

УДК 621.311

А. С. Бондарчук, канд. техн. наук

### ПРОГНОЗНА ЕНЕРГЕТИЧНА, ЕКОНОМІЧНА ТА ЕКОЛОГІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ ЗАПРОВАДЖЕННЯ МЕРЕЖЕВИХ СОНЯЧНИХ ЕЛЕКТРОСТАНЦІЙ В РИНКОВИХ УМОВАХ

*Анотація.* Досліджено прогнозу ефективність запровадження мережесонячних станцій на підставі моделювання динаміки розвитку технології їх виготовлення, вартості устаткування, монтажу, експлуатаційних витрат та зміни тарифів на електроенергію, що надасть можливість виробникам планувати їх виробництво, а потенційним споживачам орієнтуватися в доцільності їх використання в ринкових умовах.

*Ключові слова:* прогноз, ефективність, сонячні електростанції, моделювання, планування, виробництво, тарифи, електроенергія, ринкові умови.

А. С. Бондарчук, канд. техн. наук

### ПРОГНОЗИРУЕМАЯ ЭНЕРГЕТИЧЕСКАЯ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ И ЭКОЛОГИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИСПОЛЬЗОВАНИЯ СЕТЕВЫХ СОЛНЕЧНЫХ ЭЛЕКТРОСТАНЦИЙ В РЫНОЧНЫХ УСЛОВИЯХ

*Аннотация.* Исследовано прогнозируемую эффективность использования сетевых солнечных электростанций на основе моделирования динамики развития технологии их изготовления, стоимости оборудования, монтажа, эксплуатационных расходов и изменений тарифа на электроэнергию, что даст возможность производителям планировать их производство, а потенциальным потребителям ориентироваться в целесообразности их использования в рыночных условиях.

*Ключевые слова:* прогноз, эффективность, солнечные электростанции, моделирование, планирование, производство, тарифы, электроэнергия, рыночные условия.

A. S. Bondarchuk, cand. eng. scienc., ass. profess.

### THE FORECAST POWER, ECONOMIC AND ECOLOGICAL EFFICIENCY OF THE USAGE OF NETWORKED SOLAR POWER-STATIONS UNDER MARKET CONDITIONS

*Abstract.* The forecast efficiency of the usage of networked solar power-stations has been researched on the basis of simulation of dynamics of their manufacturing technology development, equipment cost, installation, maintenance cost and electricity tariff changes, which will give an opportunity to the producers to plan their production, and orient the potential consumers in the necessity of their usage under the conditions of market.

*Keywords:* forecast, efficiency, solar power-stations, simulation, planning, production, tariffs, electric power, market conditions.

**Вступ.** У майбутньому світова енергетика базуватиметься на інтегрованих, гібридних системах, віртуальних, відновлювальних, альтернативних джерелах енергії. Одне з провідних місць серед них займають мережесонячні електростанції, що поширюються в промислових та приватних секторах. Особливо важливо це для України, оскільки середньорічний потенціал сонячної енергії в країні близько 1235 кВт·год / м<sup>2</sup> є досить високим і набагато вищий, ніж у окремих Європейських країнах, де використання таких джерел у загальній генерації електроенергії досить суттєва.

Проблемою інтенсивного застосування в Україні становить їх висока вартість, низький ККД, недостатня нормативно-правова база, відсутність інвестицій до стимулювання цього процесу тощо. Разом із тим, зростання тарифів на електроенергію, підвищення вимог до екологічних стандартів, можливість фінансування за рахунок механізму Кіотського протоколу, вичерпність викопного палива, залежність країни від імпортних енергоносіїв, примушують усе більше замінювати традиційні джерела електроенергії на відновлювальні.

**Аналіз останніх досліджень та оприлюднень щодо проблеми** показав, що питанням ефективності мережевих сонячних електростанцій присвячено багато досліджень у наукових установах, організаціях, ВНЗ, промислових підприємствах і лабораторіях як в Україні так і в країнах світу [1-5].

Однак, у зазначених дослідженнях, в основному, висвітлено проблему тільки щодо ефективності сьогоденних розробок за існуючої ситуації на ринку мережевих сонячних станцій, і поза достатньої уваги залишаються особливості тенденції за останні роки розвитку на перспективу технології їх виготовлення, вартості устаткування, монтажу, експлуатаційних витрат та зміни тарифів на електроенергію, що надаватиме можливість виробникам планувати їх виробництво, а потенційним споживачам орієнтуватися в доцільності їх використання в ринкових умовах, які швидко змінюються у часі.

**Мета статті** — оприлюднення методики та результатів дослідження впливу ринкових чинників на енергетичну, економічну, екологічну ефективність, зменшення строків окупності мережевих сонячних станцій у перспективі та доцільність масового їх застосування.

**Викладення основного матеріалу дослідження**, яке ґрунтується на багаторічних даних виробників мережевих сонячних станцій, компаній із їх реалізації, монтажу, експлуатації та ймовірної динаміки середніх тарифів на електричну енергію традиційних джерел і «зелених тарифів» в ринкових умовах.

За результатами аналізу динаміки середньої ціни сонячних панелей (1) провідних виробників за останні 5 років та прогнозу на

найближчі 10 років за моделлю тренда таких типів як степеневій (2), експоненціальної (3), отримано ймовірну область (4) її коливання на період до 2025 р., що наведено на рис. 1.

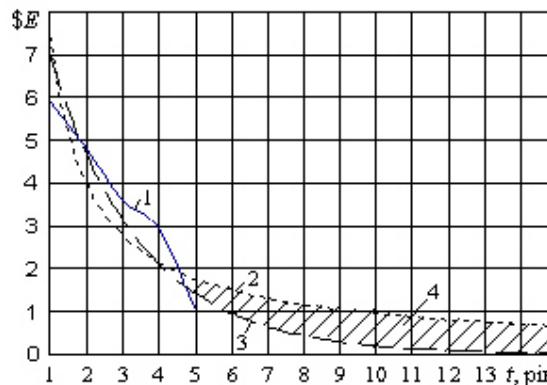


Рис. 1. Результат визначення прогнозової ймовірної області коливання ціни сонячних панелей на період з 2015 по 2025 рр.

Рівняння ліній трендів степеневій (2) й експоненціальної (3) функцій та їх коефіцієнти детермінації  $R^2$ , що підтверджують достатню адекватність рівнянь, мають вигляд

$$E_2 = 741,94t^{-0,8946}, \quad (1)$$

$$R_2^2 = 0,717, \quad (2)$$

$$E_3 = 1032,4e^{-0,3966t}, \quad (3)$$

$$R_3^2 = 0,8682. \quad (4)$$

Результати аналогічного аналізу динаміки з 01.04.2015 до 01.03.2017 та прогнозу до 2025 р. тарифу на електроенергію традиційних джерел для населення, що споживають не більше 600 кВт·год / місяць, наведено на рис. 2.

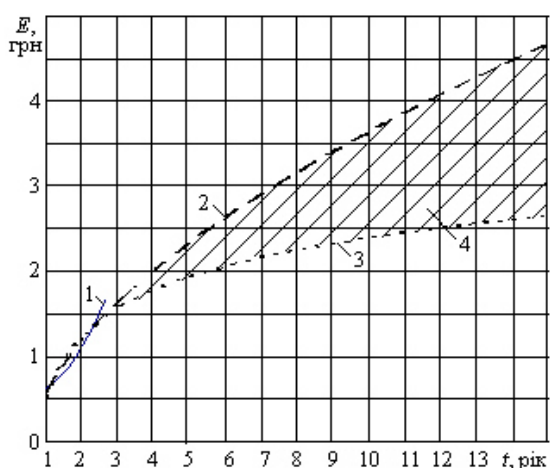


Рис. 2. Результат визначення прогнозної ймовірної області коливання тарифів на електроенергію на період з 2015 по 2025 рр.

Динаміку «зеленого» тарифу на електроенергію для приватного сектору, відповідно до Постанови НКРЕКП № 2046 від 20.07.2015 р., що виробляють електричну енергію з енергії сонячного випромінювання об'єктами електроенергетики, які вмонтовані (встановлені) на дахах та / або фасадах приватних домогосподарств (будинків, будівель та споруд), величина встановленої потужності яких не перевищує 30 кВт, та введені в експлуатацію з 2015 по 2025 р. відповідно, наведено на рис. 3.

Користуючись отриманими результатами дослідження динаміки ймовірних коливань вартості сонячних панелей, «звичайних» та «зелених» тарифів на електроенергію традиційну та сонячного випромінювання на період з 2015 по 2025 рр., можна спрогнозувати ефективність запровадження інноваційного проекту мережевих сонячних станцій в будь-який рік, якщо тенденція ринкових цін не зміниться.

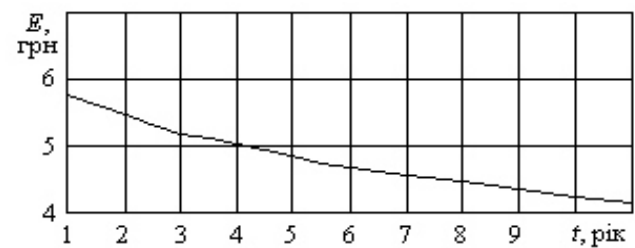


Рис. 3. Динаміка «зеленого» тарифу на електроенергію сонячного випромінювання

Чиста поточна вартість  $NPV$  упродовження інноваційного проекту мережевих сонячних станцій потужністю 30 кВт визначається за формулою

$$NPV = \sum_{t=0}^{25} \frac{R_t - B_t}{(1+k)^t}, \quad (5)$$

де  $R_t$  — прибуток за  $t$ -й рік;  $B_t$  — річні витрати за  $t$ -й рік, які визначаються як різниця між річними капітальними та експлуатаційними витратами;  $k$  — коефіцієнт дисконтування за відсоткової ставки банківських кредитів.

У разі позитивного значення чистої поточної вартості  $NPV$  за період експлуатації, інноваційний проект вважається доцільним до запровадження, в іншому випадку — він збитковий.

Термін окупності визначається послідовним розрахунком чистого доходу для кожного року за весь період реалізації інвестиційних вкладень.

Результат обчислення динаміки чистої приведеної вартості проекту мережевої сонячної електричної станції потужністю 30 кВт за роками введення в експлуатацію 2015, 2020, 2025 рр. наведено на рис. 4, за якого можна спостерігати, що на строки окупності проекту суттєво впливає рік їх вводу в експлуатацію.

Наприклад, якщо закупівля обладнання, його монтаж та початок експлуатації станції відбувся в 2015 р., то строк окупності становитиме близько 12 років, якщо в 2020 р., то строк скорочується майже до 8 років, а якщо відбудеться в 2025 р., строк становитиме близько 5 років і 6 місяців за умови, якщо тенденція ринкових цін збережеться за зазначений період.

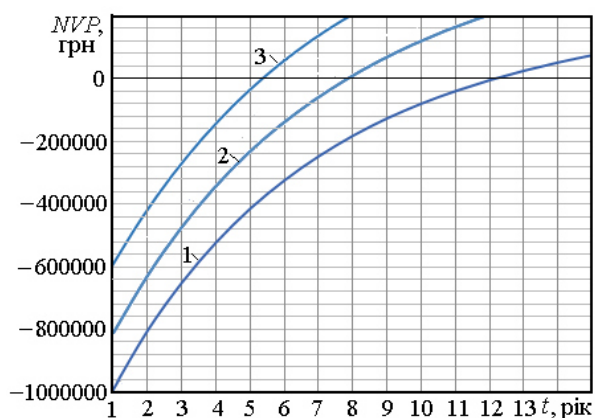


Рис. 4. Результат обчислення динаміки чистої приведеної вартості проекту мережевої сонячної електростанції за роками встановлення:

1 — 2015 р.; 2 — 2020 р.; 3 — 2025 р.

Не складно підрахувати енергетичну ефективність запровадження сонячної електростанції потужністю 30 кВт за наведеним рис. 4.

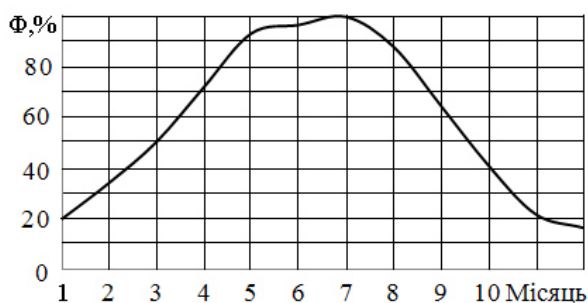


Рис. 4. Динаміка інтенсивності сонячної енергії  $\Phi$  % протягом року в Одеському регіоні

За період експлуатації станція збереже близько 340 тис. т у. п., при цьому вона запобігатиме утворенню близько 323 т парникових газів через вироблення «чистої» електроенергії. Одночасно з цим, орієнтовна економія коштів до 2030 р. за рахунок генерування дешевої електроенергії станцією введеної в експлуатацію в 2015 р., за ймовірним зростанням «звичайних» тарифів на електроенергію традиційних джерел за цей період, становитиме близько 1431 тис. грн.

**Висновки за результатами дослідження та перспективи його розвитку.** Методика та отримані результати дослідження показали суттєвий вплив динаміки ринкових чинників на енергетичну, економічну та екологічну ефективність запровадження мережевих сонячних електростанцій, а саме:

- прогнозна ймовірна область коливання середньої ціни сонячних панелей на період до 2025 р. становитиме \$0,02 — \$0,5 за 1 Вт;

- прогнозна ймовірна область коливання тарифів на електроенергію на період до 2025 р. становитиме 2,7 — 4,7 грн / кВт·год;

- строк окупності сонячної електростанції потужністю 30 кВт введеної в експлуатацію у 2015 становитиме близько 12 років, у 2020 — 8 р., у 2025 р. — 5 років і 6 місяців;

- за весь період експлуатації станція потужністю 30 кВт збереже 340 тис. т у. п., при цьому вона запобігатиме утворенню близько 323 т парникових газів через вироблення «чистої» електроенергії;

- економія коштів до 2030 р. станцією введеної в експлуатацію в 2015 р., становитиме близько 1431 тис. грн.

Важливим напрямом подальшого наукового дослідження за цієї теми полягає в систематичному комплексному аналізі ситуації на ринку з альтернативної, відновлювальної енергетики, політики тарифів на електричну енергію.

### Список використаної літератури:

1. Разумний Ю. Т. Ефективне використання електроенергії та палива [Текст] / Ю. Т. Разумний, А. В. Рухлов, В. М. Прокуда, Н. Ю. Рухлова. — Дніпропетровськ: Національний гірничий університет, 2014.— 223 с.
2. Бондарчук А. С. Внутрішньобудинкове електропостачання [Текст] / А. С. Бондарчук. — К.: Освіта України, 2015. — 480 с.
3. Про встановлення "зелених" тарифів на електричну енергію для приватних домогосподарств [Текст] / Постанова НКРЕКП № 2046 від 20.07.2015 р.
4. Solar Power Network and KLD completes the largest rooftop solar system in Shizuoka, Fuji West (2015), Tokio, Japan, [Electronic resource]. — Available at: <http://solarpowernetwork.ca/2015/newsblog/solar-power-network-com-pletes-1st-besia-solar-installino-approx-500-kw-at-isesaki-ekimae-store/#more-3805%27>.
5. SolarNetOne: Solar-powered networking for anyone [Electronic resource]. — Available at: <http://www.ibm.com/developerworks/library/l-solarnetone/>.

Одержано 16.11.2015.

### References

1. Razumnyi, Y. T. Rukhlov A. V., Prokuda V. M., Rukhlova N. Y. Efektivne vycorystanna electroenergii ta palyva [Effective use of electric power and fuel]. — Dnipropetrovsk: NGY, 2014. Available at [www/URL:http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/1923/HTБ451990.pdf](http://ir.nmu.org.ua/bitstream/handle/123456789/1923/HTБ451990.pdf). (*In Ukrainian*).
2. Bondarchuk, A. S. Vnutrishnobudyncove electropostachanna [Inwardly household electric power supply]. — Kyiv: Osvita Ukraine, 2015. Available at: [www/URL:http://library.nung.edu.ua/html](http://library.nung.edu.ua/html) (*In Ukrainian*).
3. Pro vstanovlennia "zelenyh" taryfiv na elektrychnu energiu dla pryvatnyh hospodarstv / Postanova NKREKP 2046 vid 20.07.2015 [About establishment of "green" tariffs on electric energy for private house / Resolution NKRE № 2046 from 20.07.2015].— Available at: [www/URL:http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0942-15](http://zakon3.rada.gov.ua/laws/show/z0942-15) (*In Ukrainian*).

w/z0942-15 (*In Ukrainian*).

4. Solar Power Network and KLD completes the largest rooftop solar system in Shizuoka, Fuji West (2015), Tokio, Japan, [Electronic resource]. — Available at: [www/URL:http://solarpowernetwork.ca/2015/newsblog/solar-power-network-com-pletes-1st-besia-solar-installino-approx-500-kw-at-isesaki-ekimae-store/#more-3805%27](http://solarpowernetwork.ca/2015/newsblog/solar-power-network-com-pletes-1st-besia-solar-installino-approx-500-kw-at-isesaki-ekimae-store/#more-3805%27) (*In English*).

5. SolarNetOne: Solar-powered networking for anyone [Electronic resource]. — Available at: <http://www.ibm.com/developerworks/library/l-solarnetone/> (*In English*).



Бондарчук Анатолій  
Сергійович,  
канд. техн. наук,  
доцент кафедри  
електропостачання  
та енергетичного  
менеджменту,  
ІЕЕ, ОНПУ,  
просп. Шевченка, 1,  
м. Одеса, 65044,  
тел. (048)734-86-90  
E-mail: asb@te.net.ua