

В.О.Костюк¹, канд.техн.наук, С.В.Шульженко¹, канд.техн.наук, І.А.Охріменко²¹Інститут загальної енергетики НАН України,

вул. Антоновича, 172, Київ, 03680, Україна,

e-mail: yasyl.kostyuk@ienergy.kiev.ua²Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут»,

пр. Перемоги, 37, Київ, 03056, Україна.

Виконано варіантні розрахунки нормованої ціни виробництва електроенергії малими сонячними фотоелектричними станціями (СФЕС) з використанням моделі життєвого циклу. На основі аналізу чутливості ціни виробництва та розрахункових значень грошового потоку, що формується протягом планового періоду експлуатації станції, наведено оцінки термінів окупності у порівнянні з розрахунками термінів окупності проекту СФЕС у разі застосування пільгового тарифу, що діє в Україні з 1 квітня 2013 р. Вказано на недоліки діючої системи пільгових («зелених») тарифів у сфері електрогенерації України, які призводять до невідповідно глибокої диференціації виробників за технологічними способами генерації. Бібл. 3, рис. 2.

Ключові слова: фотоелектричний модуль, нормована ціна виробництва електроенергії, модель життєвого циклу, тариф.

У [1] наведено розрахункові приклади, які за умови використання поняття «технологічний спосіб» за Л. Канторовичем, дозволяють відстежити поведінку складної системи взаємопов'язаних виробництв. Наприклад, ціну виробництва електроенергії в атомній енергетиці визначають не обмежуючися розглядом функціонування лише ядерних енергоблоків однієї станції.

«Постанційний» ('plant model') розгляд задачі побудови економіко-математичних моделей об'єктів електроенергетики був розвинутий як альтернатива складним ринковим моделям [2] і забезпечує розрахунки цін за умов мінімальних витрат на генерацію. У цій праці модель життєвого циклу за схемою «нормованої ціни виробництва» взята за основу оцінки техніко-економічних показників перспективних для України енергетичних об'єктів, що використовують комплектне обладнання для малих СФЕС.

Модель життєвого циклу сонячної фотоелектричної станції встановленої потужності 10 МВт.

Поняття *нормованої* вартості електроенергії, або розрахункової середньозваженої ціни на електроенергію (англійською мовою: *Levelized Energy Cost – LEC*, також *Levelised Cost of Energy – LCOE*, [2]), яку виробник передає до електромережі у вузлі приєднання до енергосистеми, традиційно використовується у практиці техніко-економічних досліджень енергетичних систем протягом останніх десятиліть.

Для знаходження рівноважної ціни (цін) на вироблені енергетичні продукти вираз для визначення чистої приведеної вартості записують у формі рівняння балансу

$$PV_{revenue} = PV_{cost}, \quad t = \overline{1, n}, \quad (1)$$

причому $PV_{revenue} = PV_{revenue}^{EBIT}$ – приведена вартість грошових потоків-надходжень до «сплати податків та страхових виплат»; PV_{cost} – приведена вартість грошових потоків-витрат; t – позначення поточного часового періоду експлуатації об'єкта (звичай – календарний рік), n – тривалість життєвого циклу енергетичної установки в календарних роках. Ліву і праву частину рівняння (1) визначають таким чином:

$$PV_{revenue} = \sum_t^n Q_t \cdot L_t = 8760 \cdot \sum_t^n \frac{GW_t \cdot C_{ft}}{(1+r)^t} \cdot L_t, \quad PV_{cost} = C^{cap} + \sum_t^n C_t^{O\&M} / (1+r)^t \quad (2, 3)$$

$$C^{cap} = (1+r_w)^k \cdot C_0^{cap} = (1+r_w)^k \sum_t^k \frac{P_t \cdot C}{(1+r_w)^{t-1}} = \sum_t^k \frac{P_t \cdot C}{(1+r_w)^{t-1-k}}. \quad (4)$$

Записані співвідношення містять позначення (індекс t є маркером належності до t -го періоду життєвого циклу): C^{cap} – загальна сума капітальних витрат на будівництво і монтаж об'єкта, включно з витратами на банківське обслуговування; $C_t^{O\&M}$ – загальна сума експлуатаційних витрат (умовно постійних і змінних витрат на поточне обслуговування й паливо); r – дійсна ставка дисконтування, дисконт у % (тут *дисконт* – вартість альтернативного розміщення грошових коштів, наприклад, розмір фіксованого процентного доходу, виплачуваного фінансовими установами при вкладанні коштів у фінансові інвестиційні чи банківські продукти); Q – вироблена енергія (теплова чи електрична); L – невідома середня (нормована) ціна виробленого енергопродукту в поточному періоді/році; GW – потужність установки; C_{ft} – коефіцієнт використання встановленої потужності (КВВП) у поточному експлуатаційному періоді/році; C – сукупний обсяг фінансування будівництва, визначений фінансо-

вим планом (дійсний капітал або *Engineering&Procurement Cost – EPC*); C_0^{cap} – приведена до початку періоду будівництва капітальна вартість проекту СФЕС; P_t – частка планових капітальних витрат від сукупного в році t , %; r_w – зважена середня ставка вартості капіталу, %. Таким чином, (4) враховує приведену до початкової дати експлуатації вартість капітальних витрат.

Для розрахунку номінальної нормованої ціни витрати на обслуговування і паливо $C_t^{O\&M}$ у (3) враховують з показником річної інфляції $i=1\div3\%$ в термінах номінальної вартості грошей

$$PV_{cost} = C^{cap} + \sum_t \frac{C_t^{O\&M} (1+i)^t}{(1+R)^t} = C^{cap} + \sum_t C_t^{O\&M} \left[\frac{1+i}{1+R} \right]^t, \quad (5)$$

де R – номінальна ставка дисконту, %, визначається як $R = (1+r) \times (1+i) - 1$; тоді $L_t = L_{COE} \cdot (1+i)^t$.

Для розрахунків техніко-економічних показників СФЕС використовуємо запис моделі життєвого циклу за схемою дійсної номінальної нормованої ціни $LCOE$, де враховано темп деградації установки SDR , а сумарні щорічні капітальні витрати C^{cap} взято з вирахуванням приведенної залишкової вартості RV

$$LCOE = \left(C^{cap} - \frac{RV}{(1+r)^n} + \sum_t \frac{C_t^{O\&M} (1+i)^t}{(1+r)^t} \right) / \left(8760 \cdot \sum_t \frac{GW_e \cdot C_{fr} (1-SDR)^t}{(1+r)^t} \right). \quad (6)$$

Характеристики наземної СФЕС	Розрахункове значення
Встановлена потужність GW_e , МВт	10.0
Середньорічний обсяг виробленої електроенергії Q , МВт·год	10 928.0
Темп деградації установки (щорічне скорочення виробітку електроенергії, SDR), %	0.25
Сукупні капітальні витрати C^{cap} , кEUR	10 002.72
Сума позики $0.5C^{cap}$, кEUR	5 001.36
Вартість позики RD , %	6.0
Поточні умовно постійні витрати, всього кEUR/рік	40.00
Поточні умовно змінні витрати на обслуговування, всього кEUR/рік	115.00
Фактор щорічної ескалації умовно змінних витрат, %	2.0

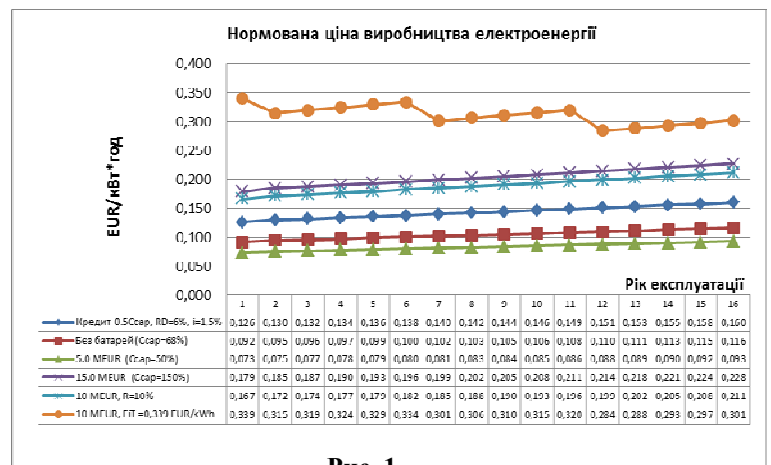


Рис. 1

Питомі обсяги виробництва електроенергії для СФЕС потужністю 10 МВт визначено для географічних умов м. Києва відповідно до даних JRC ЕС шляхом розрахунків з використанням інтерактивного інструмента ONYX Solar (електронний ресурс <http://www.onyx-solar.com/smarttools>). Серії значень нормованої ціни на електроенергію та кумулятивного грошового потоку отримані в результаті варіантних розрахунків для різних значень капітальних та експлуатаційних витрат – з урахуванням витрат на обслуговування банківської позики протягом 5 років за схемою щорічних виплат рівними частками, шляхом ануйтетних платежів. Прийнято, що експлуатація СФЕС розпочинається у 2014-му році, й ціну збуту електроенергії СФЕС до оптового ринку електроенергії встановлено на рівні «зеленого» тарифу з урахуванням коригувань, передбачених Законом України.

На рис. 1 показано криві розрахованих нормованих цін на вироблену електроенергію СФЕС, спорудженої за пілотним проектом у Київській області, а також зазначено техніко-економічні й вартісні показники наземної СФЕС, взяті до розрахунків як базові (номінальні) значення. Цінові оцінки виконані для розрахункового терміну експлуатації $n=20$ років за інфляції $i=1,5\%$ і номінального дисконту $R=5\%$; значення «зеленого» тарифу на електроенергію наземних СФЕС в Україні зображено верхньою ступінчастою кривою.

На рис. 2 зображено криві значень кумулятивного грошового потоку, що формується наростаючим підсумком із надходжень від збуту виробленої електроенергії за нормованими цінами виробництва в залежності від техніко-економічних показників проекту СФЕС. Крива грошового потоку, розрахована за умови зниженого на 35% пільгового FiT₂₀₁₄ тарифу, підтверджує прийнятні терміни окупності станції в межах 10 років. Недоліки цінового регулювання у сфері використання ВДЕ, проявляються у заходах надмірної валоризації: законодавчо закріплений в Україні механізм підтримки виробництва електроенергії сонячними станціями призводить до штучного, економічно необґрунтованого підвищення цін на універсальний суспільно-корисний енергетичний продукт, яким є електроенергія.

Висновки. Розрахункові оцінки нормованої ціни виробництва електроенергії, яка забезпечує незбитковість функціонування наземної СФЕС, свідчать про надприбутковість проекту у разі застосування діючої системи пільгових «зелених» тарифів. Розрахункові терміни окупності проекту за рахунок надходжень від збуту електроенергії, виробленої наземними СФЕС в Україні за діючим тарифом, становлять 4–5 років з урахуванням

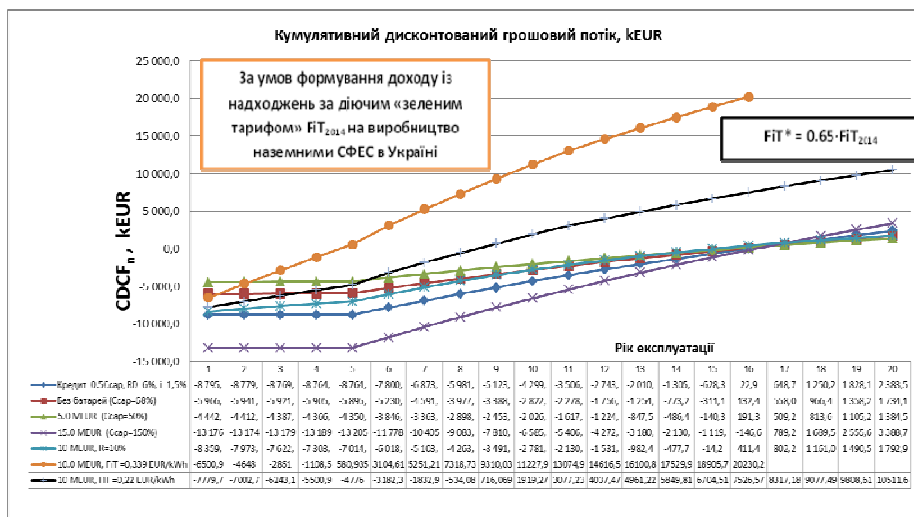


Рис. 2

темпу зниження вартості обладнання [3]. Прийнятний термін окупності СФЕС за типовим проектом у межах десяти років досягається за пільгового тарифу на рівні 0.65 від діючого в Україні станом на 2014 рік. Глибока диференціація ціни виробництва електроенергії в Україні за технологічною ознакою, що підтримується державою через систему «зелених» тарифів, свідчить про стратегічну хибність наявної системи ціноутворення в електроенергетиці, відтак постає необхідність її принципового коригування на законодавчому рівні.

1. Добровольський В.К., Стогній О.В., Костюк В.О., Каплін М.І. Економіко-математичне моделювання енергетичних систем. – К.: Наук. думка, 2013. – 250 с.
2. The Economic Future of Nuclear Power // University of Chicago, 2004. [Електронний ресурс]. – Режим доступу: <http://www.mcs.anl.gov/~animescu/EXTRAS/READING/NuclIndustryStudy-Summary.pdf>. – Назва з екрану.
3. Schroder A. Current and Prospective Cost of Electricity Generation until 2050. – Berlin: DIW, 2013. – 94 p.

УДК 620.92+621.31

ТЕХНИКО-ЭКОНОМИЧЕСКИЕ ОЦЕНКИ ПРОИЗВОДСТВА ЭЛЕКТРОЭНЕРГИИ ФОТОЭЛЕКТРИЧЕСКИМИ СТАНЦИЯМИ И ПРОБЛЕМА ВАЛОРИЗАЦИИ ВОЗОБНОВЛЯЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ ЭНЕРГИИ В УКРАИНЕ

В.О. Костюк¹, канд.техн.наук, С.В. Шульженко¹, канд.техн.наук, И.А. Охрименко²,

¹–Институт общей энергетики НАН Украины,
ул. Антоновича, 172, Киев, 03680, Украина,

e-mail: vasyl.kostyuk@ienergy.kiev.ua

²–Национальный технический университет Украины “Киевский политехнический институт”,
пр. Победы, 37, Киев, 03056, Украина.

Выполнены варианты расчета нормированной цены производства электроэнергии малыми солнечными фотоэлектрическими станциями (СФЕС) с использованием модели жизненного цикла. На основе анализа чувствительности цены производства и расчетных значений денежного потока, который формируется в течение планового периода эксплуатации станции, приведены оценки сроков окупаемости по сравнению с расчетами сроков окупаемости СФЕС в случае применения льготного тарифа, действующего в Украине с 1 апреля 2013 г. Отмечаются недостатки действующей системы льготных («зеленых») тарифов в сфере электрогенерации Украины, которые приводят к неоправданно глубокой дифференциации производителей по технологическим способам генерации. Библ. 3, рис. 2.

Ключевые слова: фотоэлектрический модуль, нормированная цена производства электроэнергии, модель жизненного цикла, тариф.

FEASIBILITY ASSESSMENT OF PHOTOVOLTAIC ELECTRICITY GENERATION PLANT AND VALORIZATION PROBLEM OF RENEWABLE ENERGY SOURCES IN UKRAINE

V.Kostiuk¹, S.Szulzhenko¹, I.Okhrimenko²

¹–Institute of General Energy of NAS of Ukraine,
172, Antonovycha str., Kyiv, 03680, Ukraine,

e-mail: vasyl.kostyuk@ienergy.kiev.ua

²–National Technical University of Ukraine “Kyiv Polytechnic Institute”, pr. Peremohy, 37, Kyiv, 03056, Ukraine.

Variant computations of levelized cost of electricity (LCOE) generated by small photovoltaic power plants (PVPP) have been done within a frame of life cycle model representation. Estimates for payback period have been calculated basing on sensitivity analysis of LCOE and evaluation of discounted cash flow (DCF) curves. Resulting cumulated DCFs are collated to the consequent flow values provided the green feed-in-tariff (FiT) for ground based PVPP effective as of 01 April 2013 has been applied. The drawbacks of the effective green FiT system in Ukraine have been pointed out causing the unreasonable differentiation of electricity producers by technology of generation. References 3, figures 2.

Keywords: photovoltaic module, the levelized cost of electricity production, life-cycle model, the rate.

1. Dobrovolsky V.K., Stogniy O.V., Kostiuk V.O., Kaplin M.I. Energy Economics: the Production type Models for Power Sector. – Kyiv: Naukova dumka, 2013. – 250 p. (Ukr)
2. The Economic Future of Nuclear Power // University of Chicago, 2004. [Electronic resource]. – Access mode: <http://www.mcs.anl.gov/~animescu/EXTRAS/READING/NuclIndustryStudy-Summary.pdf>. – screen title.
3. Schroder A. Current and Prospective Cost of Electricity Generation until. – Berlin: DIW, 2013. – 94 p.

Надійшла 25.02.2014