine; e-mail: i.garyachevskaya@karazin.ua; ORCID: 0000-0002-4630-9519.

Ivaniushchenko Viktoriia V. Student of the School of Physics and Energy V. N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq 4, 61022, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: vivanushenko23@gmail.com; ORCID: 0000-0001-7201-926X.

Protector Denys O. Postgraduate student of the School of Physics and Energy V. N. Karazin Kharkiv National University, Svobody Sq 4, 61022, Kharkiv, Ukraine;

e-mail: d.protector@karazin.ua; ORCID: 0000-0003-3323-7058.

Гарячевская Ирина Васильевна – кандидат технических наук, доцент; декан физико-энергетического факультета, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, площадь Свободы, 4, Харьков-22, Украина, 61022;

e-mail: i.garyachevskaya@karazin.ua; ORCID: 0000-0002-4630-9519.

Іванющенко Вікторія Віталіївна – студент; фізико-енергетичний факультет, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, площадь Свободы, 4, Харьков-22, Украина, 61022;

e-mail: vivanushenko23@gmail.com; ORCID: 0000-0001-7201-926X.

Протектор Денис Олегович – аспирант; физико-энергетический факультет, Харьковский национальный университет имени В. Н. Каразина, площадь Свободы, 4, Харьков-22, Украина, 61022;

e-mail: d.protector@karazin.ua; ORCID: 0000-0003-3323-7058.