

СТРАТЕГІЯ РОЗВИТКУ ВІДНОВЛЮВАНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ З ПОЗИЦІЙ СУСПІЛЬНОГО ДОБРОБУТУ

© 2020 КУДІН Т. В., САЯПІН С. П.

УДК 330.36+620.9:51-77
JEL: Q40

Кудін Т. В., Саяпін С. П. Стратегія розвитку відновлюваної енергетики з позицій суспільного добробуту

Показано основні світові тенденції у традиційній і відновлюваній енергетиці. За допомогою загально визначених стандартних показників порівнюється собівартість генерації одиниці енергії з використанням традиційних і відновлюваних джерел. Наведено грошові оцінки впливу на довкілля традиційної енергетики. Надано стислий аналіз стану традиційної енергетики України та перспективи розвитку окремих галузей відновлюваної енергетики. При цьому показано, що внаслідок існуючого стану традиційної енергетики (ядерної, теплової, гідроенергетики) шлях розвитку відновлюваної енергетики є єдиним практично можливим виходом з надзвичайно складної ситуації. Термін експлуатації ядерної енергетики з урахуванням продовження закінчується до 2030 року. Теплова енергетика характеризується надзвичайно низьким коефіцієнтом корисної дії і найбільшою серед країн Європи концентрацією небезпечних речовин у викидах у повітря. Порівняння перспективи розвитку сонячної та біоенергетики показало, що врахування позитивного впливу біоенергетики на стан довкілля повинно враховуватись при оцінці ефективності генерації. Якщо це не враховувати, то, виявляється, що біоенергетика має суттєво гірші показники економічної ефективності відносно сонячної та вітрової енергогенерації. На підставі побудови оптимізаційної моделі сонячної електрогенеруючої станції (СЕС) доведено, що показники ефективності інвестувань у сонячну енергетику покращуються зі зростанням встановленої потужності. Здійснено оцінки терміну окупності за різних величин річного споживання електроенергії домогосподарством залежно від величини встановленої потужності. Зроблено оцінки дисконтного прибутку проекту за гарантований термін експлуатації. Показано, що інвестування в СЕС може бути використано населенням як ефективний фінансовий інструмент.

Ключові слова: відновлювані джерела енергії, зелений тариф; сонячні електростанції, біоенергетика, домогосподарство, термін окупності.

DOI: <https://doi.org/10.32983/2222-4459-2020-4-163-171>

Рис.: 2. **Табл.:** 1. **Формул.:** 14. **Бібл.:** 25.

Кудін Тимур Валерійович – аспірант кафедри аграрного консалтингу і туризму, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, Україна)

Саяпін Сергій Петрович – старший викладач кафедри інформаційних систем, Національний університет біоресурсів і природокористування України (вул. Героїв Оборони, 15, Київ, 03041, Україна)

E-mail: sayarin_sp@ukr.net

УДК 330.36+620.9:51-77
JEL: Q40

Кудин Т. В., Саяпин С. П. Стратегия развития возобновляемой энергетики с позиций общественного благосостояния

Показаны основные мировые тенденции в традиционной и возобновляемой энергетике. С помощью общепризнанных стандартных показателей сравнивается себестоимость генерации единицы энергии с использованием традиционных и возобновляемых источников. Приведены денежные оценки воздействия на окружающую среду традиционной энергетике. Предоставлены краткий анализ состояния традиционной энергетике Украины и перспективы развития отдельных отраслей возобновляемой энергетике. При этом показано, что в результате существующего состояния традиционной энергетике (ядерной, тепловой, гидроэнергетики) путь развития возобновляемой энергетике является единственным практически возможным выходом из сложнейшей ситуации. Срок эксплуатации ядерной энергетике с учетом продления заканчивается к 2030 году. Тепловая энергетика характеризуется чрезвычайно низким коэффициентом полезного действия и наибольшей среди стран Европы концентрацией опасных веществ в выбросах в атмосферу. Сравнение перспективы развития солнечной и биоэнергетики показало, что положительное влияние биоэнергетики на состояние окружающей среды должно учитываться при оценке эффективности генерации. Если это не учитывать, то, оказывается, биоэнергетика имеет существенно худшие показатели экономической эффективности относительно солнечной и ветровой энергогенерации. На основании построения оптимизационной модели солнечной электрогенерирующей станции (СЭС) доказано, что показатели эффективности инвестиций в солнечную энергетике улучшаются с ростом установленной мощности. Осуществлены оценки срока окупаемости при различных величинах годового потребления электроэнергии домохозяйством в зависимости от величины установленной мощности. Сделаны оценки дисконтной прибыли проекта по гарантированному сроку эксплуатации. Показано, что инвестирование в СЭС может быть использовано населением в качестве эффективного финансового инструмента.

Ключевые слова: возобновляемые источники энергии, зеленый тариф, солнечные электростанции, биоэнергетика, домохозяйство, срок окупаемости.

Рис.: 2. **Табл.:** 1. **Формул.:** 14. **Библ.:** 25.

Кудин Тимур Валерьевич – аспирант кафедры аграрного консалтинга и туризма, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (ул. Героев Оборони, 15, Киев, 03041, Украина)

Саяпин Сергей Петрович – старший преподаватель кафедры информационных систем, Национальный университет биоресурсов и природопользования Украины (ул. Героев Оборони, 15, Киев, 03041, Украина)

E-mail: sayarin_sp@ukr.net

Kudin T. V., Saiapin S. P. The Renewable Energy Strategy from the Perspective of Public Welfare

The main global tendencies in both the traditional and the renewable energy are displayed. By means of the generally accepted standard indicators, the article compares the cost of generating a unit of energy using both the traditional and the renewable sources. Monetary estimates of the environmental impact of the traditional energy are presented. A brief analysis of the status of traditional energy in Ukraine and the prospects for the development of the separated renewable energy sectors are provided. In this, the authors show that as a result of the current status of the traditional energy industry (nuclear, thermal, hydropower) the path of development of renewable energy is the only practical way out of the most difficult situation. The life of nuclear power, taking into account the extension, ends by 2030. Thermal energy is characterized by an extremely low efficiency factor and the highest concentration of hazardous substances in the atmosphere among European countries. A comparison of the prospects for solar and bioenergy has shown that the positive impact of bioenergy on the environment should be taken into account when estimating the efficiency of generation. Should this be not taken into account, it turns out that bioenergy has significantly worse economic efficiency indicators relative to solar and wind power generation. Based on the construction of the optimization model of the solar power generation station (SPGS), it is proved that the efficiency of investments in solar energy is improving along with the growth of installed power. Estimates of the payback period at different amounts of annual electricity consumption by the household, depending on the amount of installed capacity, have been made. Estimates of the discount profit of the project for a guaranteed life of operation have been made. It is shown that investing in SPGSs can be used by the population as an efficient financial instrument.

Keywords: renewable energy, green tariff, solar power plants, bioenergy, household, payback period.

Fig.: 2. **Tabl.:** 1. **Formulae:** 14. **Bibl.:** 25.

Kudin Timur V. – Postgraduate Student of the Department of Agricultural Consulting and Tourism, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine)

Saiapin Sergii P. – Senior Lecturer of the Department of Information Systems, National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine (15 Heroiv Oborony Str., Kyiv, 03041, Ukraine)

E-mail: sayapin_sp@ukr.net

Важливо зазначити, що ціна «дешевої» традиційної електроенергії виглядає доступною лише тому, що відразу не відображає ні початкових капітальних витрат, ні вартості модернізації обладнання, а для ядерної енергетики – зберігання, переробку та захоронення ядерних відходів. Також, як правило, не зазначаються кошти на компенсацію погіршення стану довкілля, а особливо кліматичних змін. Вже на цей час 42 країни тарифікують викиди вуглецю. Існують декілька варіантів тарифікації за викиди вуглецю, однак на цей час у розвинутих країнах ціна компенсації шкоди довкіллю від 1 тонни вуглецю знаходиться у межах 20–30 євро [14] з перспективою зростання до 50–100 дол. до 2030 року.

Водночас не слід применшувати, особливо в країнах з низьким рівнем доходів населення, вплив величини «зеленого тарифу» на зростання тарифів на електроенергію для населення та фактичне стимулювання розвитку відновлюваного напрямку енергетики за рахунок коштів державного бюджету як малих потужностей генерації з ВЕД (домогосподарства), так і промислових. Звичайно, цим же шляхом пішла й Україна, яка внаслідок катастрофічного стану традиційної енергетики [9; 10] призначила на початковому етапі надзвичайно високий «зелений» тариф (до 70 євроцентів за кВт*год). Корекція відбулася у 2015–2016 рр. під час прийняття Енергетичної стратегії України 2035 р. [4; 5]. Тарифи було зменшено до величини, що не перевищує 18 євроцентів (сонячна енергія), і в енергетичній стратегії було згадано, що «зелений» тариф діє незмінним до 2035 р. І тягар цього розвитку має нести все населення України – як

інвестори у відновлювану енергетику, так і звичайні споживачі електроенергії [19]. Для переходу на безпечну й екологічну енергетику потрібний інвестиційний потенціал всього населення України. Тому потрібно створити однакові умови для успішного інвестування як великим, так і малим інвесторам.

На сьогодні вже понад 24 тис. домогосподарств в Україні використовують сонячні електростанції загальною потужністю в 618 МВт, а сумарний обсяг вкладених ними коштів складає близько 495 млн євро [7]. Загалом понад 24 тис. СЕС у домогосподарствах дозволяють генерувати більше 700 млн кВт*год екологічно чистої електроенергії у рік. А такого обсягу енергії достатньо для близько 230 тис. родин.

Що стосується сільських територій, то на час прийняття Енергетичної стратегії вважалося, що, враховуючи похідні діяльності аграрного сектора, головною складовою поновлюваної енергетики буде біоенергетика, що базується на біологічних рештках [18; 25]. Подальший хід подій показав неспроможність цих припущень, оскільки, скоріше за все, не було враховано, що, на відміну від сонячних або вітрових ВЕД, у біоенергетиці не існує безкоштовної природної енергетичної сировини і за неї потрібно сплачувати, у найкращому випадку за збір, транспортування та складування. Ситуація змінюється, якщо, крім економічної складової біоенергетики, враховувати екологічну складову, тобто ефективну утилізацію відходів життєдіяльності домогосподарств, а також їх товарного виробництва рослинницької та тваринницької продукції.

Мета представленої роботи: визначити пріоритетні напрямки стратегії розвитку відновлюваної енергетики на підставі максимізації функції суспільного добробуту, що враховує забезпечення економіки та населення доступною електроенергією, враховуючи екстернальні ефекти (вплив на довкілля).

У 2017 році світові інвестиції в генерацію електроенергії за рахунок відновлюваної енергетики вперше перевищили інвестування в сектори нафти та газу [10; 12].

У роботі Міжнародного Енергетичного Агентства (МЕА) «Market Report Series. Renewables 2017» [11] станом на кінець 2016 р. наведено стали динаміку нарощування енергетичних потужностей на основі ВДЕ. Водночас зазначено тенденцію виведення з роботи вугільних енергоблоків (зменшення потужностей майже на 30 ГВт) та зниження потужностей енергоблоків на природному газі майже на 20 ГВт.

За даними МЕА до 2022 р., прогнозується зростання обсягів введення нових потужностей ВДЕ майже на 50 %, водночас обсяги виробництва електроенергії на основі вугілля та природного газу залишатимуться майже незмінними.

Обсяги виробництва вітрової та сонячної енергії разом складатимуть більше 80 % загального потенціалу ВДЕ до 2022 р. [11; 20] За основним сценарієм МЕА сумарна встановлена потужність об'єктів сонячної енергетики у світі досягне 740 ГВт до 2022 р. Відповідно до звіту МЕА розгортання введення нових потужностей ВДЕ зумовлене значним зниженням питомих витрат на їх розвиток з відповідною інвестиційною та державною підтримкою.

У звіті МЕА наголошується, що витрати на виробництво «чистої» енергії та на введення нових потужностей зменшуються, що підтверджується доповідями «Levelized Cost of Energy Analysis (LCOE 11.0)» [21] американської корпорації Lazard Ltd та Міжнародним агентством з поновлюваних джерел енергії (International Renewable Energy Agency, IRENA). Станом на 2017 рік ринкова вартість поновлюваної енергії була нижчою за нафту та газ вже у 30 країнах світу.

Що стосується біоенергетики, то відомо, що існує ряд особливостей її розвитку: по-перше, це ефект масштабу (великі за обсягами генерації установки більш ефективні [4; 18; 25]); по-друге, основним джерелом сировини в глобальному масштабі слугує сировина від лісогосподарської діяльності та її переробки. Окремі ефективні приклади використання відходів переробки (лузга соняшника) чи решток виробництва зернових (солома в тюках чи під брикетування) не суттєво відстають за обсягами. Проте для реалізації таких проектів потрібні великі обсяги інвестувань [2; 4; 13].

Крім прогресу, в галузі генерації в останні роки спостерігається прогрес і розробки ефективних тех-

нічних засобів збереження енергії або систем акумулювання енергії (Energy Storage System, ESS) [23]. Причому це відбувається як на рівні домогосподарств (незначні обсяги збереження), так і на рівні окремих територій (значні обсяги збережень) [1; 8].

Дослідження показують [8], що більш швидке, ніж очікувалося, зниження вартості накопичення енергії [23] та використання змінних джерел енергії може збільшити потребу в ESS до понад 400 ГВт•год вже до 2030 року.

Це питання надзвичайно актуально для України, оскільки наразі для вирівнювання пікового навантаження добового споживання використовується надзвичайно вартісна гідроакумуляція, крім того, це актуально і на макрорівні домогосподарства. Національною енергетичною компанією «Укренерго» у 2018 році було заявлено, що в Україні до 2025 року необхідно побудувати 2,5 ГВт високоманеврових потужностей, які призначені для врівноваження денного графіка навантаження енергосистеми [17], що пов'язано з активним будівництвом сонячних і вітряних електростанцій.

На сьогодні значну частку енергетичного потенціалу України складає ядерна енергетика, яка залишилась з часів планової економіки. Практично всі пострадянських країни Східної Європи, в яких існували ядерні електростанції радянських часів, вже їх зупинили. Відомо, що ядерна енергетика України не може використовуватись після 2030 року (закінчуються два терміни пролонгації по 5 років) [10]. Аналогічна ситуація спостерігається з тепловою енергетикою, для якої практично вичерпано її термін амортизації, а також вартість, якість і доступність енергоносіїв залежить від багатьох ринкових і політичних факторів [9; 10]. Отже, можна зробити висновок, що розвиток відновлюваної енергетики є єдиним можливим шляхом досягнення енергетичної незалежності нашої країни, а політика процесів «озеленення» енергетики має однаково приваблювати як інвесторів у промислові потужності генерації з ВДЕ, так і населення на рівні домогосподарств. Причому має бути відповідний інвестиційний паритет потужностей генерації та систем акумулювання енергії.

За даними Української асоціації відновлюваної енергетики станом на кінець 2019 року, у проекти відновлюваної енергетики в Україні було інвестовано близько 10 млрд євро [16], з яких 6,2 млрд євро було залучено протягом 2018–2019 років, що робить галузь однією із ТОП п'ятірки секторів за обсягом інвестицій в економіку України.

Загальна потужність альтернативної енергетики зросла з 999 МВт у 2015 році до 6,8 ГВт на кінець 2019 року. Найбільший приріст потужності спостерігається саме у сонячній енергетиці [11; 16].

Довіра інвесторів допомогла Україні наблизитись до зміни стратегічного балансу енергетичного

ринку, поступово переорієнтуючи його на відновлювані джерела та зменшуючи залежність від імпорту енергоресурсів [11; 22].

Таким чином, ми спостерігаємо чітке привалювання приросту потужностей саме за рахунок промислових СЕС та ВЕС, мізерну частку генерації на біомасі для потужностей промислового масштабу.

Аналіз показників економічної ефективності малої біоенергетики, зокрема використання біогазу, показав, що вони не в змозі конкурувати з сонячною та вітровою генерацією, якщо не враховувати фактор покращення стану довкілля за рахунок дезактивації відходів життєдіяльності та економічної активності домогосподарств. У цьому випадку суттєво зменшується термін окупності біоенергетичного обладнання [4].

На цей час український ринок біоенергетичного обладнання має надзвичайно обмежений асортимент для домогосподарств, недостатньо представлено його обґрунтовані експлуатаційні характеристики, і це є однією з причин низької інвестиційної привабливості малої біоенергетики. Також практичним шляхом з'ясовуються проблемні місця навіть для біогазових проєктів промислової генерації.

Для малих ГЕС ситуація, пов'язана з кліматичними змінами та маловоддям малих рік, призводить до сумнівних перспектив розвитку цього напрямку.

Водночас, незважаючи на інвестиційну привабливість саме СЕС, держава у 2019 році спробувала обмежити «зелений тариф» саме для сегмента генерації СЕС домогосподарств, встановивши обмеження щодо потужності та способу розташування фото панелей для отримання зеленого тарифу [3; 6]. Згідно з постановою Національної комісії від 25.03.2020 № 725, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг (НКРЕКП), у 2020 році домогосподарства мають право на встановлення відновлюваних джерел енергії (ВЕС або комбінованих) з потужністю, що не перевищує 50 кВт, але для СЕС така потужність обмежується 30 кВт встановленої потужності без додаткових умов їх розташування. Тоді як для установок СЕС, введених в експлуатацію у 2019 році, та таких, які претендують на «зелений» тариф, діє обмеження щодо умови їх розташування на дахах та/або фасадах.

Для прийняття рішення, що може тільки рекомендувати компетентний в цій сфері дорадник, потрібно розглянути такі групи питань:

1. Енергетичні витрати домогосподарства: наявні та перспективні на рівні очікування і на рівні значущості, що визначається особою, яка приймає рішення. Частка потреби в інших формах енергії, крім електричної. Наявність і обсяги енергетичних залишків від рослинництва та тваринництва.

2. Природно-географічні особливості розташування домогосподарства: широта, висота над рівнем моря, середня кількість сонячних днів за сезонами, середня швидкість вітру.
3. Стан технологій з відновлюваної енергетики (цінові та технологічні показники), очікувана на термін окупності величина «зеленого» тарифу.
4. Наявність власних або можливість запозичення фінансових ресурсів.

Однак будь-який генератор, який використовує первинну енергію для виробництва електроенергії, має коефіцієнт корисної дії – ν , для сонячних батарей він знаходиться у проміжку 0,2–0,3. Якщо взяти мінімальне значення 0,2, то середня величина потужності електроенергії, яку можна отримати з 1 м², дорівнює 30 Вт, рік містить 8760 годин, тому з 1 м² можна отримати 263 кВт·год. А, наприклад, щоб забезпечити річне споживання в 6000 кВт·год, потрібно зібрати енергію з площі у 23 м².

1 кВт встановленої потужності сонячних батарей дає протягом року 1000 кВт·год. У році 8760 годин. Тобто ефективна потужність 1 кВт встановленої потужності генерації дорівнює 114 Вт. Для встановлення 1 кВт потрібно 6,5 м² площі. Розмір секції – 1,16 м. Вона дає потужність 270 Вт (за наведеними вище розрахунками 153 · 1,6 = 244 Вт).

Існують два типи підключення СЕС з можливістю продажу в мережу надлишку генерованої електроенергії: мережеве та гібридне [6]. При мережевому підключенні не потрібні акумулятори, а при гібридному потрібні. Тому гібридне коштує на 40 % дорожче й вимагає додаткового місця для акумуляторів (акумулятори змінюються 1 раз у 5–7 років), сонячні батареї працюють 10–30 років [15].

Розглянемо оптимізаційну задачу на максимізацію прибутку за термін експлуатації сонячних елементів, який дорівнює 20 рокам. Річне споживання електроенергії домогосподарством дорівнює S кВт·год нехай $\lambda < 1/2$ – менша частка, що споживається влітку, $1 - \lambda$ – частка, що споживається взимку. Нехай x кВт – встановлена потужність, тоді $1000x$ кВт·год – обсяг електроенергії що генерується за рік. Влітку генерується більша частка $\zeta > 1/2$.

Введемо величини «зеленого» та мережевого тарифів τ_s, τ_w .

Тоді загальна вартість встановлення потужності x кВт дорівнює $px(1 + k)$, де p – вартість встановлення 1 кВт, $k > 0$ – коефіцієнт, який залежить від умов підключення. Обсяг генерації влітку та взимку G_s й G_w та обсяги споживання C_s і C_w визначаються таким чином:

$$\begin{aligned} G_s &= 1000x\zeta; G_w = 1000x(1-\zeta) \\ C_s &= S\lambda; C_w = S(1-\lambda) \end{aligned} \quad (1)$$

Балансовий показник доходу за рік:

$$\begin{aligned} In_y &= (1000x\zeta - S\lambda)\tau - (S(1-\lambda_s) - 1000x(1-\zeta))\tau = \\ &= 1000x\tau_g - S\tau_c, \\ \tau_g &= \zeta\tau + (1-\zeta)\tau; \tau_c = \lambda\tau + (1-\lambda)\tau \end{aligned} \quad (2)$$

Звідси умова існування прибутку від встановлення СЕС ($In_y > 0$):

$$1000x\tau_g - S\tau_c > 0 \Rightarrow x > \frac{S}{1000} \cdot \frac{\tau_c}{\tau_g} \quad (3)$$

Останній вираз означає, що існує мінімальна встановлена потужність, яка дозволяє отримувати прибуток при заданій величині річного споживання. Оцінимо цей показник при середньому для домогосподарства показнику споживання $S = 6000$ кВт·год. Оцінимо відповідно до чинних норм на 2019 рік всі параметри, необхідні для оцінки (3) з використанням (2):

$$\begin{aligned} \tau_c &= 0,18; \tau_s = 0,05; \zeta = 3/4; \lambda = 1/3 \\ \tau_g &= 0,18 \cdot 0,75 + 0,05 \cdot 0,25 = 0,1475 \\ \tau_c &= 0,18 \cdot 0,33 + 0,05 \cdot 0,67 = 0,0929 \end{aligned} \quad (4)$$

Звідси встановлена потужність при означених вище сезонних частках споживання і генерації повинна перевищувати:

$$x > 0,63S / 1000 = 0,0006S. \quad (5)$$

Наприклад, у випадку річного споживання 6000 кВт·год:

$$x > \frac{6000}{1000} \cdot \frac{0,0929}{0,1475} \approx 4 \text{ кВт.}$$

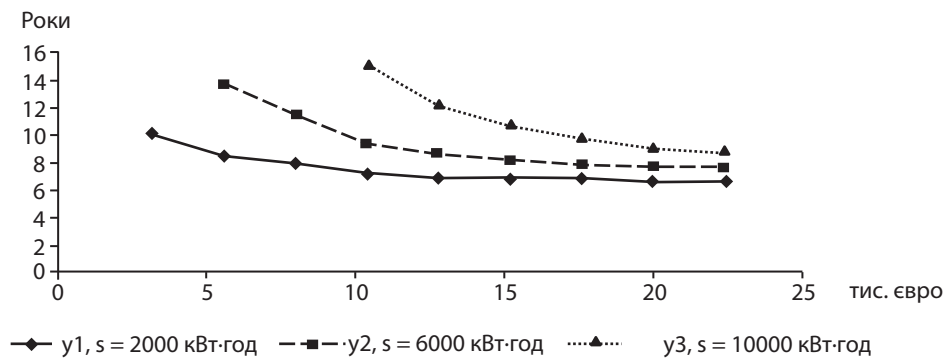


Рис. 1. Терміни окупності СЕС залежно від обсягів інвестицій

значними. Слід зауважити, що зменшення терміну окупності при зростанні встановленої потужності відбувається повільно і не зменшується менше ніж за 6 років). Це пояснюється впливом дисконтної ставки (тільки зменшення цього параметра дозволяє додатково зменшити термін окупності).

Прибуток, який приносить подальша експлуатація СЕС (після закінчення терміну окупності), можна оцінити як дисконтний потік прибутку на часовому

розглянемо оцінку терміну окупності сонячної генерації і прибутку, яку можна отримати за термін експлуатації. Для цього випадку ($S = 6000$ кВт·год) розглянемо термін окупності проекту залежно від встановленої потужності x (табл. 2). Вартість встановлення 1 кВт вважаємо рівною 800 євро [15].

Для оцінок терміну окупності використаємо оцінки дисконтного прибутку $-In(x)$, що створює СЕС за проміжок часу T [24]:

$$In(x) = \frac{In_y(x)}{r} (1 - (1+r)^{-T}). \quad (6)$$

Порівнюючи дисконтний прибуток $In(x)$ з обсягом інвестицій $I(x)$, можна отримати вираз для терміну окупності T_0 :

$$T_0(x) = \frac{-\ln(1 - I(x) \cdot r / In_y(x))}{\ln(1+r)}, \quad (7)$$

де r – ставка дисконту, яка приймається рівною 5%. Вважаємо, що 5% – найнижча дисконтна ставка, яка може використовуватися для СЕС. Вона має бути більшою за ставку по валютних депозитах, тому що існують ризики змін законодавства (зменшення «зеленого» тарифу або підвищення мережевого). На рис. 1 наведено терміни окупності для трьох обсягів річного споживання (2, 5, 10 тис. кВт·год)

З виразу (6) можна отримати умову існування терміну окупності:

$$In_y(x) > I(x) \cdot r. \quad (8)$$

Виконання умови (3) не означає існування терміну окупності, тому що за великих дисконтних ставок відповідно до (7) прибутки мають бути також

інтервалі від терміну окупності T_0 до терміну експлуатації T_e . Що стосується терміну експлуатації, то він знаходиться в інтервалі від 10 до 30 років [15]. У наведеній моделі ми вважаємо термін експлуатації рівним 20 рокам. У цьому випадку дисконтний потік прибутку на часовому інтервалі ($T_0; T_e$):

$$In_{T_e-T_0}(x) = \frac{In_y(x)}{r(1+r)^{T_0+1}} (1 - (1+r)^{-(T_e-T_0)}). \quad (9)$$

Доходи, інвестиції та терміни окупності мережевої СЕС для домогосподарства, яке споживає 6000 кВт·год на рік залежно від встановленої потужності за певних умов (влітку генерується 3/4 енергії, а споживається 1/3)

Встановлена потужність, кВт	4	7	10	13	16	19	22	25	28
Обсяг інвестицій, тис. євро	3,2	5,6	8,0	10,4	12,8	15,2	17,6	20	22,4
Річний прибуток, тис. євро	0,04	0,49	0,94	1,39	1,84	2,29	2,74	3,16	3,64
Термін окупності, роки		13,7	11,5	9,4	8,8	8,2	7,9	7,8	7,5
Дисконтний прибуток на інтервалі Te-To років, тис. євро		1,2	2,9	6,7	9,5	13,0	15,2	17,5	20,2

Якщо проаналізувати дані табл. 2, то виявиться, що в діапазоні встановлення потужності від 7 до 28 кВт термін окупності зменшується від 14 до 7 років. При цьому у випадку встановлення СЕС потужністю 28 кВт чистий дисконтний прибуток за 12 років експлуатації після закінчення терміну окупності практично досягне обсягу інвестицій, який дорівнює

22 тис. євро. На рис. 2 подано дисконтний прибуток за термін від часу окупності до терміну експлуатації обладнання.

Зрозуміло, що при малому споживанні на власні потреби інвестор отримує суттєво більші прибутки при рівному обсязі інвестицій завдяки «зеленому» тарифу.

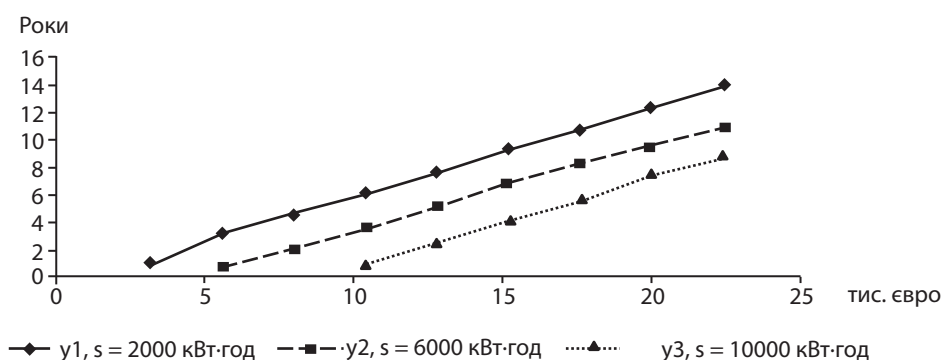


Рис. 2. Дисконтний прибуток залежно від обсягу інвестицій на інтервалі від часу окупності до терміну експлуатації обладнання

Для порівняння розглянемо єдиний з фінансових інструментів, що існує в Україні, – валютні депозити (гривневі депозити навряд чи розумно розглядати внаслідок великої ймовірності значних обвалів курсу гривні на значних часових інтервалах). Середня ставка за валютними депозитами дорівнює 3 %. Якщо ми розглянемо обсяг інвестицій у 22 тис. євро, то без урахування дисконту отримуємо через 20 років прибуток 18 тис. євро, що менше, ніж дисконтний прибуток, який ми отримуємо за рахунок сонячної генерації (табл. 1). Тобто можна зробити висновок, що інвестування в СЕС є надзвичайно привабливим вкладенням капіталу.

Якщо орієнтуватись на терміні окупності 7 років, що забезпечує 13-річний додатковий термін отримання чистого прибутку, то виходячи з виразів (2) і (6) можна оцінити величину встановленої потужності x як функцію річного споживання електроенергії S :

$$x = \frac{\eta S \tau_c}{1000 \eta \tau_g - \phi r}, \quad (10)$$

$$\eta = 1 - (1+r)^{-T_0},$$

де ϕ – вартість встановлення одиниці потужності.

Підставляючи в (9) кількісні значення всіх змінних:

$$\eta = 0,29; \tau_c = 0,0929; \tau_g = 0,1475;$$

$$\phi = 800; r = 0,05,$$

отримаємо таку залежність встановленої потужності x від обсягу енергії, що споживається домогосподарством за рік у випадку терміну окупності 7 років:

$$x_7(S) = 0,01S. \quad (11)$$

Якщо розглянути наведений приклад (табл. 2) з щорічним споживанням у 6000 кВт*год, то потрібно встановити потужність 60 кВт (що заборонено чинним законодавством), що коштуватиме 48 тис. євро.

Однак якщо збільшити термін окупності до 10 років і при цьому залишається ще 10 років прибуткової експлуатації, то, перерахувавши величину параметра

$$\eta = 1 - (1+r)^{-10} = 0,386,$$

отримаємо таку залежність:

$$x_{10}(S) = 0,002S \quad (12)$$

У цьому випадку річному споживанню 6000 кВтгод відповідає встановлена потужність у 12 кВт, що коштує менш 10 000 євро. В результаті порівняння умов (11) та (3) можна зробити висновок, що виконання умови (11) автоматично забезпечує умову (3), тому у практичній діяльності дораднику кращі використовувати умову (11).

Остання умова (11) отримана при фіксованих сезонних частках генерації та споживання, фіксованих тарифах і вартості встановлення. У загальному обмеженні, яке пов'язано з кінцевим терміном окупності T_o , вона може бути подана:

$$x > \chi \cdot S, \chi = \frac{\eta \tau_c}{1000 \eta \tau_g - \phi r}, \eta = 1 - (1+r)^{-T_o}, \quad (13)$$

де ϕ – вартість встановлення одиниці потужності. Тоді оптимізаційну задачу встановлення СЕС (максимізації дисконтного прибутку за термін експлуатації та із заданим терміном окупності T_o) за умовою існування бюджетного обмеження B та законодавчого обмеження на величину встановленої потужності x_s можна подати у вигляді:

$$\begin{aligned} \ln(x) &\Rightarrow \max \\ px(1+k) &\leq B \\ x &\leq x_s \\ x &> \chi \cdot S \end{aligned} \quad (14)$$

Оскільки $\ln(x)$ є лінійною зростаючою функцією x , то максимум цільової функції відбувається в точці, яка відповідає законодавчому обмеженню за умовою виконання двох останніх законодавчих обмежень (13):

$$x = \frac{B}{p(1+k)}.$$

На жаль, на цей час існують надзвичайно наближено оцінки інвестиційного потенціалу як міського, так і сільського населення. Валютні кредити для фізичних осіб не пропонуються, а отримання гривневих кредитів за наявних ставок призводить до суттєвого подорожчання енергетичних проектів. Наприклад, при зростанні вартості проекту на 20 % у випадку кредитування термін окупності (7) може зрости на 50 % і більше.

Для реалізації задач Енергетичної стратегії України держава може зробити такі кроки:

- ✦ гарантувати стабільність або визначити тенденції зміни тарифів на наступні 15 років;
- ✦ визначитись з позицією відносно небезпечної ядерної енергетики, ставку на яку на цей час робить лише одна Російська Федерація;
- ✦ здійснити реальну підтримку інвестиційних прагнень населення щодо відновлюваної енергетики шляхом макроекономічної стабі-

лізації та можливості отримання доступних цільових кредитів.

ВИСНОВКИ

Незважаючи на поточні макроекономічні складнощі для країни стосовно цієї галузі, спричинені історичними складовими тощо, розвиток сектора альтернативної енергетики є довгостроковим, безальтернативним енергетичним та екологічним пріоритетом для України, що передбачено вітчизняним законодавством та участю у міжнародних угодах. У довгостроковій перспективі використання ВДЕ є запорукою енергетичної незалежності України та стабільності енергомережі, що потребує заміщення застарілих і нестабільних АЕС і ТЕС.

В умовах України інвестування у відновлювану енергетику є першим випадком успішної співпраці державних інституцій та населення, тому надзвичайно важливо, щоб цей почин залишився правильним вирішенням загальнонаціональної задачі переходу до екологічних та ефективних джерел енергопостачання.

Використання промислових і побутових (для гібридних СЕС) сучасних систем акумулювання енергії допоможе ефективно використовувати ВДЕ шляхом балансування витрат і згладжування потоку генерованої відновлюваної енергії. Інтеграція ESS у системи електропостачання надасть джерела пікового енергопостачання та резервні джерела.

Розгортання банків ESS здатні відігравати важливу роль у управлінні поставками з періодично відновлюваних джерел, що допоможе усунути потреби імпорту електроенергії, а отже, вирішити питання національної безпеки.

У результаті проведених досліджень показано, що інвестування в СЕС надзвичайно привабливе для населення. Однак при цьому слід підкреслити, що для отримання прибутку за терміни експлуатації інвестиції повинні перевищувати деякі граничні значення, алгоритм обчислення яких надається.

Показано, що термін окупності обсягу інвестицій починається з 7 років, і його реалізація можлива тільки у випадку встановлення потужності більшої за величину, що залежить від обсягу річного споживання електроенергії домогосподарством і часток генерованого і та спожитого протягом року. ■

ЛІТЕРАТУРА

1. «Большая батарея» Tesla в Австралии за полгода заработала более 25% от своей стоимости. URL: <https://hightech.plus/2018/09/25/bolshaya-batareya-tesla-v-avstralii-za-polgod-a-zarabotala-bolee-25-ot-svoei-stoimosti>

2. Гелетука Г. Г., Железна Т. А. Сучасний стан та перспективи розвитку біоенергетики в Україні. Частина 1. URL: <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/60547/11-Geletukha.pdf?sequence=1>
 3. Домашние солнечные станции запрещают. Как это вышло? URL: <https://tech.liga.net/technology/article/domashnie-solnechnye-stantsii-na-zemle-zapreshchayut-kak-tak-vyshlo>
 4. Кудін Т. В., Саяпін С. П. Еколого-економічна оптимізація розвитку малої біоенергетики. *Економіка АПК*. 2019. № 9. С. 118. URL: <http://eapK.org.ua/contents/2019/09/118>
- DOI: 10.32317/2221-1055.201909118
5. Енергетична стратегія до 2035 року. URL: <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>
 6. Закон України «Про ринок електричної енергії» від 17.11.2019 № 2019-VIII. URL: <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
 7. Понад 24 тис. українських родин використовують сонячні панелі та заощаджують на рахунках за електроенергію // Держенергоефективності. URL: <https://saee.gov.ua/uk/news/3367>
 8. Системи акумулювання енергії: промислові та побутові. URL: https://avenston.com/ru/articles/energy_storage_systems/
 9. Скрипник А. В. Енергетичний сектор економіки України з позицій суспільного добробуту: монографія. Київ: ЦП Компрінт, 2017. 430 с.
 10. Скрипник А. В., Намясенко Ю. М., Сабіщенко О. Енергетичний сектор України: крах чи виживання. *Проблеми економіки*. 2018. № 1. С. 122–135.
 11. Стан і перспективи розвитку технологій «інтелектуальних» електромереж, управління попитом та систем режимного управління в умовах розвитку поновлюваних джерел енергії у зарубіжній енергетичній сфері. URL: <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/1.-Stan-rozvytku-smart-grid.pdf>
 12. Статистика світових інвестицій в енергетичний сектор. URL: <https://www.iea.org/publications/wei2017/>
 13. Бондар В. С., Фурса А. В., Гументик М. Я. Стратегія та пріоритети розвитку біоенергетики в Україні. *Економіка АПК*. 2018. № 8. С. 17–25.
 14. Тарификация выбросов углерода // Всемирный банк (2017). URL: <https://www.vsemirnyjbank.org/ru/results/2017/12/01/carbon-pricing>
 15. Термін служби сонячних батарей. URL: http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/solar_time
 16. Українська Асоціація Відновлюваної Енергетики. URL: <https://uare.com.ua/novyny/711-u-vidnovlyuvanuu-energetiku-v-ukrajini-bulo-investovano-10-mlrd.html/>
 17. «Укренерго» визначило потребу високоманевреної генерації у 2,5 ГВт. URL: https://ukr.lb.ua/economics/2018/04/03/394317_ukrenergo_viznachilo_potrebu.html
 18. Biomass for Electricity Generation by U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program (FEMP) 09-15-2016. URL: <https://www.wbdg.org/resources/biomass-electricity-generation>
 19. Hecht J. Fiery future for planet Earth. *New Scientist*. 2 April 1994. P. 14–18.
 20. Scarlat N., Dallemand J.-F., Fahl F. Biogas: Developments and perspectives in Europe. *Renewable Energy*. 2018. Vol. 129. Part A. P. 457–472. URL: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>
 21. Levelized Cost of Energy (LCOE) // U.S. Department of energy. 2015. URL: <https://energy.gov/sites/prod/files/2015/08/f25/LCOE.pdf>
 22. Lebedev M., Lytovchenko T. Cancellation of the «GREEN TARIFF» international practice of protecting the rights of foreign investors. URL: <http://www.golaw.ua/en/article/vidmova-vid-%C2%ABzelenogo%C2%BB-tarifumizhnarodna-praktika-zahistu-prav-inozemnih-investoriv>
 23. Scale-up of Solar and Wind Puts Existing Coal, Gas at Risk // BloombergNEF. URL: <https://about.bnef.com/blog/scale-up-of-solar-and-wind-puts-existing-coal-gas-at-risk/>
 24. Skrypnyk A., Namiasenko Y., Sabishchenko O. Renewable energy as an alternative of the decentralization energy supply in Ukraine. *International Journal of Innovative Technologies in Economy*. 2018. Vol. 1 (13). P. 120–127.
 25. Small-scale Electricity Generation from Biomass. URL: https://energypedia.info/images/9/93/Small-scale_Electricity_Generation_From_Biomass_Part-1.pdf
- Науковий керівник Кудіна Т. В.** – Кальна-Дубінюк Т. П., доктор економічних наук, професор кафедри аграрного консалтингу і туризму Національного університету біоресурсів і природокористування України
- Науковий керівник Саяпіна С. П.** – Скрипник А. В., доктор економічних наук, професор, завідувач кафедри економічної кібернетики, Національний університет біоресурсів і природокористування України

REFERENCES

- “«Bolshaya batareya» Tesla v Avstralii za polgoda zarabotala boleye 25% ot svoey stoimosti” [Tesla’s “Big Battery” in Australia Earned over 25% of Its Value over Half a Year]. <https://hightech.plus/2018/09/25/bolshaya-batareya-tesla-v-avstralii-za-polgoda-zarabotala-bolee-25-ot-svoei-stoimosti>
- “Biomass for Electricity Generation by U.S. Department of Energy Federal Energy Management Program (FEMP) 09-15-2016”. <https://www.wbdg.org/resources/biomass-electricity-generation>
- Bondar, V. S., Fursa, A. V., and Humentyk, M. Ya. “Stratehiia ta priorytety rozvytku bioenerhetyky v Ukraini” [Strategy and Priorities for Bioenergy Development in Ukraine]. *Ekonomika APK*, no. 8 (2018): 17-25.
- “Domashniye solnechnyye stantsii zapreshchayut. Kak eto vyshlo?” [Home Solar Stations Prohibit. How did it Come About?]. <https://tech.liga.net/technology/article/domashnie-solnechnye-stantsii-na-zemle-zapreshchayut-kak-tak-vyshlo>
- “Enerhetychna stratehiia do 2035 roku” [Energy Strategy Until 2035]. <http://mpe.kmu.gov.ua/minugol/doccatalog/document?id=245213112>
- Heletukha, H. H., and Zheliezna, T. A. “Suchasnyi stan ta perspektyvy rozvytku bioenerhetyky v Ukraini” [Current State and Prospects of Bioenergy Development in Ukraine]. Part 1. <http://dSPACE.nbuv.gov.ua/bitstream/handle/123456789/60547/11-Geletukha.pdf?sequence=1>
- Hecht, J. “Fiery future for planet Earth”. *New Scientist*, April 2, 1994: 14-18.

- Kudin, T. V., and Saiapin, S. P. "Ekoloho-ekonomichna optymizatsiia rozvytku maloi bioenerhetyky" [Ecological and Economic Optimization of Small Bioenergy Development. J. Ekonomika APK. 2019. <http://eapk.org.ua/contents/2019/09/118>
DOI: 10.32317/2221-1055.201909118
[Legal Act of Ukraine] (2019). <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2019-19>
- "Levelized Cost of Energy (LCOE)". U.S. Department of energy. 2015. <https://energy.gov/sites/prod/files/2015/08/f25/LCOE.pdf>
- Lebedev, M., and Lytovchenko, T. "Cancellation of the «GREEN TARIFF» international practice of protecting the rights of foreign investors". <http://www.golaw.ua/en/article/vidmova-vid-%C2%ABzelenogo%C2%BB-tarifuv--mizhnarodna-praktika-zahistu-prav-inozemnih-investoriv>
- "Ponad 24 tys. ukrainskykh rodyn vykorystovuiut soniachni paneli ta zaoshchadzhuut na rakhunkakh za elektroenerhiu" [More Than 24,000 Ukrainian Families Use Solar Panels and Save on Electricity Bills]. Derzhenerhoefektyvnosti. <https://sae.gov.ua/uk/news/3367>
- "Scale-up of Solar and Wind Puts Existing Coal, Gas at Risk". BloombergNEF. <https://about.bnef.com/blog/scale-up-of-solar-and-wind-puts-existing-coal-gas-at-risk/>
- "Small-scale Electricity Generation from Biomass". https://energypedia.info/images/9/93/Small-scale_Electricity_Generation_From_Biomass_Part-1.pdf
- "Stan i perspektyvy rozvytku tekhnolohii «intelektualnykh» elektromerezh, upravlinnia popytom ta system rezhymnoho upravlinnia v umovakh rozvytku ponovliuvanykh dzherel enerhii u zarubizhnii enerhetychnii sferi" [Status and Prospects of Development of Technologies of "Intelligent" Power Grids, Demand Management and Regime Management Systems in the Conditions of Development of Renewable Energy Sources in the Foreign Energy Sphere]. <https://ua.energy/wp-content/uploads/2018/04/1.-Stan-rozvytku-smart-grid.pdf>
- "Statystyka svitovykh investytsii v enerhetychnyi sektor" [Statistics of World Investments in the Energy Sector]. <https://www.iea.org/publications/wei2017/>
- "Systemy akumulivannia enerhii: promyslovi ta pobutovi" [Energy Storage Systems: Industrial and Domestic]. https://avenston.com/ru/articles/energy_storage_systems/
- Scarlat, N. Dallemand J.-F., and Fahl, F. "Biogas: Developments and perspectives in Europe". Renewable Energy. 2018. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2018.03.006>
- Skrypnyk, A. V. *Enerhetychnyi sektor ekonomiky Ukrainy z pozytsii suspilnoho dobrobutu* [Energy Sector of Ukraine's Economy from the Standpoint of Public Welfare]. Kyiv: TsP Kompynt, 2017.
- Skrypnyk, A. V., Namiashenko, Yu. M., and Sabishchenko, O. "Enerhetychnyi sektor Ukrainy: krakh chy vyzhyvania" [The Power Sector of Ukraine: Collapse or Survival]. *Problemy ekonomiky*, no. 1 (2018): 122-134.
- Skrypnyk, A., Namiashenko, Y., and Sabishchenko, O. "Renewable energy as an alternative of the decentralization energy supply in Ukraine". *International Journal of Innovative Technologies in Economy*, vol. 1 (13) (2018): 120-127.
- "Tarifikatsiya vybrosov ughleroda" [Carbon Billing]. Vsemirnyy bank (2017). <https://www.vsemirnyybank.org/ru/results/2017/12/01/carbon-pricing>
- "Termin sluzhby soniachnykh batarei" [The Service Life of Solar Panels]. http://ishop.sutem.com.ua/articles/topics/solar_energy/solar_time
- "«Ukrenerho» vyznachylo potrebu vysokomanevrenoi heneratsii u 2,5 HVt" [Ukrenergo Has Identified the Need for Highly Maneuverable 2.5 GW Generation]. https://ukr.lb.ua/economics/2018/04/03/394317_ukrenergo_viznachilo_potrebu.html
- Ukrainska Asotsiatsiia Vidnovliuvanoi Enerhetyky. <https://uare.com.ua/novyny/711-u-vidnovlyuvanu-energetiku-v-ukrajini-bulo-investovano-10-mlrd.html/>