

*Л.І. Мещераков, д-р техн. наук, Д.В. Ципленков, канд. техн. наук, Я.К. Жарко  
(Україна, Дніпро, Національний технічний університет «Дніпровська політехніка»)*

## ПРОГРАМНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ІНФОРМАЦІЙНОЇ СИСТЕМИ РОЗРАХУНКУ ОСНОВНИХ ПАРАМЕТРІВ СОНЯЧНИХ УСТАНОВОК

***Анотація.** Показана структура та функціональні можливості розробленого програмного забезпечення інформаційної системи, що розраховує енергетичну потребу окремої будівлі для визначення основних параметрів сонячних установок, таких як площа сонячних батарей, кількість паралельних та послідовних секцій панелей, ємність накопичувача потужності фотоелектричного фрагмента станції. Розроблена інформаційна система призначена для застосування в області використання нетрадиційних джерел енергії, як в комерційній сфері так і в сфері науки.*

***Ключові слова:** сонячні батареї, енергія споживання, інвертор, інтерфейс програми.*

***Аннотация.** Показаны структура и функциональные возможности разработанного программного обеспечения информационной системы, которая рассчитывает энергетические потребности отдельных строений для определения основных параметров солнечных установок, таких как площадь солнечных батарей, количество параллельных и последовательных секций панелей, емкость накопителя мощности фотоэлектрического фрагмента станции. Разработанная информационная система предназначена для использования в области применения нетрадиционных источников энергии, как в коммерческой сфере, так и в сфере науки.*

***Ключевые слова:** солнечные батареи, энергия потребления, инвертор, интерфейс программы.*

***Abstract.** A structure are shown and functional possibilities of the developed informative system software, which calculates power necessities of separate structures for computation of basic parameters of sun options, such as an area of sun batteries, quantity of parallel and successive sections of panels, capacity of store of power of photo-electric fragment of station. The developed informative system is intended for the use in area of application of traditional energy sources, both in the commercial sphere, and in the field of science.*

***Keywords:** sun batteries, energy of consumption, inverting, interface of the program.*

**Вступ.** Надмірне використання світових запасів корисних копалин для отримання енергії зумовлює пошуки нетрадиційних джерел енергії. Альтернативним джерелом являється сонячна енергія. На сьогодні одним з найосновніших серед нетрадиційних джерел енергії є енергія сонця у формі радіації та світла. За даними фахівців, упродовж одного тижня на земну поверхню від сонця надходить така кількість енергії, яка перевершує енергію світових запасів усіх видів палива. Саме тому розробки в сфері сонячної енергетики являються дуже важливі для сьогодення. І хоча набраний темп розвитку даного напрямку альтернативної енергетики неухильно зростає, все ж сонячна енергетика володіє не тільки достоїнствами, але й недоліками. Велика кількість розрахункових параметрів сонячних батарей спонукає потребу в автоматизованих засобах вирішення даного завдання і тому проблема розрахунку сонячних установок являється актуальною та має широке практичне значення.

**Постановка задачі.** Основною задачею роботи являється створення програмного забезпечення інформаційної системи, що розраховує енергетичну потребу окремої будівлі для розрахунку найосновніших параметрів сонячних установок: площу сонячних батарей, кількість паралельних та послідовних секцій панелей, ємність накопичувача, потужності фотоелектричного фрагмента станції. У відповідності до проведеного аналізу поставлені основні функціональні задачі перед програмною системою: можливість працювати з системою некваліфікованих користувачів, що мають наміри придбати сонячну станцію за допомогою розрахунків; можливість порівнювати данні, які залежать від розташування сонячної панелі, її куту нахилу; та відповідне прискорення часу роботи підприємств, що займаються поширенням сонячних станцій.

**Основний зміст роботи.** Згідно алгоритму визначення основних параметрів сонячних установок спочатку здійснюється визначення профілю навантаження, споживаної енергії та необхідної потужності інвертора. Данні вводяться з клавіатури користувачем в інтерфейсі програми. При цьому визначається перелік всіх навантажень змінного струму із зазначенням їх номінальної потужності та числа годин роботи в добу на весь період роботи. Дані заносяться в таблицю 1. Помножається потужність на число годин роботи для кожного навантаження і записується енергія споживання за добу також в таблицю 1. В подальшому рахується профіль навантаження і добова потужність споживання змінного струму разом включених навантажень за весь період експлуатації енергоустановки, що теж заносяться в таблицю 1. Для профілю споживання енергії вибирається найбільше значення сумарної потужності разом працюю-

## Енергозбереження та енергоефективність

чих навантажень. Ця величина приймається як номінальна потужність, яку повинен забезпечити інвертор. З технічних характеристик навантажень вибирається навантаження з найбільшою піковою потужністю в момент включення та вибирається конкретний інвертор, що забезпечує прийнятну номінальну потужність і допустиму пікову потужність на вході та з паспортних даних вибираються необхідні змінна напруга на виході та діапазон вхідних постійних струмів і напруг. Сумарна величина енергії споживання за весь період роботи являє собою енергію, яку має виробити сонячна панель без урахування власних втрат та всіх втрат енергосистеми.

Таблиця 1

Добові навантаження змінного струму і профіль потреби енергії

#	Навантаження змінного струму	Потужність в Вт	Годин за добу	Вт*год/ добу	Дні роботи						Енергія Вт*год
					1		2		...k		Профіль
					Вт	Вт*год	Вт	Вт*год	Вт	Вт*год	Вт*год
1	Навантаження 1	A Вт	B годин	A*B							
2	Навантаження 2	B Вт	Г годин	B*Г							
.. n	Навантаження 3	N Вт	T годин	N*T							
Всього					∑1 Вт		∑2 Вт		∑k Вт		∑ за весь час роботи

Для побудови графіків інсоляції під певні широту і довготу місцевості необхідно з багаторічної бази даних NASA [1, 2, 3] витягнути дані інсоляції та побудувати профіль середньодобового навантаження. Визначення оптимального кута нахилу фотоелектричної панелі здійснюється через необхідність перерахування для профілю надходження щодобового коефіцієнту перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальною на похилу поверхню. Результати заносяться в таблицю 2.

$$R = \left(1 - \frac{E_p}{E}\right) \cdot R_n + \frac{E_p}{E} \cdot \frac{1 + \cos \beta}{2} + \rho \cdot \frac{1 - \cos \beta}{2}, \quad (1)$$

де  $E_p$  - середньомісячна денна кількість розсіяного сонячного випромінювання, що надходить на горизонтальну поверхню;  $E_p/E$  - середньомісячна денна частка розсіяного (дифузійного) сонячного випромінювання;  $R_p$  - середньомісячний коефіцієнт перерахунку прямого сонячного випромінювання з горизонтальною на похилу поверхню;  $\beta$  - кут нахилу поверхні сонячної батареї до горизонту;  $\rho$  - коефіцієнт відображення (альbedo) поверхні Землі та навколишніх тіл, зазвичай приймається рівним 0,7 для зими і 0,2 для літа.

Таблиця 2.

Таблиця  $R_n$

№	Кут нахилу $\beta$ , градуси	Номер дня			
		1	2	k-1	k
1	0	$R_n$			
2	5				
3	10				
...	...				
17	85				
18	90				$R_n$

В подальшому розраховується коефіцієнт перерахунку з горизонтальної площини на похилу з південною орієнтацією для сумарного сонячного випромінювання. Результати заносяться в таблицю

$$R_n = \frac{\cos(\varphi - \beta) \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_{zn} + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_{zn} \cdot \sin(\varphi - \beta) \cdot \sin \delta}{\cos \varphi \cdot \cos \delta \cdot \sin \omega_3 + \frac{\pi}{180} \cdot \omega_3 \cdot \sin \varphi \cdot \sin \delta}, \quad (2)$$

де  $\varphi$  - широта місцевості, град;  $\beta$  - кут нахилу сонячної батареї до горизонту, град;  $\delta$  - нахил Сонця (кут між лінією, що з'єднує центри Землі та Сонця, і її проекцією на площину екватора) в середній день місяця, град:

$$\delta = 23,45 \cdot \sin\left(360 \cdot \frac{284 + n}{365}\right), \quad (3)$$

$n$  - порядковий номер дня, відрахований від 1 січня (номер середнього розрахункового дня для кожного місяця року);  $\omega_3$  - годинний кут заходу (сходу) Сонця для горизонтальної поверхні:

$$\omega_3 = \arccos(-\operatorname{tg} \varphi \cdot \operatorname{tg} \delta), \quad (4)$$

$\omega_{zn}$  - годинний кут заходу Сонця для похилій поверхні з південною орієнтацією:

$$\omega_{zn} = \arccos[-\operatorname{tg}(\varphi - \beta) \cdot \operatorname{tg} \delta]. \quad (5)$$

Після розрахунку середньодобової сумарної кількості сонячної енергії, що надходить на похилу поверхню результати заносяться в таблицю:

$$E_n = R \cdot E. \quad (6)$$

З стовпчика «Сума, Вт\*годин» таблиці треба вибрати найбільше значення енергії та відповідне значення кута нахилу цієї енергії. Сформоване значення кута відповідає оптимальному нахилу фотоелектричної панелі.

Розрахунок площі поверхні фотоелектричної панелі достатньої падаючої сонячної енергії: визначаються через уточнення щодобової питомої сонячної енергії для похилій поверхні. Для цього енергію кожної доби з бази даних NASA необхідно помножити на відношення сумарної енергії з таблиці (під конкретний обраний кут нахилу панелей) до сумарної енергії, що потрапляла на землю за весь рік спостережень. Результат заноситься в рядок "Профіль сумарний при певному нахилі поверхні". Отриманий результат треба поділити на ККД фотоелектричного модуля - це і визначає площу фотоелектричної панелі.

Загальна кількість фотомодулів розраховується через визначення сумарної енергії профілю потреби за весь період роботи з таблиці та поділити на профіль сумарний при оптимальному нахилу поверхні. Результат розділити додатково на 2. Чим і визначається загальна кількість фотомодулів.

Кількість паралельних та послідовних секцій розраховується по етапам. На першому треба розділити номінальну вхідну напругу інвертора на номінальну напругу фотомодуля з прийнятим раніше ККД. Так визначається кількість фотоелектричних модулів у послідовній секції. На другому етапі необхідно розділити загальну кількість фотоелектричних модулів отриманих раніш на кількість фотоелектричних модулів в послідовній секції, що покаже кількість паралельних секцій.

Ємності накопичувача енергії (акумулятора) розраховуються через поділ повної сумарної потреби енергії на номінальну напругу накопичувача, при цьому урахувати температурний коефіцієнт та коефіцієнт погіршення погодних умов. А розрахунок коефіцієнту температури показує в якій місцевості знаходиться накопичувач енергії ( будинок, вулиця, гараж). Коефіцієнт погодних умов вказує кількість не сонячних днів, зимою ця кількість в Україні досягаю в середньому 16 днів.

**Опис користувацького інтерфейсу.** Блок-схема алгоритму програми зображено на рис. 1. Початкове вікно інформаційної системи Solar energy calculation має вигляд зображений на рис. 2. Зліва вводяться данні споживачів, їх потужність та назву, правіше – часові інтервали. Для вводу даних одного споживача енергії необхідно заповнити потужність та назву електроприладу. Часові проміжки вводяться окремо (початок – кінець), при необхідності можливо додати проміжки часу відповідно кнопкою. Результат вводу даних споживачів енергії зображено на рис. 3. Діаграма часових даних споживачів будується по потужності (вісь Y) та по часовим проміжкам (вісь X) і має вигляд зображений на рис. 4. Далі переходять на пункт «сонячна інсоляція», де обирається один з обласних центрів України (місце знаходження, що потребує сонячні батареї). Також можливо порівняти дані інсоляції для різного проміжку ча-

су за 2017 рік. Наприклад, з січня і до вересня місяця. Відповідно візуалізуються графіки, що мають вигляд який представлено на рис. 5.

Користувачський інтерфейс дає можливість наочно побачити розрахунки коефіцієнтів перерахунку та енергії, що зображуються в вигляді таблиць як на рис. 6 та рис. 7. Форма інтерфейсу кінцевого розрахунку всіх параметрів представлено на рис. 8. Після вводу всіх необхідних даних треба натиснути кнопку «провести розрахунок». Результат програми, що видає повні данні по сонячній станції та акумулятора зображені на рис. 9. Вихід з програми виконується стандартною кнопкою «exit».

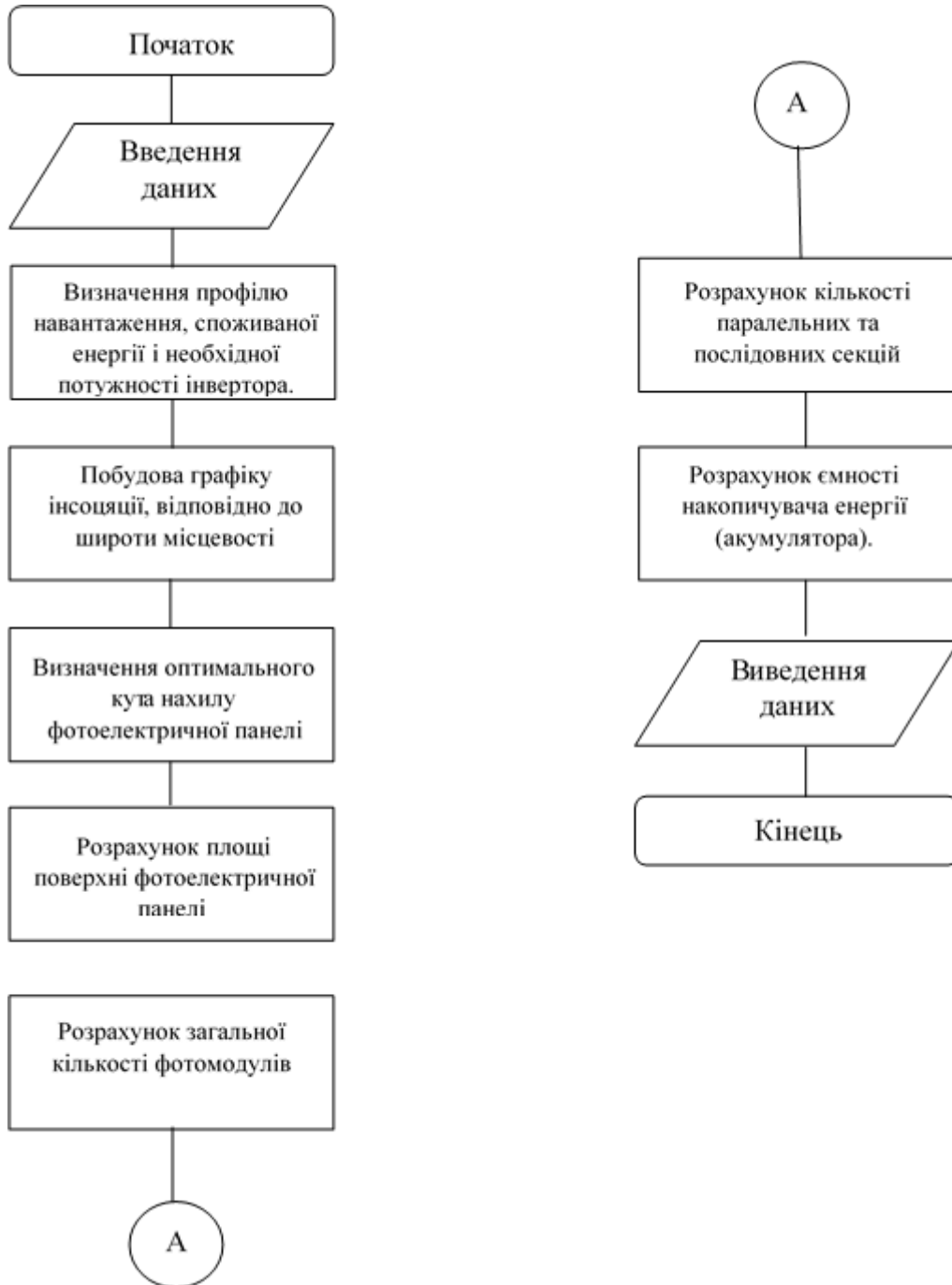


Рис. 1. Блок-схема алгоритму програмного забезпечення

## Енергозбереження та енергоефективність

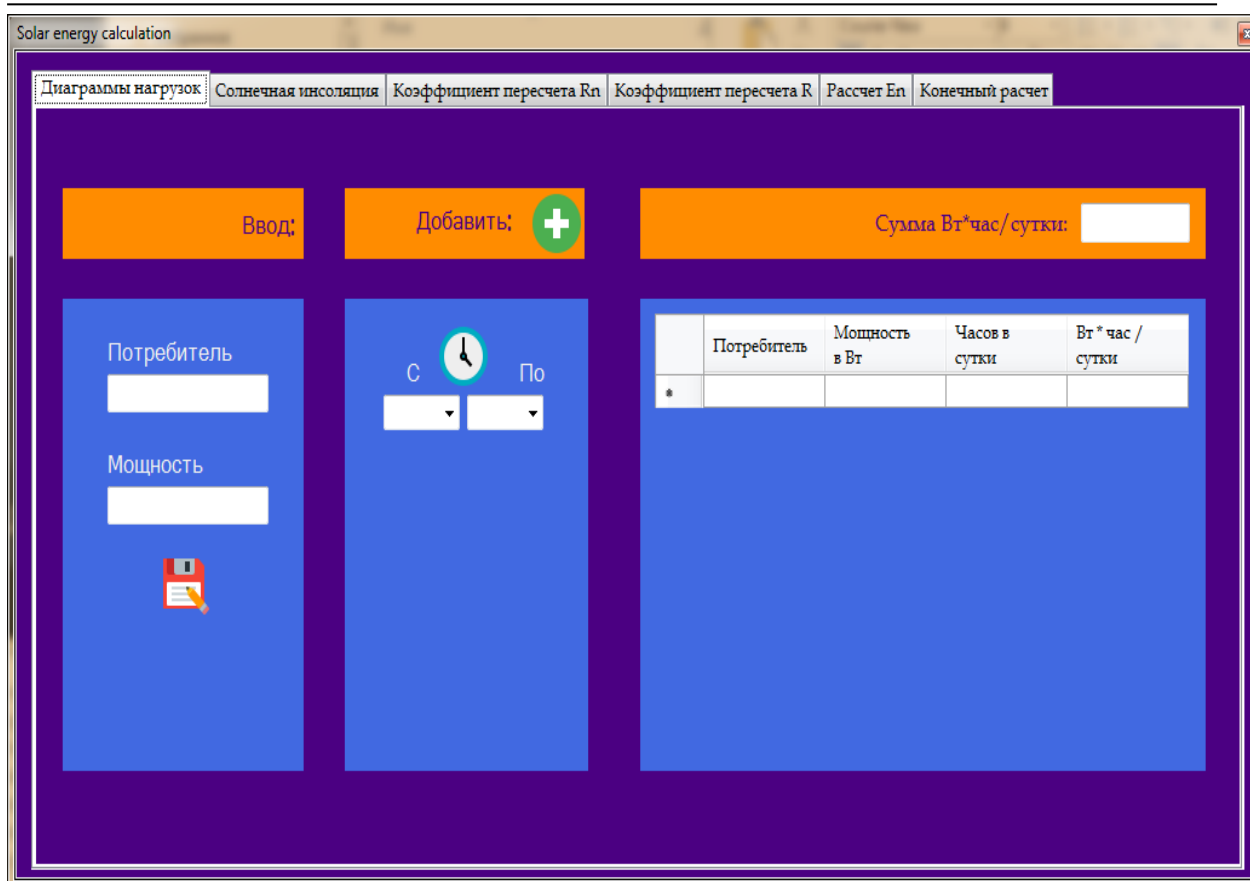


Рис.2. Початкове вікно програми Solar energy calculation

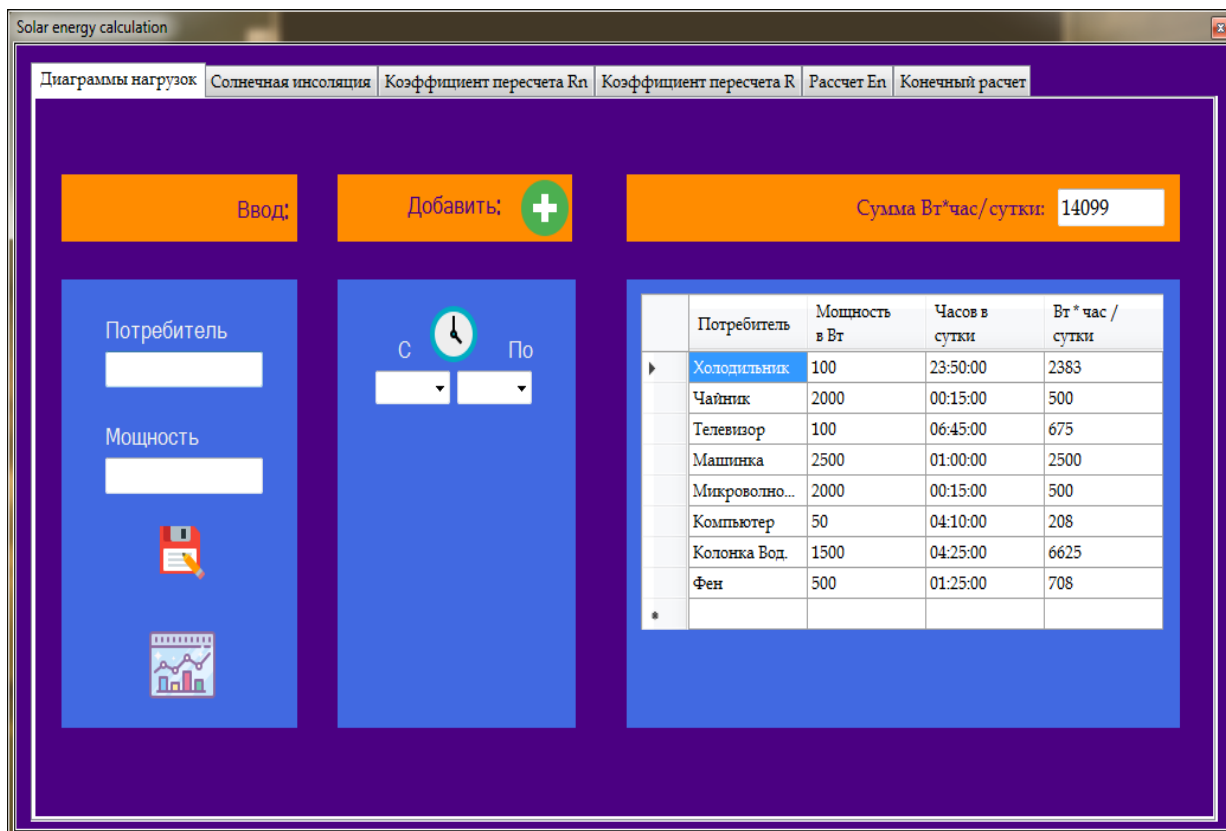


Рис. 3. Основні дані споживачів енергії

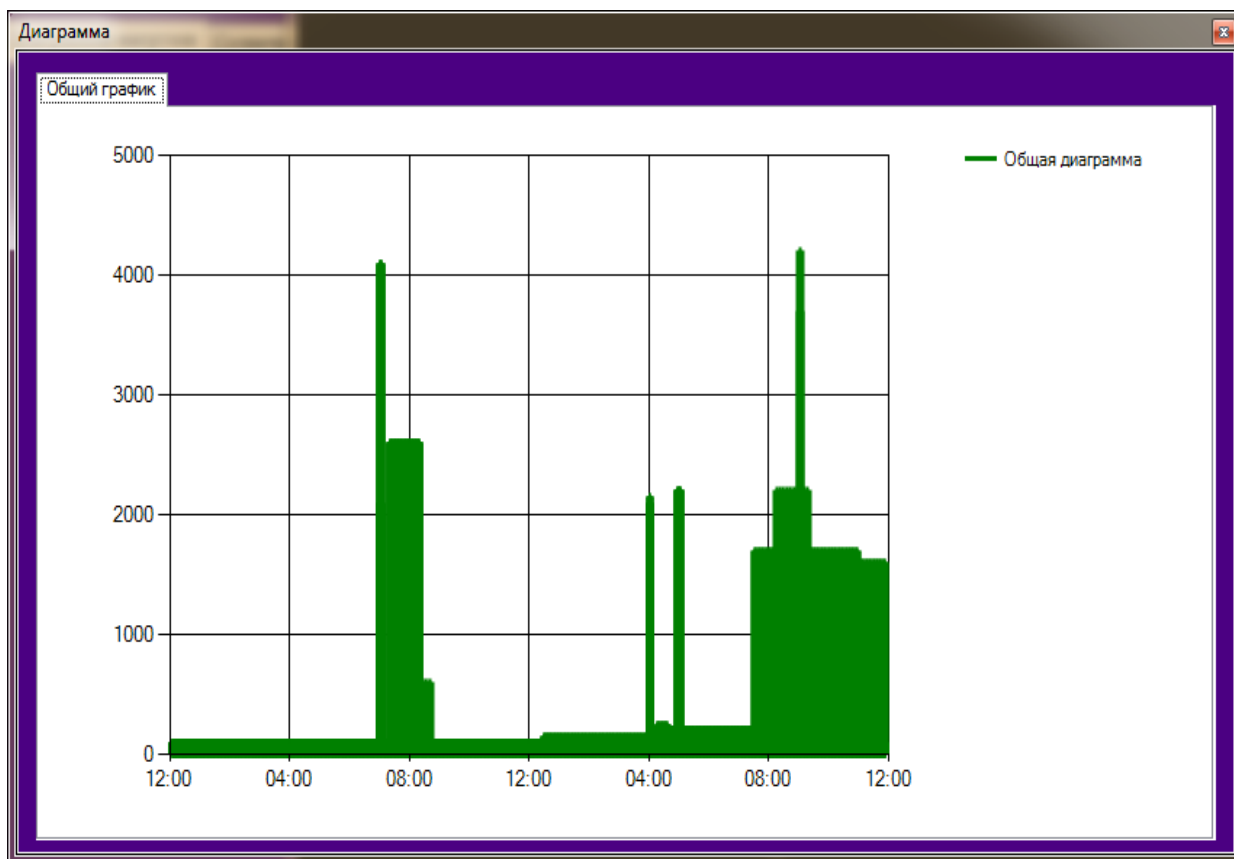


Рис. 4. Діаграма часових даних споживачів

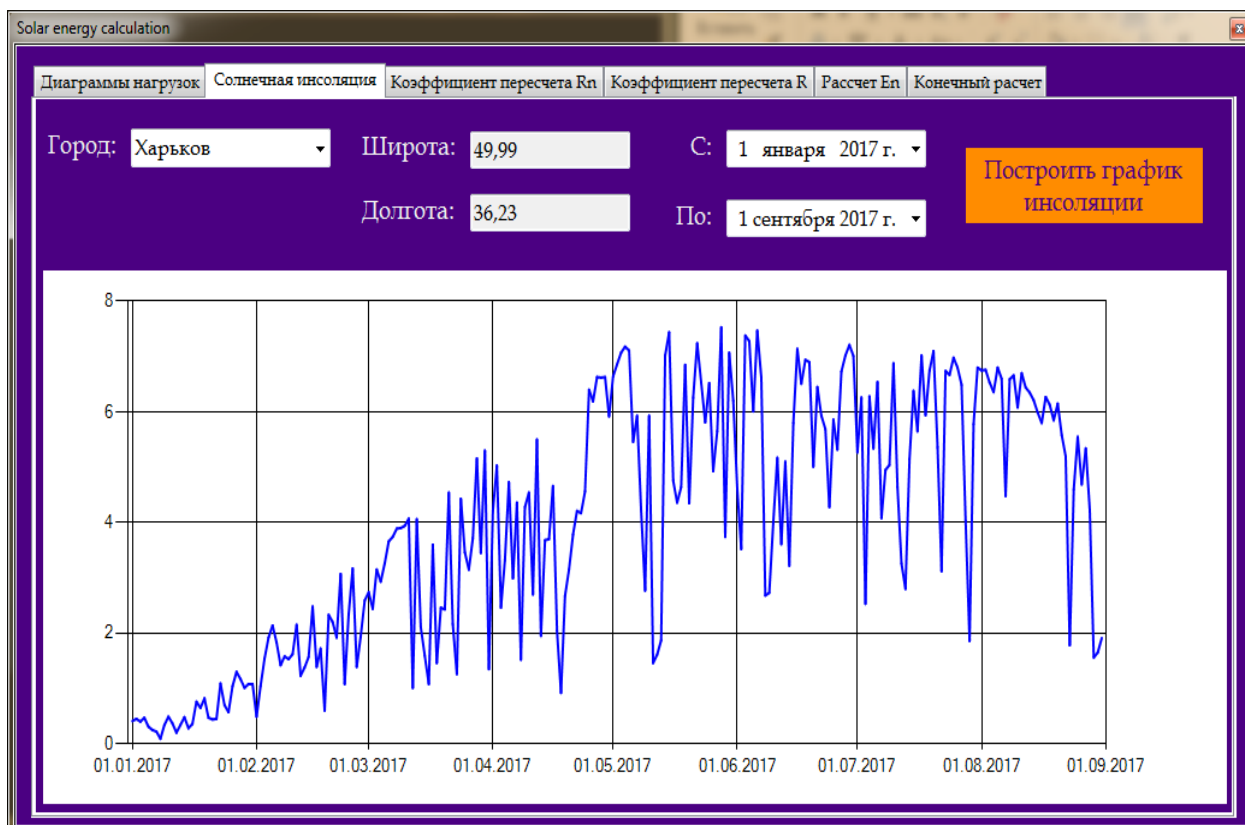


Рис. 5. Дані інсоляції для різного проміжку часу

Solar energy calculation

Диаграммы нагрузок | Солнечная инсоляция | Коэффициент пересчета Rn | Коэффициент пересчета R | Расчет En | Конечный расчет

**Rn**

Угол Наклона "beta"	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
0	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
5	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...	1,100...
10	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...	1,191...
15	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...	1,274...
20	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...	1,347...
25	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...
30	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...
35	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...
40	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...
45	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...
50	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...	1,555...
55	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...	1,549...
60	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...	1,531...
65	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...	1,502...
70	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...	1,461...
75	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...	1,409...
80	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...	1,346...

Рис. 6. Коefіцієнти перерахунку енергії

Solar energy calculation

Диаграммы нагрузок | Солнечная инсоляция | Коэффициент пересчета Rn | Коэффициент пересчета R | Расчет En | Конечный расчет

**En**

Оптимальный наклон фотоэлектрической панели: 15

	274	275	276	277	278	279	280	281	282	283	284	285	286	287	288	289	290	291
▶	1470	1080	2310	2800	910	1110	2350	1830	1000	2520	3050	1500	1210	1010	550	1750	990	2640
...	1466,...	1077,...	2304,...	2793,...	907,9...	1107,...	2344,...	1825,...	997,7...	2514,...	3043,...	1496,...	1207,...	1007,...	548,7...	1746,...	987,8...	2634,...
...	1460,...	1073,...	2295,...	2782,...	904,3...	1103,...	2335,...	1818,...	993,7...	2504,...	3031,...	1490,...	1202,...	1003,...	546,5...	1739,...	983,8...	2623,...
...	1450,...	1065,...	2279,...	2763,...	898,0...	1095,...	2319,...	1806,...	986,8...	2486,...	3010,...	1480,...	1194,...	996,7...	542,7...	1727,...	977,0...	2605,...
...	1435,...	1054,...	2255,...	2734,...	888,6...	1083,...	2294,...	1786,...	976,5...	2460,...	2978,...	1464,...	1181,...	986,2...	537,0...	1708,...	966,7...	2577,...
...	1414,...	1039,...	2222,...	2694,...	875,6...	1068,...	2261,...	1760,...	962,2...	2424,...	2934,...	1443,...	1164,...	971,8...	529,2...	1683,...	952,6...	2540,...
...	1387,...	1019,...	2180,...	2643,...	859,0...	1047,...	2218,...	1727,...	944,0...	2378,...	2879,...	1416,...	1142,...	953,4...	519,2...	1652,...	934,5...	2492,...
...	1354,...	995,4...	2129,...	2580,...	838,7...	1023,...	2165,...	1686,...	921,6...	2322,...	2811,...	1382,...	1115,...	930,8...	506,9...	1612,...	912,4...	2433,...
...	1316,...	966,9...	2068,...	2506,...	814,7...	993,8...	2104,...	1638,...	895,3...	2256,...	2730,...	1342,...	1083,...	904,2...	492,4...	1566,...	886,3...	2363,...
...	1271,...	934,2...	1998,...	2422,...	787,2...	960,2...	2032,...	1583,...	865,0...	2179,...	2638,...	1297,...	1046,...	873,7...	475,7...	1513,...	856,4...	2283,...
...	1221,...	897,5...	1919,...	2326,...	756,2...	922,4...	1952,...	1520,...	831,0...	2094,...	2534,...	1246,...	1005,...	839,3...	457,0...	1454,...	822,7...	2193,...
...	1166,...	857,0...	1833,...	2221,...	722,1...	880,8...	1864,...	1452,...	793,5...	1999,...	2420,...	1190,...	960,1...	801,4...	436,4...	1388,...	785,5...	2094,...
...	1106,...	813,0...	1738,...	2107,...	685,0...	835,5...	1769,...	1377,...	752,7...	1897,...	2296,...	1129,...	910,8...	760,3...	414,0...	1317,...	745,2...	1987,...
...	1042,...	765,8...	1638,...	1985,...	645,3...	787,1...	1666,...	1297,...	709,1...	1787,...	2162,...	1063,...	858,0...	716,2...	390,0...	1241,...	702,0...	1872,...
...	974,5...	716,0...	1531,...	1856,...	603,3...	735,9...	1558,...	1213,...	662,9...	1670,...	2022,...	994,4...	802,2...	669,6...	364,6...	1160,...	656,3...	1750,...
...	903,6...	663,8...	1419,...	1721,...	559,3...	682,3...	1444,...	1124,...	614,7...	1549,...	1874,...	922,0...	743,7...	620,8...	338,0...	1075,...	608,5...	1622,...
...	830,2	609,9	1304,...	1581,...	513,9	626,9	1327,...	1033,...	564,8	1423,...	1722,...	847,2	683,4	570,4	310,6	988,4	559,1	1491,...

Рис. 7. Енергія з урахуванням поправок

Рис. 8. Повні вихідні данні по сонячній станції та акумулятору

**Висновки.** Створене програмне забезпечення інформаційної системи в повній мірі забезпечує розрахунок енергетичної потреби окремої будівлі для визначення основних параметрів сонячних установок: площу сонячних батарей, кількість паралельних та послідовних секцій панелей, ємність накопичувача, потужності фотоелектричного фрагмента станції. Базовими функціями програми являються: побудова діаграм споживачів електроенергії (побутових приладів); порівняння даних сонячної радіації по різним областним центрам України; наочне подання проміжних розрахункових параметрів з яких можна робити окремі висновки. При цьому були виконані вимоги підприємств скоротити час розрахунку, забезпечити безпеку вихідних даних та скоротити персонал при необхідності. Даний продукт є дуже корисний для підприємств розробки батарей та акумуляторів, адже вони одразу зможуть розрахувати потрібні данні, будучи впевненими в правильності вихідних даних. Вихідна інформація може використовуватися в сфері купівлі продажу спеціалізованих організацій чи організацій, що займаються установкою сонячних батарей.

#### Список використаної літератури

1. Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювані джерела енергії: підруч. /С.О. Кудря. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 230 с.
2. Кашкаров А.П. Ветрогенераторы и солнечные батареи / А.П. Кашкаров. – Москва, 2011. –313 с.
3. Шкрабец Ф.П. Электротехника, основы электроники и микропроцессорной техники: уч. пособие / Ф.П Шкрабец, Д.В. Ципленков, Ю.В Куваев, О.Б Иванов, В.И. Панченко, А.А Колб, – Д.: НГУ, 2004. – 515 с.
4. Півняк Г.Г. Основи вітроенергетики. Підручник [Текст] / Г. Півняк, Ф. Шкрабець, Н. Нойбергер, Д. Ципленков ; М-во освіти і науки України, Нац. гірн. ун-т. – Д.: НГУ, 2015. – 335 с.
5. Прокопеня И.Н. Применение нетрадиционных источников в теплоснабжение / И.Н. Прокопеня, А.А. Матявин – Минск: Беларусский Национальный технический университет, 2016. – 153 с.
6. “Global Wind Energy Council (GWEC) Statistics,” Global Wind Energy Council Web Site,2007–14p.

*Рекомендовано до друку д-ром техн. наук, проф. Слесаревим В.В.*