УДК 004.94:621.311.001.57

Стеценко Інна Вячеславівна
Доктор технічних наук, професор кафедри інформаційних технологій
Київський національний університет будівництва і архітектури, Київ
Зав'ялець Юлія Анатоліївна
Асистент кафедри комп'ютерних наук
Буковинський державний фінансово-економічний університет, Чернівці

ДОСЛІДЖЕННЯ ЕФЕКТИВНОСТІ ВПРОВАДЖЕННЯ АЛЬТЕРНАТИВНИХ ДЖЕРЕЛ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ

Анотація. *Останнім часом в Україні у зв'язку з економічною кризою та зростанням цін на енергоресурси все більше значення приділяється застосуванню відновлювальних джерел енергії та розвиток технологій у цій сфері. Досліджується проблема ефективного споживання енергії альтернативних джерел, зокрема сонячної енергетики на території України. У статті запропоновано модель енергоспоживання та наведено результати дослідження ефективності впровадження проектів з генерування сонячної електроенергії фізичними особами, проаналізовано умови, які впливають на зменшення терміну окупності сонячних установок. Імітаційна модель енергоспоживання побудована з використанням стохастичної мережі Петрі. Створена модель системи електроспоживання дає можливість фізичним особам визначити для себе найбільш прибуткову стратегію споживання електроенергії.*

Ключові слова: модель енергоспоживання; стохастична мережа Петрі; сонячна електроенергія; зелений тариф

Вступ

Світовий попит на енергію з розвитком науки та техніки стрімко зростає. У зв'язку з цим все більше уваги приділяють відновлювальним енергоресурсам, зокрема енергії Сонця, яка в перспективі взагалі може витіснити традиційну.

Питання економічної ефективності та доцільності використання сонячної енергії висвітлюється у роботах С.О. Кудрі [1], А.В. Макарова, В.А. Скришевського, М.І. Клюй [2], Б.Є. Патона [3]. Їх дослідження спрямовані на вивчення перспективи використання сонячної електроенергії та прогнозування можливого розвитку даної галузі.

Перевагами відновлювальних джерел електроенергії є їх доступність, невичерпність, відсутність шкідливих викидів у навколишнє середовище та екологічна чистота. Пыд час використання сонячної енергії зникає необхідність у видобуванні, переробці, збагаченні та транспортуванні палива, а також утилізації шкідливих відходів, що притаманні традиційному виробництву енергії [4].

В умовах економічної кризи ще одним фактором, що спонукає до пошуку альтернативних шляхів виробництва та використання енергії, є зростання цін на традиційні енергоресурси. Тому запровадження енергоощадних заходів та ефективне використання новітніх технологій виробництва є актуальною задачею. Збільшення обсягів використання сонячної енергії суттєво збільшить енергоресурси України, а також забезпечить екологічну чистоту, соціальний та економічний розвиток країни.

Сонячна енергія характеризується значним запасом у порівнянні з будь-якими традиційними джерелами і доступна у відкритій формі (не потрібні ліцензії на видобування та немає обмежень на кількість) [5]. Середньомісячний потенціал сонячної енергії в Україні складає 1235 кВт-год/м^2 (таку енергію можна отримати при спалюванні 100 м^2 газу) і є значно вищим ніж, наприклад, в Німеччині (1000 кВт-год/м^2) чи у Польщі (1080 кВт-год/м^2). Технічно допустимий потенціал сонячної енергії з дахів житлового фонду України на сьогодні становить 26-37 ТВт-год/рік або 2,16-3,08 ТВт-год/місяць.

Сонячні установки є досить перспективними та економічно доцільними. Відомо, що за чверть століття ціна сонячних систем зменшилась у 20 разів [4]. Вартість сонячних модулів на основі нових технологічних досягнень зменшується у середньому на 25% на рік [6]. В умовах нашого клімату сонячні системи працюють цілий рік, щоправда з дещо змінною ефективністю, оскільки середня тривалість світлового дня складає 5-7 годин. Власне оптичні втрати при роботі сонячного колектора становлять від 14 до 21% [7].

 © І.В. Стеценко, Ю.А. Зав'ялець

Нині в Україні склалося досить сприятливе правове поле для розвитку сонячної енергетики, діє «зелений» тариф, що гарантований державою до 1 січня 2030 року. Держава гарантує, що весь обсяг виробленої електроенергії з відновлювальних джерел буде викуплено за «зеленим» тарифом.

Згідно Закону України «Про внесення змін до деяких законів України щодо забезпечення конкурентних умов виробництва електроенергії з альтернативних джерел енергії» (№ 514-19 від 04.06.2015) ставка «зеленого» тарифу для дахових сонячних електростанцій, побудованих у 2015 р., становитиме 0,20 €/кВт-год, для побудованих у 2016 р. — 0,19 €/кВт-год, побудованих у 2017-2019 рр. — 0,18 €/кВт-год, у 2020-2024 р. — 0,16 €/кВт-год, у 2025-2029 р. — 0,14 €/кВт-год.

Мета статті

Метою даного дослідження є розробка моделі енергоспоживання для оптимізації використання сонячної енергії та визначення ефекту від впровадження проектів з генерування сонячної електроенергії фізичними особами.

Вартість сонячної електроенергії

Розглянемо сонячну установку потужністю 10 кВт та вартістю 12500 €. За рік така установка генерує в середньому 14000-15000 кВт електроенергії. Термін експлуатації сонячних батарей в середньому становить 25 років. Отже, вартість 1 кВт сонячної електроенергії, генерованої такою установкою, можна оцінити такими розрахунками:

$$Q_1 = 15000 \text{ кВт-год};$$
$$Q_{25} = Q_1 \cdot 25 = 375000 \text{ кВт-год};$$
$$C = \frac{12500}{Q_{25}} = 0{,}033 \text{ €/кВт-год},$$

де Q_1, Q_{25} – кількість згенерованої сонячної енергії за 1 та 25 років відповідно; C – вартість 1 кВт-год сонячної електроенергії.

Отже, 1 кВт-год сонячної енергії коштуватиме 0,033 € або близько 0,9 ₴ у національній валюті.

Величина генерованої сонячної енергії, звісно, залежить від погодних умов. Аналіз розподілу величини генерованої енергії сонячної установки потужністю 10 кВт за даними, наданими власником сонячної електростанції, який проживає у Львові, наведено на рис. 1.

Енергоспоживання середньостатистичного домогосподарства становить 275 кВт-год на місяць, тобто за рік – 3300 кВт-год. Це означає, що надлишок електроенергії у розмірі 11700 кВт-год може бути проданий в електромережу за «зеленим» тарифом.

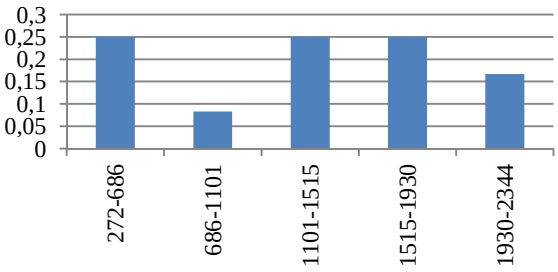

Рисунок 1 – Гістограма частот кількості генерованої сонячної енергії

Зважаючи на те, що тариф на електроенергію в Україні зростає і з 2016 р. становитиме 0,99 ₴/кВт-год, а з 2017 – 1,68 ₴/кВт-год, можна стверджувати про значну перевагу використання сонячної електроенергії над енергією електромереж.

Кількісну оцінку ефекту від використання сонячної енергії можна отримати, використовуючи модель енергоспоживання, що враховує розподіл використання електроенергії з доступних джерел, потребу споживачів та поточний тариф на вироблену та спожиту електроенергію.

Модель енергоспоживання

Найпростіша система енергоспоживання складається з фізичної особи, яка є одночасно споживачем та виробником сонячної електроенергії та електромережі, яка є одночасно постачальником електроенергії та споживачем сонячної енергії (рис. 2).

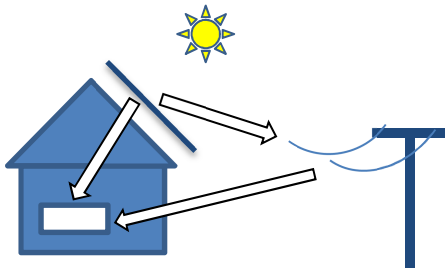

Рисунок 2 – Схематичне зображення системи енергоспоживання

Для оцінювання ефекту від використання сонячної електроенергії достатньо розглянути дану систему на рівні подій, за яких приймається рішення про використання сонячної або звичайної електроенергії. Поняття дискретно-подійної системи дано в [8].

Для побудови моделі скористаємось стохастичною мережею Петрі з багатоканальними та конфліктними переходами, з інформаційними зв'язками [9]:

$$\text{PetriNet} = (\mathbf{P}, \mathbf{T}, \mathbf{A}, \mathbf{W}, \mathbf{K}, \mathbf{I}, \mathbf{R}),$$

де $\mathbf{P} = \{P\}$ – множина позицій; $\mathbf{T} = \{T\}$ – множина переходів; $\mathbf{P} \cap \mathbf{T} = \varnothing$, $\mathbf{A} \subseteq (\mathbf{P} \times \mathbf{T} \cup \mathbf{T} \times \mathbf{P})$ – множина дуг;

$\mathbf{I} \subseteq (\mathbf{P} \times \mathbf{T})$ – множина інформаційних дуг; $\mathbf{W} : \mathbf{A} \cup \mathbf{I} \to \mathrm{N}$ – множина натуральних чисел, що задають кратності дуг; $\mathbf{K} = \{(c_T, b_T) \mid T \in \mathbf{T}, c_T \in \mathrm{N}, b_T \in [0;1]\}$ – множина пар значень, що задають пріоритет та ймовірність запуску переходів; $\mathbf{R} : \mathbf{T} \to \Re_+$ – множина невід'ємних дійсних значень, що визначають часові затримки в переходах.

Переходи – це активні елементи мережі, які позначають події, що здійснюються при виконанні певних умов. Позиції символізують умови для здійснення подій. Кількість маркерів у позиціях визначають виконання або невиконання певних умов для здійснення подій. Кожна подія має передумови, необхідні для її здійснення, та післяумови, які є результатом її здійснення. Відповідно до цих логічних зв'язків позиції та переходи з'єднуються дугами (рис. 3). Стан стохастичної мережі Петрі визначається маркуванням її позицій та множиною значень моментів виходу маркерів з переходу. Послідовність запусків переходів відтворює динаміку системи, що моделюється.

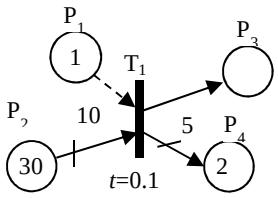

Рисунок 3 – Перехід стохастичної мережі Петрі

Стохастична мережа Петрі, на відміну від базової, містить часові затримки в своїх переходах. Часова затримка може бути визначена детермінованим значенням (у тому числі нульовим) або стохастичним з визначеним законом розподілу (у тому числі емпіричним). Багатоканальний перехід, на відміну від звичайного, допускає одночасний запуск, якщо для цього є достатня кількість маркерів у вхідних позиціях переходу. Інформаційний зв'язок відтворює дозвіл на запуск переходу. Перехід, показаний на рис. 2, має передумови, зображені позиціями P_1 та P_2, та післяумови, зображені позиціями P_3 та P_4. Маркування позицій надає можливість запуску представленого переходу тричі, при кожному з яких з позиції P_2 віднімається 10 маркерів та запам'ятовується значення виходу маркерів з переходу. При кожному виході маркерів з переходу в позицію P_3 додається 1 маркер, а в позицію P_4 – 5 маркерів.

Для того щоб представити систему засобами мережі Петрі, потрібно [10]:

– виділити події, що виникають в системі, і поставити у відповідність кожній події перехід мережі Петрі;

– з'ясувати умови, за яких виникає кожна з подій, і поставити у відповідність кожній умові позицію мережі Петрі;

– визначити кількість маркерів у позиції мережі Петрі, що символізує виконання умови;

– з'єднати позиції та переходи відповідно до логіки виникнення подій у системі: якщо умова передує виконанню події, то з'єднати в мережі Петрі відповідну позицію з відповідним переходом; якщо умова є наслідком виконання події, то з'єднати в мережі Петрі відповідний перехід з відповідною позицією;

– з'ясувати зміни, які відбуваються в системі при здійсненні кожної події, і поставити у відповідність змінам переміщення визначеної кількості маркерів із позицій в переходи та з переходів у позиції;

– визначити числові значення часових затримок у переходах мережі.

Система, що моделюється, складається зі споживача, який має потребу в електроенергії та реалізує цю потребу за рахунок сонячної енергії, яку генерує власною сонячною установкою, або за рахунок електроенергії з мережі. Сонячна енергія є пріоритетною для споживача. У разі нестачі сонячної енергії (СЕ) використовується електроенергія електромережі (ЕЕ), а якщо є надлишок СЕ, то здійснюється її продаж за «зеленим тарифом». За результатами моделювання визначаються: кількість згенерованої СЕ при різній потребі споживача, кількість проданої СЕ за «зеленим тарифом», прибуток від продажу СЕ.

Виділимо події, які відбуваються в даній системі:

– генерування СЕ (Т1);
– генерування ЕЕ (Т2);
– генерування потреби в електроенергії (Т3);
– використання ЕЕ (Т4);
– використання СЕ (Т5);
– продаж СЕ (Т7);
– не здійснений продаж СЕ (T_6).

Подія «генерування потреби в електроенергії» відбувається незалежно від стану системи. Подія «використання СЕ» відбувається за умови наявності потреби споживача. Подія «використання ЕЕ» відбувається лише за умови, що згенерованої СЕ не достатньо для задоволення потреби споживача. Крім того, подія «використання ЕЕ» має менший пріоритет ніж подія «використання сонячної електроенергії». Подія «продаж СЕ» відбувається за умови, що є надлишок згенерованої СЕ, і має менший пріоритет, ніж подія «використання СЕ». Побудована модель енергоспоживання представлена на рис. 4.

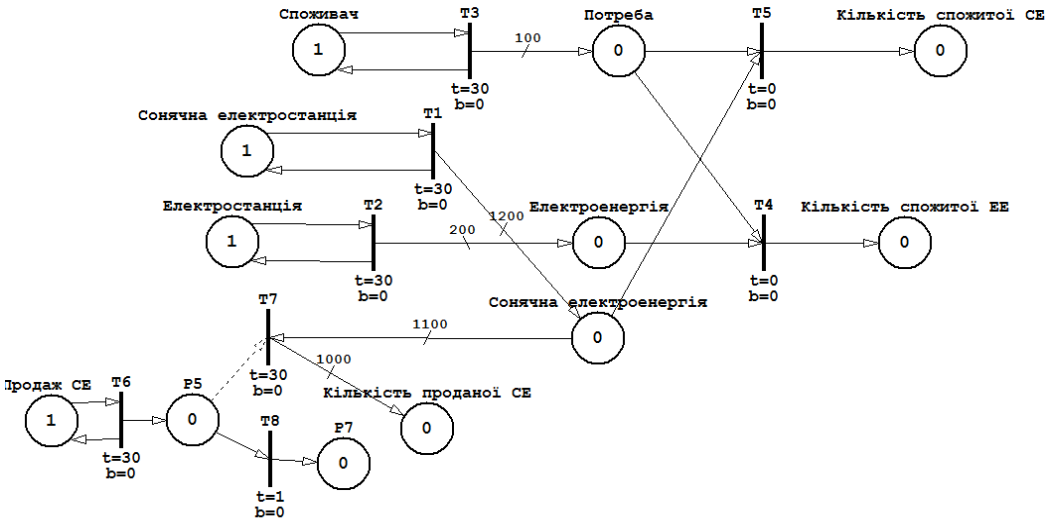

Рисунок 4 – Мережа Петрі, що представляє формалізовану модель системи електроспоживання фізичною особою

Експеримент з моделлю системи проведений з метою визначення впливу інтенсивності споживання СЕ на термін окупності сонячної електростанції потужністю 10 кВт. Інтенсивність споживання СЕ змінювалась в експерименті від 100 до 600 кВт-год/місяць. Інтенсивність генерування електроенергії сонячною установкою взята такою, що дорівнює 1200 кВт-год/місяць. Інтенсивність генерування в електромережі прийнята вдвічі більшою за потреби споживача, щоб не виникало обмеження для її споживання.

Для визначення ефективності використовується величина V прибутку за рік від продажу сонячної електроенергії за «зеленим тарифом»:

$$V = (K_{CE} \cdot G + C \cdot K_{CnE})/H,$$

де K_{CE} – кількість проданої сонячної електроенергії; G – «зелений» тариф; C – вартість 1 кВт сонячної електроенергії у гривні; K_{CnE} – кількість спожитої електроенергії; H – курс євро.

Для того щоб розрахувати термін повернення капіталовкладень, потрібно вартість установки розділити на прибуток від сонячної електроенергії за рік.

Результати експериментів наведені у табл. 1, 2, з яких випливає, що найбільший прибуток отримано від сонячної електростанції потужністю 10 кВт при споживанні 100 кВт-год/місяць. Провівши вищенаведені обчислення, отримали найкоротший термін окупності установки 5 років за інтенсивності споживання 100 кВт-год/місяць. За інтенсивності споживання 600 кВт-год/місяць сонячна електростанція окупиться за 9 років.

Таблиця 1 – ***Термін окупності сонячної електростанції потужністю 10 кВт***

Інтенсивність споживання, кВт-год/місяць	Термін окупності установки вартістю 12500 €, років
100	5
275	6
400	7
500	7
600	8

Таблиця 2 – ***Прибуток від продажу сонячної електроенергії за «Зеленим тарифом»***

Тарифи на електроенергію з мережі, €		Споживання електроенергії, кВт-год/ рік	Кількість проданої сонячної енергії, кВт-год/рік	Прибуток від продажу сонячної енергії за «зеленим» тарифом 0,19 €/кВт-год, €	
2016 р.	2017 р.			2016 р.	2017 р.
0,57	0,9	1200	12000	2 304,79	2 319,14
0,99	1,68	3300	10000	2 018,41	2 100,94
0,99	1,68	4800	8000	1 692,24	1 812,28
0,99	1,68	6000	7000	1 545,30	1 695,35
0,99	1,68	7200	6000	1 398,35	1 578,42

Висновки

Використання сонячної енергії на сучасному етапі розвитку економіки України є недостатнім і не відповідає загальноєвропейському рівню. Однак поступові кроки у законодавчій та нормативно-правовій базі держави зробили поштовх для розвитку альтернативної енергетики в Україні. На сьогодні сфера альтернативної енергетики, зокрема сонячної, є однією з найбільш інвестиційно привабливих в Україні, що пов'язано з використанням державою прямих фінансових дотацій, та вагомим фактором у покритті дефіциту енергоресурсів.

Модель енергоспоживання, яка побудована, надає можливість оцінити кількісно ефект від впровадження проектів з генерування сонячної електроенергії фізичними особами та визначити найбільш прибуткову стратегію споживання електроенергії залежно від поточних тарифів на енергоресурси.

За результатами експерименту з моделлю енергоспоживання фізичними особами, що виробляють сонячну енергію, зроблені висновки про динаміку зміни прибутку при варіації інтенсивності генерування та інтенсивності споживання сонячної електроенергії.

Таким чином, імітаційна модель енергоспоживання є потужним інструментом для оцінки ефективності впровадження альтернативних джерел енергії. У подальшому модель може бути розвинута для дослідження оцінки ефективності колективного споживання джерел сонячної електроенергії; для визначення оптимального розподілу між споживанням альтернативної та традиційної електроенергії.

Модель енергоспоживання може бути деталізована також з урахуванням показників, які впливають на енергоефективність будинку, такі як архітектура будинку та його розташування відносного сонця [11].

Список літератури

1. *Кудря С.О. Нетрадиційні та відновлювальні джерела енергії: Підручник / С.О.Кудря.¬ 2012 -¬ 492 с.*
2. *Сучасні технології виробництва кремнію та кремнієвих фотоелектричних перетворювачів сонячної енергії [Текст] : монографія / А.П.Оксанич [та ін..]; НАН України, Ін-т фізики напівпровідників ім.. В.Є.Лашкарьова. – 2010. – 266 с.*
3. *Патон Б.Є. Умови ефективного застосування сонячних електроенергетичних систе / Б.Є. Патон, М.І. Клюй, О.Є.Коротинський, А.В.Макаров, Ю.О.Трубіцин // Вісник Національної академії наук України. – 2012. – № 3. – С. 48-58.*
4. *Возняк О.Т. Енергетичний потенціал сонячної енергетики та перспективи його використання в Україні / О.Т.Возняк, М.Є.Янків // Вісн. Нац. ун-ту «Львів. політехніка». Теорія і практика буд-ва. ¬ 2010. ¬ № 664. ¬ С.7-10.*
5. *Сонячна енергія. Чому це вигідно для України. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: http://teplovam.com/index.php/opalennya/4-soniachni-systemy?showall=&start=1.*
6. *Литовченко В.Г. Сонячна енергетика: порядок денний для світу й України / В.Г. Литовченко, М.В. Стріха ; Укр. фіз. т-во, Наук. рада «Фізика напівпровідників та діелектриків» НАН України. – 2015. – 37 с.*
7. *Шаповалов С.П. Перспективи використання сонячної енергії на території України / С.П.Шаповалов., І.І.Венгрин. // Науковий журнал «Молодий вчений» ¬ 2014.¬ №7.¬ С.21-23.*
8. *Томашевський В.М. Моделювання систем. – 2005. – 352 с.*
9. *Stetsenko, I.V. State equations of stochastic timed Petri nets with informational relations // Cybernetics and Systems Analysis. – 2012. – Vol.48. – No. 5. – P. 784-797.*
10. *Стеценко І.В. Моделювання систем: навч. посібник / І.В. Стеценко; М-во освіти і науки України, Черкас. держ. технол. ун-т. – 2011 . – 502 с.*
11. *Демченко В.В. Методи підвищення енергоефективності будівлі / В.В.Демченко, Х.М.Чуприна, О.В.Невмержицький // Управління розвитком складних систем. – 2014. – Вип.16. – С.138-143.*
12. *Стаття надійшла до редколегії 16.02.2016*

Рецензент: д-р техн. наук, проф. С.В. Голуб, Черкаський національний університет імені Богдана Хмельницького, Черкаси.

Стеценко Инна Вячеславовна
Доктор технических наук, профессор кафедры информационных технологий
Киевский национальный университет строительства и архитектуры, Киев
Завьялец Юлия Анатольевна
Ассистент кафедры компьютерных наук
Буковинский государственный финансово-экономический университет, Черновцы

ИССЛЕДОВАНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ВНЕДРЕНИЯ АЛЬТЕРНАТИВНЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ

Аннотация *В последнее время в Украине в связи с экономическим кризисом и ростом цен на энергоресурсы все большее значение уделяется применению возобновляемых источников энергии и развитию технологий в данной сфере. Исследуется проблема эффективного потребления энергии альтернативных источников, в частности солнечной энергетики на территории Украины. В статье предложена модель энергопотребления и приведены результаты исследования эффективности реализации проектов по генерированию солнечной электроэнергии физическими лицами, проанализированы условия, которые влияют на уменьшение срока окупаемости солнечных установок. Имитационная модель энергопотребления построена с использованием стохастической сети Петри. Созданная модель системы электроснабжения дает возможность физическим лицам определить для себя наиболее прибыльную стратегию потребления электроэнергии.*

Ключевые слова: солнечная электроэнергия; модель энергопотребления; зеленый тариф; сети Петри

Stetsenko Inna
DSc, Professor
Kyiv National University of Construction and Architecture
Zav'yalets Julia
Assistant of Department of Computer Science
Bukovyna State Finance and Economics University, Chernivtsi

RESEARCH OF EFFICIENCY OF IMPLEMENTATION OF ALTERNATIVE ENERGY SOURCES

Abstract. *Due to the economic crisis and rising energy prices the use of renewable energy and the development of technologies in this area are becoming more important in Ukraine. The problem of efficient energy consumption of alternative sources such as solar energy in Ukraine is investigated. In the article the model of energy consumption is proposed and research results of the effectiveness of projects for individual solar electricity systems are considered, impact factors on reducing the payback period of solar electricity system are analyzed. Simulation model of energy consumption is constructed using stochastic Petri net. The model of system of power consumption enables individuals to determine for themselves the most profitable strategy for electricity consumption.*

Keywords: model of energy consumption; stochastic Petri nets; solar power; green tariff.

References

1. *Kudrya, S. (2012). Alternative and renewable energy sources: tutorial. [in Ukrainian]*
2. *Modern technologies of production of silicon and silicon photovoltaic solar energy [Text] : monograph (2010) / A.P.Oksanych [and other.]; NAS of Ukraine, V.Ye.Lashkarov Institute of Semiconductor Physics. [in Ukrainian]*
3. *Paton B.Ye. (2012). Conditions of efficient use of solar power systems / B.Ye. Paton, M.I. Klyuy, O.Ye.Korotyns'kyy, A.V.Makarov, Yu.O.Trubitsyn // Bulletin of the National Academy of Sciences of Ukraine, 3, 48-58. [in Ukrainian].*
4. *Voznyak O.T. (2010). The energy potential of solar energy and the prospects for its use in Ukraine / O.T.Voznyak, M.Ye.Yankiv // Proceedings of the National University "Lviv Polytechnic" Theory and practice of construction, 664,7-10.*
5. *Solar energy. Why is it profitable for Ukraine. http://teplovam.com/index.php/opalennya/4-soniachni-ystemy?showall=&start=1. [in Ukrainian]*
6. *Lytovchenko V.H. (2015). Solar energy: an Agenda for Peace and Ukraine / V.H. Lytovchenko, M.V. Strikha ; Ukrainian Physical Society, Scientific Council "Physics of semiconductors and dielectrics" NAS of Ukraine. — 37 s.*
7. *Shapovalov, S., & Shapovalov, S., Venhryn I. (2014). Prospects of the use of solar energy in Ukraine // Scientific journal "Young Scientist", No.7, 21-23. [in Ukrainian]*
8. *Tomashevs'kyy V.M. Systems modeling. – 2005. - 352 s.*
9. *Stetsenko, I.V. (2012). State equations of stochastic timed Petri nets with informational relations // Cybernetics and Systems Analysis, Vol.48, No. 5, 784-797.*
10. *Stetsenko, I.V. (2011). Systems modeling: tutorial / I.V. Stetsenko; Cherkasy state technological university. Demchenko, V., & Chupryna, Kh., Nevmerzhyts'kyy, O. (2014). Methods of energy efficiency increasing of the building // Upravlinnya rozvytkom skladnykh system, Vyp.16, 138-143.*

Посилання на публікацію

APA *Stetsenko Inna, & Zav'yalets, Julia, (2016). Research of efficiency of implementation of alternative energy sources. Management of Development of Complex Systems, 25, 172-177.*

ГОСТ *Стеценко І.В. Дослідження ефективності впровадження альтернативних джерел електроенергії [Текст] / І.В. Стеценко, Ю.А. Зав'ялець // Управління розвитком складних систем. – 2016. – № 25. – С. 172-177.*