

**ЕЛЕКТРОЕНЕРГЕТИКА, ЕЛЕКТРОТЕХНІКА
ТА ЕЛЕКТРОМЕХАНІКА**

УДК 620.92:338.4

doi: 10.31498/2225-6733.40.2020.216216

© Сотник М.І.¹, Курбатова Т.О.², Сотник І.М.³, Теліженко О.М.⁴**ТЕХНІЧНІ ТА ЕКОНОМІЧНІ АСПЕКТИ ОРГАНІЗАЦІЇ НАВЧАЛЬНИМИ
ЗАКЛАДАМИ ВЛАСНОГО ВИРОБНИЦТВА ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ**

Постановка проблеми. Зважаючи на екологічні проблеми, основним джерелом яких є енергетика, що використовує викопне первинне паливо, нагальним наразі є скорочення енергоспоживання та впровадження технологій генерації електроенергії з альтернативних джерел. Одним з перспективних напрямків є використання сонячної енергії. Прийнятним з технічної точки зору вбачається використання мережевих сонячних електростанцій модульного типу невеликої потужності, які можливо розташовувати на огорожувальних конструкціях будівель освітніх закладів. Їх можна використовувати у т. ч. як допоміжне джерело електрозабезпечення закладу освіти. Для визначення економічної доцільності впровадження такого заходу запропоновано покрокову методику обґрунтування можливостей закладу щодо організації електрогенерації, визначення алгоритму розрахунку прогнозованої вартості 1 кВт·год електроенергії з огляду на прогнозовані техніко-економічні умови генерації у майбутніх періодах та нормативні показники терміну служби обладнання з урахуванням особливостей функціонування освітнього закладу. *Мета.* Розробка покрокових рекомендацій для менеджменту освітніх закладів щодо техніко-економічного обґрунтування впровадження в умовах закладу засобів власної генерації електричної енергії з використанням відновлюваних джерел для заміщення (хоча б часткового) її споживання із загальних електричних мереж, до яких приєднані його струмоприймачі, з метою прийняття ефективних управлінських рішень. *Методика.* Методи статистичного аналізу, вартісний аналіз життєвого циклу з визначенням розрахункової питомої вартості генерації електроенергії. *Результати.* Запропоновано покрокову методику розрахунку питомої вартості генерації електроенергії сонячною електростанцією за будь-який період в межах нормативного строку служби станції (амортизаційного циклу) з урахуванням процесу деградації сонячних панелей та інших змінних техніко-економічних показників вартості життєвого циклу проекту. Методика дозволяє проводити порівняння розрахункових та фактичних питомих витрат на генерацію «власної» електроенергії з тарифами постачальника електроенергії з загальної мережі. *Наукова новизна.* Як основний показник, за яким виконується порівняння вартості власної генерації електроенергії сонячною електростанцією з вартістю електроенергії з мереж постачальника, запропоновано використовувати показник питомої вартості виробленої електроенергії упродовж нормативного строку служби електростанції (амортизаційного циклу). *Практична значимість.* Порівняння розрахункових та фактичних питомих витрат на генерацію «власної» електроенергії з тарифами постачальни-

¹ д-р техн. наук, доцент, Сумський державний університет, м. Суми, ORCID: 0000-0002-4761-8161, ni.sotnik@gmail.com

² канд. екон. наук, доцент, Сумський державний університет, м. Суми, ORCID: 0000-0001-6891-443X, t.kurbatova@ukr.net

³ д-р екон. наук, професор, Сумський державний університет, м. Суми, ORCID: 0000-0001-5787-2481, insotnik@gmail.com

⁴ д-р екон. наук, професор, економічний експерт, м. Суми, ORCID: 0000-0001-9864-4098, altel@ukr.net

ка електроенергії із загальної мережі з використанням запропонованої методики має стати інформаційним підґрунтям щодо ухвалення технічних та управлінських рішень про впровадження електрогенеруючих установок в освітніх закладах.

Ключові слова: вартість життєвого циклу, електроспоживання, електрична енергія, заклад вищої освіти, потужність генерації, сонячна електростанція.

Сотник Н.И., Курбатова Т.А., Сотник И.Н., Телиженко А.М. Технические и экономические аспекты организации учебными заведениями собственного производства электроэнергии. Постановка проблемы. Актуальным сегодня является внедрение технологий генерации электроэнергии из альтернативных источников. Приемлемым с технической точки зрения видится использование сетевых солнечных электростанций модульного типа, которые можно располагать на ограждающих конструкциях зданий учебных заведений. Для определения экономической целесообразности внедрения такого мероприятия предлагается пошаговая методика обоснования возможностей учебного заведения касательно организации электрогенерации, исходя из прогнозных технико-экономических условий генерации в будущих периодах и нормативных показателей срока службы оборудования с учетом особенностей функционирования учебного заведения. **Цель.** Разработка пошаговых рекомендаций менеджменту учебных заведений для технико-экономического обоснования внедрения в условиях учебного заведения установок собственной генерации электрической энергии с использованием возобновляемых источников для замещения ее потребления из общих электрических сетей с целью принятия обоснованных управленческих решений. **Методика.** Методы статистического анализа, стоимостной анализ жизненного цикла проекта с определением расчетной удельной стоимости генерации электроэнергии солнечной электростанцией. **Результаты.** Предложено пошаговую методику расчета удельной стоимости генерации электроэнергии солнечной электростанцией за какой-либо период в рамках нормативного срока службы станции (амортизационного цикла) с учетом процесса деградации солнечных панелей и иных переменных технико-экономических показателей стоимости жизненного цикла проекта. Методика позволяет проводить сравнение расчетных и фактических удельных затрат на генерацию собственной электроэнергии с тарифами поставщика электроэнергии из общей сети. **Научная новизна.** Как основной показатель, по которому проводится сравнение стоимости собственной генерации электроэнергии солнечной электростанцией со стоимостью электроэнергии от сетей поставщика, предложено использовать показатель удельной стоимости произведенной электроэнергии на протяжении нормативного срока службы электростанции (амортизационного цикла). **Практическая значимость.** Сравнение расчетных и фактических удельных затрат на генерацию собственной электроэнергии с тарифами поставщика электроэнергии из общих сетей с использованием предложенной методики является информационной базой для принятия технических и управленческих решений касательно внедрения электрогенерирующих установок в учебных заведениях.

Ключевые слова: электропотребление, электрическая энергия, солнечная электростанция, мощность генерации, стоимость жизненного цикла.

M.I. Sotnyk, T.O. Kurbatova, I.M. Sotnyk, O.M. Telizhenko. Technical and economic aspects of the organization by educational institutions of their own electricity generation. Problem formulation. The introduction of technologies for generating electricity from alternative sources is a relevant issue nowadays. From the technical point of view, the use of networked solar power plants of a modular type, which can be located on the barrier structures of educational institutions, seems to be advisable. To determine the economic efficiency of their implementation, a step-by-step procedure is proposed for substantiating the capabilities of an educational institution regarding the organization of power generation, based on the predicted technical and economic conditions of genera-

*tion in future periods and standard life term of the equipment with due regard of an educational institution work peculiarities. **Aim.** Development of step-by-step recommendations for the management of educational institutions concerning technical and economic substantiation of introducing own green electricity generation facilities under the conditions of an educational institution to replace its consumption from general electricity networks, in order to make valid management decisions. **Procedure.** Methods of statistical analysis, cost analysis of the project life cycle with the determination of the estimated specific cost of electricity generation. **Results.** A step-by-step procedure has been proposed for calculating the specific cost of electricity generation by a solar power plant for any year of its standard life term (depreciation cycle), taking into account the degradation process of the solar panels capacity and other variable technical and economic indicators of the cost of the project life cycle. The procedure makes it possible to compare the estimated and actual specific costs for generating own electricity with the tariffs of the electricity supplier from the general grid. **Scientific Novelty.** The main indicator, by which the cost of generating green electricity is compared with the cost of electricity from the supplier's networks, is an indicator of the specific cost of electricity generated during the standard life term of the solar power plant. **Practical value.** Comparison of the estimated and actual specific costs for the generation of own electricity with the tariffs of the supplier who provides electricity from the general grid with the use of the proposed procedure is an information basis for making technical and management decisions regarding the introduction of power generating installations in educational institutions.*

Keywords: electricity consumption, electric energy, solar power plant, generation capacity, life cycle cost.

Постановка проблеми. Подальше зменшення обсягів споживання освітніми закладами електричної енергії з мереж електропостачання є загальнодержавною задачею. Її вирішення може бути здійснене за двома напрямками: 1) зменшення електроспоживання у технологічних процесах освітніх закладів шляхом впровадження енергозберігаючих заходів; 2) заміщення електроенергії, що споживається із загальної мережі, електроенергією власної генерації. Враховуючи технічний рівень сучасних електрогенеруючих установок та умови їх експлуатації, з технічної точки зору доцільним є застосування в освітніх закладах мережевих сонячних електростанцій.

Загальні вимоги до складу та змісту техніко-економічного обґрунтування (ТЕО), техніко-економічних розрахунків (ТЕР) та кошторисної документації визначені в ДБН А.2.2-3-2014 «Склад та зміст проектної документації на будівництво» [1]. Міністерство промислової політики України наказом № 373 від 09.07.2007 р. затвердило «Методичні рекомендації з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості» [2]. Затверджені та впроваджені в практику ряд відомчих методичних рекомендацій з формування собівартості, які враховують галузеві особливості. Зокрема, «Методичні рекомендації з планування, обліку і калькулювання собівартості продукції (робіт, послуг) сільськогосподарських підприємств» [3] та ряд інших. Відповідні методичні рекомендації затвердило і Міністерство палива та енергетики України наказом № 294 від 13.06.2003 р. «Про затвердження Методичних рекомендацій з планування, обліку і калькулювання собівартості продукції (робіт, послуг) в енергетиці», в яких враховується специфіка енергетичної галузі [4]. Вказані документи є офіційними та такими, які визначають структуру собівартості продукції/послуг та нормативні обмеження врахування відповідних витрат.

Разом з тим, на стадії передпроектних рішень (ТЕО і ТЕР) досить часто виникає проблема обмеженої загальної аналітичної інформації (питомих показників, відносних технологічних, регіональних, галузевих та інших показників). Така проблема є актуальною для технологічно нових об'єктів/обладнання, коли відповідна статистична інформація ще не накопичилась. Це стосується і прийняття передпроектних рішень щодо будівництва мережевих сонячних електростанцій.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Палітра публікацій, присвячених скороченню обсягів електроспоживання від джерел, які використовують викопне паливо, доволі широка.

У них розглядаються проблеми впровадження енергоефективних технологій, які дозволяють зменшити рівень електроспоживання. Однак, наразі світовим трендом є заміщення традиційної електричної енергії електроенергією з альтернативних джерел її генерації.

Одним з перспективних напрямків розвитку відновлювальної енергетики є використання сонячної енергії [1]. Особливо прийнятним з технічної точки зору вбачається використання мережних сонячних електростанцій модульного типу невеликої потужності, які можна розташувати на огорожувальних конструкціях будівель освітніх закладів, у т. ч. як допоміжне джерело електрозабезпечення суб'єктів господарювання. Наразі методична база щодо імплементації проектів з облаштування сонячних електростанцій доволі об'ємна. Вона стосується умов розташування та підключення станцій до мереж, визначення особливостей бухгалтерського обліку та амортизації обладнання сонячних станцій, економічних питань розрахунку вартості життєвого циклу сонячних електростанцій та термінів окупності обладнання, умов використання «зеленого» тарифу і т. д. [5-7]. Однак з неї менеджменту закладу, який має ухвалити управлінські рішення щодо доцільності будівництва станції, буває досить складно визначити алгоритм покрокових дій, які дозволяють дати відповідь на досить просте запитання: «Що доцільніше: витратити кошти на встановлення сонячної електричної станції у своєму закладі з перспективою заміщення хоча б частини електроенергії, яка споживається з мереж постачальника, чи залишити ці кошти на банківському депозиті з отриманням процентів?» Таких публікацій, які б давали методичні рекомендації щодо цих дій, наразі бракує.

Метою дослідження є розробка покрокових рекомендацій (методики оцінювання) для менеджменту освітніх закладів щодо техніко-економічного обґрунтування впровадження енергозберігаючих заходів, пов'язаних з організацією в умовах закладу власної генерації електричної енергії з використанням відновлюваних енергоджерел для заміщення (хоча б часткового) її споживання із загальних електричних мереж, до яких приєднані його струмоприймачі, з метою ухвалення ефективних управлінських рішень.

Для досягнення поставленої мети необхідно розробити покроковий алгоритм аналізу можливостей освітнього закладу щодо організації електрогенерації, визначення її технічних показників з огляду на умови та режими функціонування закладу, оцінювання параметрів якості і надійності основного та допоміжного обладнання електрогенераційних установок, капітальних витрат і вартості життєвого циклу сонячної електростанції, розрахунку прогнозованої вартості 1 кВт-год електроенергії з огляду на прогнозовані техніко-економічні умови енергогенерації у майбутніх періодах та нормативні показники терміну служби обладнання.

Виклад основного матеріалу. У загальній структурі фінансових витрат закладів вищої освіти майже основною складовою (звісно, після заробітної плати) є оплата спожитих енергоресурсів, у якій витрати на спожиту електроенергію є провідними. Впровадження енергозберігаючих заходів, які дають вагоме скорочення електроспоживання, не є безмежним і потребує значних фінансових внесків. Економічний ефект від їх реалізації інколи є швидкоплинним через інфляційні процеси та постійне підвищення вартості енергоносіїв.

Функціонування в освітньому закладі системи енергетичного менеджменту, моніторингу та короткотермінового прогнозування обсягів електроспоживання значно покращує ситуацію з нерациональними втратами енергоресурсів. Проте воно неспроможне зменшити основні необхідні (обґрунтовані) витрати електроенергії за чинних освітніх технологій та існуючих технологій, що використовуються у допоміжних процесах. Чи існує резерв зменшення фінансового навантаження на освітній заклад за таких умов, чи можливо вирішити цю проблему кардинально? Відповідь на це питання можна знайти в імплементації заходів щодо використання в індивідуальному порядку (з точки зору освітнього закладу) відновлюваних джерел енергії. Зважаючи на умови функціонування закладів освіти, організації навчального процесу, доцільно звернути увагу на використання сонячної енергії з метою її перетворення на теплову та електричну, яка за якісними показниками може використовуватися у навчальному та допоміжних процесах. При цьому необхідною умовою є перш за все технічна можливість генерації електрики у межах чинного юридичного поля та організаційно-технічних повноважень менеджменту освітнього закладу. Основними техніко-економічними критеріями мають бути умови фактичного розташування генеруючих потужностей (оцінювання потенціалу максимальної встановленої потужності станції), прогнозні річні та сезонні обсяги генерації, «профілі» добової і місячної електро-

генерації, прогнозні поточні витрати на обслуговування основного обладнання та капітальні витрати (на закупівлю основного і допоміжного обладнання, його монтаж та налагодження, витрати на проектні роботи).

Найбільш прийнятним варіантом індивідуальної електрогенеруючої установки, яку може собі дозволити освітній заклад, є сонячна електростанція з розташуванням електрогенеруючих модулів (сонячних панелей) на дахах будівель або їх стінах. Оптимальним (з економічної та технічної точки зору) є розташування сонячних панелей на південних та південно-східних схилах шатрової покрівлі або плоских покрівлях. Якщо брати до уваги графіки функціонування освітніх закладів та добові графіки навчального процесу, доцільно розглядати проект мережевої сонячної електростанції, яка організаційно і технічно має можливість генерувати електроенергію, направляти її у мережу освітнього закладу у необхідних обсягах та мати через означену мережу електричні зв'язки із загальною електричною мережею електропостачальника. Блок-схему станції та її зв'язків із загальною мережею постачальника показано на рисунку.

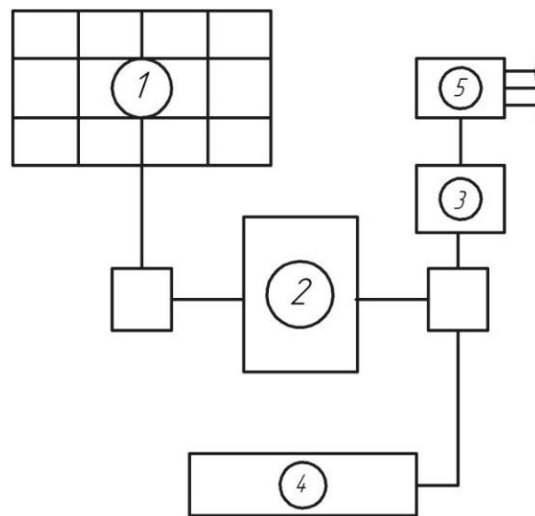


Рисунок – Блок-схема сонячної електростанції та її зв'язки з загальною мережею постачальника: 1 – сонячні панелі; 2 – інвертор; 3 – вузол обліку «перетікання» електричної енергії; 4 – споживачі освітнього закладу; 5 – мережа постачальника електричної енергії

Таке компонування системи електрозабезпечення освітнього закладу дозволяє безпосередньо споживати обсяги виробленої власної електроенергії. У разі перевищення генерації над споживанням – «віддавати» «зайву» електроенергію до загальної мережі постачальника. У разі недостатніх обсягів власної генерації – залучати електроенергію для споживання з мережі постачальника. За згаданих умов мережа постачальника є умовним акумулятором для мережі електрозабезпечення освітнього закладу та виключає проблеми закладу щодо облаштування додаткових акумуляуючих пристроїв (батарей), поточного контролю за балансом генерації та споживання електроенергії у межах мережі закладу, контролю впливу на якість електроенергії струмоприймачів.

При цьому технічні засоби вузла обліку дозволяють фіксувати обсяги «перетікання» електроенергії із загальної мережі постачальника до мережі споживача і навпаки за будь-який визначений період часу.

Кількість сонячних панелей, а, отже, і встановлену електричну потужність сонячної електростанції, доцільно обирати за умов:

1) максимально можливої кількості сонячних панелей, які можна встановити на конструкційних елементах будівель, за умови їх розміщення з орієнтацією на південь та південний схід [8];

2) балансу середньодобового споживання струмоприймачами закладу та необхідного обсягу генерації електроенергії для його підтримання;

3) максимальної сумарної електричної потужності приєднаних струмоприймачів, обрхованої в години максимальної сонячної генерації протягом світлового дня у період здійснення навчального процесу (за виключенням зимових місяців).

За умови 1 може виникати ситуація, за якої обсяги сумарної добової генерації є більшими або меншими від обсягів добового споживання. Це найбільш прийнятний варіант за можливості укладення угоди з постачальником електроенергії щодо її купівлі-продажу з урахуванням «перетоків». При цьому необхідно визначитися із ціною електроенергії, за якою вона буде постачатися постачальником та закупатися у споживача (освітнього закладу). Останній момент (ціна закупівлі у споживача) є важливим та вирішальним з огляду на реальну вартість згенерованої освітнім закладом електроенергії.

Розглядаючи умову 2, доцільно звернути увагу на обставини, за яких можна досягти усередненого балансу електроспоживання та генерації. Зважаючи на особливості добового графіка генерації (довгота світлового дня, погодні умови різних періодів року, змінний кут відносного розташування сонця та площин сонячних панелей), для визначення сумарної встановленої електричної потужності панелей та електростанції загалом доцільно користуватися статистичними даними результатів функціонування аналогічних станцій, розташованих у даному регіоні. При формуванні усередненого «профілю» добового електричного навантаження необхідно враховувати особливості функціонування освітнього закладу, тобто характер навчального процесу і розклад роботи закладу протягом доби та за місяцями. У будь-якому разі точне та однозначне визначення розрахункового балансу електрогенерації і споживання є проблематичним.

За умови 3 важливим є визначення «спектру» погодинного споживання електроенергії струмоприймачами освітнього закладу упродовж доби згідно особливостей здійснення навчального процесу. За результатами порівняння «спектру» споживання з технічними можливостями майбутньої генерації (з урахуванням «спектру» генерації електроенергії упродовж світлового періоду доби) має визначитися електрична потужність сонячної електростанції. Подальшим кроком є порівняння визначеної потужності електрогенерації з фактичними можливостями розташування сонячних панелей на огорожувальних конструкціях будівель. Максимальну встановлену електричну потужність сонячної станції доцільно визначати з урахуванням графіка добової генерації у даній місцевості упродовж осінньо-весняного періоду навчального року. Практика показує, що зважаючи на мінімальні обсяги сонячної електрогенерації протягом листопаду-лютого (для умов півночі та північного сходу України), її обсяги до розрахунку електричної потужності, а, отже, і до розрахунку кількості сонячних панелей, брати до уваги не варто.

Вихідними даними для оцінювання доцільності будівництва сонячної електростанції в межах освітнього закладу є інформація, отримувана з його макро- та мікросередовища.

В першу чергу необхідно звернути увагу на чинні нормативні акти, які регулюють бухгалтерський та податковий облік основних засобів, виходячи з термінів їх амортизації [5, 6]. Порядок розрахунку амортизації основних засобів встановлено п. 138.3 ст. 138 Податкового кодексу України. Мінімумально допустимі строки амортизації основних засобів встановлено пп. 138.3.3 п. 138.3 ст. 138 Податкового кодексу. Враховуючи номенклатуру обладнання сонячних електростанцій, його частково можна віднести до групи 3 – передавальні пристрої та до групи 9 – інші основні засоби. Оскільки переважна кількість елементів устаткування належить до групи 9, мінімальний строк амортизації за якою становить 12 років, у наших подальших розрахунках приймемо період амортизації основних засобів (основного обладнання сонячної електростанції) у межах зазначених 12 років.

Наразі рівень чинних тарифів, за якими освітній заклад сплачує постачальнику за спожиту електроенергію в навчальному процесі, у середньому становить 2,6 грн/кВт·год. Саме це значення будемо використовувати у наших подальших розрахунках.

За даними досліджень [7] та результатами практичного застосування сонячних модулів щорічне зниження обсягів генерації через деградацію матеріалів сонячних панелей становить 0,5% на рік. Виробники декларують термін служби таких панелей не менше 25 років. Отже, упродовж визначеного періоду амортизації сонячної електростанції зменшення щорічного обсягу генерації електроенергії буде відповідати математичній залежності (1), за якою можна розрахувати річну продуктивність 1 кВт встановленої електричної потужності сонячної електростанції за будь-який рік її експлуатації:

$$A_i = A_0 \cdot (1 - 0,005n_i), \quad (1)$$

де A_i – обсяг генерації електричної енергії за будь-який рік терміну експлуатації сонячної електростанції (з розрахунку на 1 кВт встановленої електричної потужності, кВт·год); A_0 – обсяг генерації електричної енергії за перший рік експлуатації сонячної електростанції (з розрахунку на 1 кВт встановленої електричної потужності, кВт·год); n_i – поточний рік експлуатації сонячної електростанції, крім першого ($n_i \geq 1$).

Враховуючи наявні статистичні дані, середні питомі обсяги генерації електричної енергії станцією за перший рік експлуатації A_0 становлять близько 1000 кВт·год (на 1 кВт встановленої потужності) за умови її розташування у кліматичних умовах північних та північно-східних регіонів України. Північ і північний схід є найгіршими умовами на території країни для сонячної електрогенерації за обсягами сонячної радіації, що припадає на одиницю площі, тому використання показника у 1000 кВт·год відповідає найбільш песимістичному сценарію для південніших регіонів України. Через це у подальших розрахунках будемо спиратися на зазначену цифру, яка забезпечує отримання мінімальних технічно й економічно обґрунтованих значень інших показників. Розрахункові обсяги річної генерації електричної енергії A_{ik} сонячною електростанцією встановленої електричної потужності k (кВт), яка може функціонувати у зазначених кліматичних умовах, можна розраховувати за формулою (2):

$$A_{ik} = 1000 \cdot k \cdot (1 - 0,005n_i). \quad (2)$$

Враховуючи строк амортизації сонячних панелей (12 років), динаміка зміни питомих розрахункових щорічних обсягів генерації електричної енергії сонячною станцією A_i може мати вигляд (див. табл. 1):

Таблиця 1

Розрахункові питомі щорічні обсяги генерації електричної енергії сонячною станцією A_i (кВт·год/кВт)

n_i	1	2	3	4	5	6
A_i	1000	995	990	985	980	975
n_i	7	8	9	10	11	12
A_i	970	965	960	955	950	945

Користуючись даними табл. 1, для визначення розрахункового обсягу річної генерації електроенергії за будь-який рік експлуатації достатньо числове значення A_i помножити на величину встановленої потужності сонячної електростанції у кВт.

Першочерговими витратами щодо будівництва сонячної електростанції, які є складовою вартості її життєвого циклу, є витрати на її проектування B_{pr} . Середня ринкова вартість проектних робіт сонячних електростанцій встановленою електричною потужністю від 3 до 30 кВт, розташованих на огорожувальних конструкціях будівель, наразі становить близько 1400 грн. Також на ринку сьогодні пропонуються комплексні послуги, які включають одночасно монтажні та пусконаладжувальні роботи $B_{мон+пл}$ [9]. Аналіз пропозиції свідчить, що середня ринкова вартість таких послуг може становити від 22000 грн до 37000 грн залежно від обсягу монтажних робіт, який визначається кількістю сонячних панелей.

Вартість комплексу основного обладнання мережевої електростанції переважно залежить від електричної потужності обладнання (інвертора), кількості сонячних панелей, способу їх кріплення на покрівлі або інших огорожувальних конструкціях будівлі і охоплює сумарну вартість: сонячних панелей, інвертора, кабельної продукції, системи електричного захисту та керування, системи кріплення (на горизонтальній поверхні чи скатній покрівлі). Транспортні витрати B_{trans} надавачі послуг декларують на рівні 5500 грн.

Середня ринкова вартість комплексу обладнання для монтажу «під ключ» сонячних електростанцій $B_{осн}$ різної електричної потужності наведена у табл. 2 за джерелами [7, 9].

Остаточна вартість обладнання залежить від виробника та технічних характеристик устаткування і може коливатися у межах 25%. Наприклад, вартість сонячної електростанції встановленою потужністю 10 кВт може складати від 172,4 тис. грн до 230,8 тис. грн. Однак, для на-

ших подальших розрахунків скористаємося даними з табл. 2.

Пункт обліку обсягів «перетікання» електроенергії від постачальника до споживача та навпаки, згідно чинних норм і правил, у своєму складі має групу пристроїв електрозахисту від перевантажень за напругою та струмом, а також електронний лічильник електричної енергії, який дозволяє вести облік електроенергії за напрямком «перетікання» та за періодами доби. Вартість представленого на ринку обладнання B_{pobl} для такого пункту у середньому становить близько 9,7 тис. грн.

Таблиця 2

Середня ринкова вартість обладнання сонячних електростанцій за умови монтажу «під ключ» в залежності від їх установленної електричної потужності

Установлена потужність, кВт	Вартість основного устаткування, тис. грн
3	70,97
5	128,20
10	208,92
15	254,02
20	397,05
25	420,47
30	501,02

Плата за нестандартне приєднання електроустановок споживача до електричних мереж постачальника B_{pryedn} згідно постанови Національної комісії, що здійснює державне регулювання у сферах енергетики та комунальних послуг, від 22.11.2019 р. № 2461 для Сумської області становить близько 1,1 тис. грн за 1 кВт приєднаної потужності. Розмір плати для споживачів, розташованих в інших регіонах України, також визначається цією постановою. Для обчислення загальної суми оплати B_{pryedn} необхідно «питому» плату за приєднання 1 кВт установленної потужності λ помножити на загальну установлену потужність сонячної електростанції k , тоді $B_{pryedn} = \lambda \cdot k$.

Якщо освітній заклад вже має визначену попередньо дозволена потужність споживання електроенергії, то k має розраховуватися як різниця Δk_{pryedn} між величиною сумарної заявленої нової встановленої електричної потужності струмоприймачів $k_{pryedn.new}$ та вже наявної $k_{pryedn.fakt}$, тобто:

$$\Delta k_{pryedn} = k_{pryedn.new} - k_{pryedn.fakt}$$

Звідси:

$$B_{pryedn} = \lambda \cdot \Delta k_{pryedn}$$

або:

$$B_{pryedn} = \lambda \cdot (k_{pryedn.new} - k_{pryedn.fakt}). \quad (3)$$

Поточне обслуговування сонячної електростанції потребує високої кваліфікації персоналу здебільшого лише у частині обслуговування інвертора, тому доцільним вважається цю функцію покласти на персонал спеціалізованих підприємств.

Щорічні витрати на поточне обслуговування сонячної електростанції B_{obsl} , які включають регламентні та поточні роботи з обслуговування сонячних панелей, обладнання постійного і змінного струму, інверторів, усунення аварійних ситуацій, залежно від обсягу послуг, які надають сервісні компанії, можуть становити від 3500 грн до 10100 грн. Зважаючи на те, що освітні заклади мають персонал, відповідальний за енергозабезпечення та технічне обслуговування внутрішніх електромереж, доцільним є зупинитися на мінімальних додаткових витратах щодо поточного обслуговування сонячної електростанції.

Витрати на ліквідацію сонячної електростанції по завершенню строку її амортизації у нашому випадку не розглядаються з огляду на інформацію виробників щодо декларованого терміну служби обладнання.

Припускаючи варіант застосування прямолінійного методу амортизації для спрощення розрахунків, а також постійні щорічні поточні витрати на обслуговування обладнання електростанції, щорічні загальні витрати $B_{richni.plan.}$, які є базою для розрахунку планової собівартості генерації 1 кВт·год у першому році функціонування сонячної електростанції, без урахування фактору часу можуть бути обчислені за формулою:

$$B_{richni.plan.} = (B_{pr} + B_{mon+pn} + B_{osn} + B_{trans} + B_{pobl} + B_{pryedn}) / 12 + B_{obsl.} \quad (4)$$

Для розрахунку частки щорічних витрат (з урахуванням амортизаційних нарахувань та відшкодування інших витрат) $B_{p.1roku}$, які припадають на 1 кВт·год, вироблену сонячною електричною станцією у 1-му році її експлуатації, скористаємося формулами (2) та (4):

$$B_{p.1roku.} = [(B_{pr} + B_{mon+pn} + B_{osn} + B_{trans} + B_{pobl} + B_{pryedn}) / 12 + B_{obsl.1.}] / 1000 \cdot k \cdot (1 - 0,005n_i) \quad (5)$$

за умови, що для першого року експлуатації $n_i = 0$, а $B_{obsl.1.}$ – витрати на обслуговування станції за 1-й рік експлуатації.

Частка щорічних витрат (з урахуванням амортизаційних нарахувань та відшкодування інших витрат) $B_{p.i.roku}$, яка припадає на 1 кВт·год, вироблену сонячною електричною станцією у i -му році її експлуатації, може бути розрахована за формулою, аналогічною до формули (5):

$$B_{p.i.roku.} = [(B_{pr} + B_{mon+pn} + B_{osn} + B_{trans} + B_{pobl} + B_{pryedn}) / 12 + B_{obsl.i.}] / 1000 \cdot k \cdot (1 - 0,005n_i). \quad (6)$$

Врахування фактору часу дещо змінить підхід до обчислення щорічних загальних витрат $B_{richni.plan.}$ а також $B_{p.1roku}$ і $B_{p.i.roku}$.

Для розрахунку вартості генерації електроенергії сонячною електричною станцією (фотоелектричною установкою) з урахуванням фактору часу скористаємося методикою Levelized Cost of Energy (LCOE). На сьогодні методика LCOE широко застосовується низкою авторитетних організацій у сфері енергетики, а саме Міжнародним енергетичним агентством, Міжнародним агентством з відновлювальної енергетики, для порівняльного аналізу витрат на виробництво електричної енергії на основі різних технологій генерації.

Показник LCOE відображає фіксовану вартість електроенергії, при якій сукупна дисконтована виручка від її продажу дорівнює сукупним дисконтованим витратам упродовж всього життєвого циклу генеруючого об'єкта [10].

Розрахунок вартості генерації електроенергії сонячною електричною станцією буде базуватися на урахуванні інвестиційних та операційних витрат, обсягу згенерованої електроенергії та ставки дисконтування. Варто зазначити, що при розрахунку LCOE у даному дослідженні не будуть враховуватися витрати на приєднання сонячної електростанції до електричних мереж постачальника, виходячи з припущення, що заклад освіти має резервну приєднану потужність. Крім того, оскільки у вітчизняній практиці відсутні техніко-економічні розрахунки щодо вартості виведення сонячних електростанцій з експлуатації, припустимо, що вартість виведення з експлуатації буде дорівнювати ліквідаційній вартості устаткування.

Таким чином, формула для розрахунку LCOE набуде вигляду:

$$LCOE = \frac{\sum_{t=1}^n ((I_t + Q_t) \cdot (1+r)^{-t})}{\sum_{t=1}^n (E_t \cdot (1+r)^{-t})}, \quad (7)$$

де $LCOE$ – вартість генерації електроенергії упродовж всього життєвого циклу сонячної електростанції, грн/кВт·год; E_t – обсяг згенерованої електроенергії у t -му році, кВт·год; I_t – інвестиційні витрати у t -му році, грн/кВт·год; Q_t – операційні витрати у t -му році, грн/кВт·год; n – тривалість життєвого циклу сонячної електростанції, років; r – ставка дисконтування; t – рік реалізації проекту.

Ставку дисконтування для розрахунку LCOE розрахуємо на основі середньозваженої вартості капіталу (WACC) [11]:

$$WACC = K_s \cdot W_s + K_d \cdot W_d, \quad (8)$$

де K_s – вартість власного капіталу для реалізації проекту, частка одиниці; W_s – частка власного капіталу за балансом, частка одиниці; K_d – вартість позикового капіталу для реалізації проекту, частка одиниці; W_d – частка позикового капіталу за балансом, частка одиниці.

Припустимо, що реалізація проекту з будівництва сонячної електростанції не потребує залучення кредитних ресурсів. Відтак, частка позикового капіталу за балансом та його вартість будуть дорівнювати нулю.

Оцінку вартості власного капіталу визначимо на основі середніх річних ставок за депозитами в гривні для юридичних осіб у державних банках, оскільки заклади освіти мають право розміщувати депозити тільки в банках державної власності. Так, станом на 1.10.2020 року середня максимальна ставка за депозитами для юридичних осіб в Приватбанку, Укргазбанку та Ощадбанку становила 8% річних [12-14], тому саме вона буде використовуватися для оцінки вартості власного капіталу. Враховуючи відсутність залучення кредитних ресурсів, частка власного капіталу за балансом буде дорівнювати 100%, відтак, відповідно до формули (8) ставка дисконтування становитиме 8%.

Узагальнимо вищенаведені техніко-економічні дані для розрахунку вартості генерації електроенергії сонячними електростанціями встановленою потужністю 10, 20 та 30 кВт (табл. 3).

Таблиця 3

Техніко-економічні дані для розрахунку вартості генерації електроенергії сонячними електростанціями встановленою потужністю 10, 20 і 30 кВт

Потужність, кВт	10	20	30
B_{pr}	1400	1400	1400
B_{trans}	4500	5000	5500
B_{mon+pn}	22000	26000	30000
B_{pobl}	9700	9700	9700
B_{osn}	208920	397050	501020
B_{prvedn}	0	0	0
B_{obsl}	3500	3500	3500

На основі даних, наведених у таблиці 3, розрахуємо вартість генерації електроенергії сонячними електростанціями, встановленою потужністю 10, 20 та 30 кВт, за методикою LCOE з урахуванням ставки дисконтування та без її врахування для двох життєвих циклів генеруючих установок – 12 (амортизаційний цикл) та 25 років (повний життєвий цикл) (табл. 4).

Таблиця 4

Вартість генерації електроенергії фотоелектричними установками, розрахована за методикою LCOE

Установлена потужність сонячної електростанції, кВт	Життєвий цикл електростанції, років	LCOE з урахуванням ставки дисконтування 8%, грн/кВт·год	LCOE без урахування ставки дисконтування, грн/кВт·год
10	12	3,68	2,62
	25	2,75	1,49
20	12	2,94	2,06
	25	2,17	1,12
30	12	2,30	1,61
	25	1,69	0,86

Варто зазначити, що відповідно до чинного законодавства заклади освіти можуть продавати за «зеленим» тарифом лише надлишок електроенергії, який неспожитий у власних цілях.

Враховуючи той факт, що обсяги споживання електроенергії закладами освіти перевищують обсяги, що здатні генерувати сонячні установки потужністю 10-30 кВт, весь обсяг «зеленої» електроенергії буде споживатися у власних цілях. За таких умов економічні вигоди від експлуатації сонячної електростанції можна представити у вигляді суми, яку заклад освіти зекономить шляхом заміщення електроенергії, згенерованої з традиційних енергетичних ресурсів (яку закупає за тарифом 2,6 грн/кВт·год), електроенергією, згенерованою сонячною електростанцією (собівартість якої наведена в табл. 4).

Представивши чистий грошовий потік у вигляді різниці між тарифом на традиційну електроенергію та собівартістю власної сонячної генерації, розрахуємо терміни окупності інвестиційних проектів з будівництва сонячних електростанцій (табл. 5).

Виходячи з даних табл. 5, можна зробити висновок, що з урахуванням ставки дисконтування окуповується лише інвестиційний проект сонячної електростанції потужністю 30 кВт з урахуванням повного життєвого циклу генеруючого об'єкта – 25 років. Таким чином, реалізація проектів в рамках амортизаційного циклу у 12 років та проектів меншої встановленої потужності є економічно недоцільною.

Таблиця 5

Терміни окупності інвестиційних проектів з будівництва сонячних електростанцій встановленою потужністю 12, 20 і 30 кВт з урахуванням і без врахування ставки дисконтування при розрахунку вартості електроенергії для двох життєвих циклів генеруючих установок (12 та 25 років)

Установлена потужність сонячної електростанції, кВт	Життєвий цикл електростанції, років	Термін окупності проекту з урахуванням ставки дисконтування, років	Термін окупності проекту без врахування ставки дисконтування, років
10	12	–	–
	25	–	23,2
20	12	–	–
	25	–	15,2
30	12	–	10,8
	25	19,9	10,8

Примітка: «←» – термін окупності перевищує життєвий цикл проекту, тобто проект не окуповується

Без врахування ставки дисконтування доцільною є реалізація проектів сонячних електростанцій встановленою потужністю 25 і 30 кВт з урахуванням повного життєвого циклу генеруючого об'єкта. Аналогічно економічно недоцільною є реалізація проектів з амортизаційним циклом 12 років через їх некупність в межах цього циклу.

Варто зазначити, що термін окупності був розрахований за незмінної ціни на електроенергію, а саме 2,6 грн за 1 кВт·год. Враховуючи той факт, що динаміка зміни тарифів на електроенергію в Україні має стійку тенденцію до зростання, термін окупності проектів може бути значно меншим, оскільки безпосередньо залежить від зміни величин тарифу на традиційну електроенергію.

При остаточному прийнятті рішення щодо будівництва мережевої сонячної електростанції, окрім наведених вище розрахунків економічної ефективності, необхідно враховувати й інші фактори. Одним із найбільш важливих чинників є залежність питомих капіталовкладень на виробництво електроенергії від потужності мережевої сонячної електростанції. Розрахунки свідчать про існування певних «сходинок» значень питомих капіталовкладень в інтервалах потужностей сонячних електростанцій (табл. 6).

Залежність питомих капіталовкладень у виробництво електроенергії від потужності мережевої сонячної електростанції задовільно описують рівняння:

- для незначного інтервалу зміни потужності (при зростанні потужності приблизно в два рази) – лінійна залежність ($R^2 = 0,8833$):

$$K = -1,7875P + 37,236, \quad (7)$$

- для значного інтервалу зміни потужності (при зростанні потужності приблизно у п'ять і більше разів) – експоненціальна залежність ($R^2 = 0,8765$):

$$K = 37,894e^{-0,0597P}, \quad (8)$$

де K – питомі капіталовкладення, грн/кВт·год, P – потужність сонячної електростанції, кВт.

Таблиця 6

Питомі капіталовкладення на 1 кВт·год виробництва електроенергії
залежно від потужності мережевої сонячної електростанції

Потужність, кВт	Капіталовкладення, грн.	Річна генерація, кВт·год	Питомі капіталовкладення, грн/кВт·год
1	33600	971,9	34,57
3	100800	2915,75	34,57
5	154000	4859,55	31,70
7	215600	6803,35	31,70
15	378000	14578,65	25,90
20	504000	19498,2	25,90
30	756000	29157,25	25,90

Іншим важливим фактором при прийнятті рішення щодо будівництва мережевої сонячної електростанції є регіональні кліматичні умови. Зокрема, автори [15] зазначають, що «...для України середнє значення корисного виходу електричної енергії з 1 м² поверхні сонячних батарей ФЕП з ККД = 14-17% знаходиться в межах 145-180 Вт/м²». Очевидно, що корисний вихід електричної енергії з 1 м² поверхні сонячних батарей залежить від потужностей сонячного випромінювання для території України і безпосередньо впливає (при інших рівних умовах) на показники економічної ефективності. Авторами, для врахування регіональних кліматичних факторів, пропонується застосовувати відносний регіональний коефіцієнт (табл. 7). При розрахунках приймалися фіксовані для всіх областей умови: потужність сонячної електростанції – 4998,6 кВт, загальні капіталовкладення – 240,3 млн. грн. Розрахунки проводились з використанням калькулятора визначення вартості сонячних електростанцій [16]. Відносний регіональний коефіцієнт розраховувався як обернена величина до терміну окупності капіталовкладень для відповідної області до його середнього значення по Україні.

Таблиця 7

Відносні регіональні коефіцієнти коригування економічної ефективності
будівництва мережевих сонячних електростанцій

Область	Виробництво електроенергії, кВт·годин	Дохід, млн грн/рік	Термін окупності, років	Відносний регіональний коефіцієнт
Вінницька	5463437	24,9	9,6	1,06
Волинська	4893600	22,3	10,8	0,95
Дніпропетровська	5083545	23,2	10,4	0,98
Донецька	5178518	23,6	10,2	1,0
Житомирська	5413451	24,7	9,7	1,05
Закарпатська	4893660	22,3	10,8	0,95
Запорізька	5128532	23,4	10,3	0,99
Івано-Франківська	4938587	22,5	10,7	0,95
Київська	5368464	24,5	9,8	1,04
Кіровоградська	5318478	24,3	9,9	1,03
Луганська	5179018	23,6	10,2	1,0
Львівська	4563694	20,8	11,6	0,88

Продовження таблиці 7

Миколаївська	5318528	24,2	9,9	1,03
Одеська	5463487	24,9	9,6	1,06
Полтавська	5033559	22,9	10,5	0,97
Рівненська	5083595	23,2	10,4	0,98
Сумська	4988572	22,7	10,6	0,96
Тернопільська	4938637	22,5	10,7	0,95
Харківська	5098541	23,2	10,3	0,99
Херсонська	4843614	22,1	10,9	0,94
Хмельницька	5368514	24,5	9,8	1,04
Черкаська	5318483	24,2	9,9	1,03
Чернігівська	5368464	24,5	9,8	1,04
Чернівецька	5368464	24,5	9,8	1,04
АР Крим	5888315	26,8	9,0	1,13

Цей коефіцієнт показує, що при інших рівних умовах віддача/ефективність капіталовкладень у будівництво мережевих сонячних електростанцій, наприклад, для АР Крим буде на 13% вищою від Луганської області, а для Волинської – на 5% нижчою.

Необхідно зазначити, що, окрім економічних вигод, реалізація проектів сонячної енергетики закладами освіти має низку інших переваг. Оскільки генерація електроенергії на основі сонячного випромінювання не супроводжується викидами діоксиду вуглецю, заміщення електроенергії, згенерованої з викопних паливно-енергетичних ресурсів, «зеленою» електроенергією буде мати позитивний вплив на стан навколишнього середовища та виконання зобов'язань, взятих Україною в рамках Паризької кліматичної угоди. Крім того, використання сонячної енергетики для забезпечення власних енергетичних потреб закладами вищої освіти буде мати позитивний вплив на їх імідж та сприяти зміцненню позицій в рейтингу Green Metric World University Rankings.

Висновки

Запропонований методичний підхід до обґрунтування варіантів застосування сонячних електростанцій в освітніх закладах з метою зменшення їх витрат на енергоспоживання дозволяє визначати доцільність впровадження таких заходів, користуючись критеріями обсягів генерації електроенергії (а, отже, установленної електричної потужності електростанції) залежно від електричної потужності приєднаних струмоприймачів та добового «спектру» електроспоживання.

Аналіз вартості життєвого циклу проекту та амортизаційного циклу обладнання у поєднанні з визначенням розрахункової питомої вартості генерації електроенергії (собівартості генерації 1 кВт·год) дає можливість обґрунтувати розрахункові та фактичні (для діючої електростанції) щорічні питомі витрати закладу на генерацію електроенергії у будь-якому *i*-му році функціонування сонячної установки, у тому числі з урахуванням фактору часу.

Порівняння розрахункових та фактичних питомих витрат освітнього закладу на генерацію власної сонячної електроенергії з тарифами постачальника електроенергії із загальної мережі має стати інформаційним підґрунтям для ухвалення технічних та управлінських рішень про впровадження «зелених» електрогенеруючих установок у закладах освіти.

Статтю підготовлено в процесі виконання держбюджетної теми 0118U003583 (договір № 53.17.01-01.18/20.3П).

Перелік використаних джерел:

1. ДБН А.2.2-3-2014. Склад та зміст проектної документації на будівництво. – Введ. 2014-10-01. – К. : Мінрегіон України, 2014. – 36 с.
2. Про затвердження Методичних рекомендацій з формування собівартості продукції (робіт, послуг) у промисловості : Наказ Міністерства промислової політики України від 09.07.2007 № 373. – 2007. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0373581-07>.
3. Про затвердження Методичних рекомендацій з планування, обліку і калькулювання собіва-

- рності продукції (робіт, послуг) сільськогосподарських підприємств : Наказ Міністерства аграрної політики України від 18.05.2001 № 132. – 2001. – Режим доступу: <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0132555-01#Text>.
4. Про затвердження Методичних рекомендацій з планування, обліку і калькулювання собівартості продукції (робіт, послуг) : Наказ Міністерство палива та енергетики України від 13.06.2003 № 294. – 2003. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0294558-03>.
 5. Про затвердження Положення (стандарту) бухгалтерського обліку 7 «Основні засоби» : Наказ Міністерства фінансів України від 27.04.2000 № 92 (в ост. ред. від 29.10.2019). – 2000. – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0288-00#Text>.
 6. Податковий Кодекс України // Відомості Верховної Ради України (ВВР). – 2011. – № 13-14, № 15-16, № 17. – Ст.112 (в ост. ред. від 14.10.2020). – Режим доступу : <https://zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text>.
 7. Скільки прослужать сонячні панелі [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні данні. – Режим доступу : https://abc-solar.com.ua/usefull_info/skilki-prosluzhat-sonyachni-paneli.
 8. Литвиненко М. Кут нахилу сонячних батарей та його вплив на техніко-економічні показники експлуатації сонячної електростанції / М. Литвиненко, М. Сотник. – 2018. – Режим доступу : <https://events.pstu.edu/konkurs-energy/wp-content/uploads/sites/2/2019/03/Енергетична-ефективність-1.pdf>.
 9. Сонячні станції для дому [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні данні. – Режим доступу : <https://alteco.in.ua/ua/rishennia-alternatyvnoi-enerhetyky/soniachni-elektrostantsii-dlia-domu/soniachna-stantsiia-dlia-budynku-10-kvt-7-hibrydna>.
 10. FISES: Fraunhofer institute for solar energy systems, 2018. Levelized cost of electricity renewable energy technologies [Electronic resource] : [Website]. – Electronic data. – Mode of access : <http://surl.li/gjwx>.
 11. Study Finance. Weighted Average Cost of Capital (WACC) [Electronic resource] : [Website]. – Electronic data. – Mode of access : <http://surl.li/gjwy>.
 12. ПриватБанк. Процентні ставки за депозитами 2020 [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні данні. – Режим доступу : <https://privatbank.ua/depozit>.
 13. Укргазбанк. Процентні ставки за депозитами 2020 [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні данні. – Режим доступу : <http://surl.li/gjxf>.
 14. Ощадбанк. Процентні ставки за депозитами 2020 [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні данні. – Режим доступу : <https://www.oschadbank.ua/ua/private/deposit>.
 15. Кожем'яко В.П. Оптимізація проектів будівництва сонячних електростанцій із врахуванням базових техніко-економічних показників / В.П. Кожем'яко, О.Г. Домбровський, В.І. Маліновський // Оптико-електронні інформаційно-енергетичні технології. – 2015. – № 2. – С. 66-81.
 16. Калькулятор визначення вартості сонячних електростанцій [Електронний ресурс] : [Веб-сайт]. – Електронні данні. – Режим доступу : www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostantsii/kalkulyator-sonyachnoi-elektrostantsii. – Назва з екрана.

References:

1. *DBN A.2.2-3-2014. Sklad ta zmist proektnoyi dokumentatsiyi na budivnytstvo* [State building codes A.2.2-3-2014. Composition and content of design documentation for construction]. Kiev, Minregion Ukraïni Publ., 2014. 36 p. (Ukr.)
2. *Nakaz Ministerstva promislovoi politiki Ukraïni no. 373 vid 09.07.2007. Pro zatverdzhennia Metodichnikh rekomendatsii z formuvannia sobivartosti produktsii (robit, poslug) u promislovosti* [Order of the Ministry of Industrial Policy of Ukraine no. 373 from 09.07.2007. On approval of Methodical recommendations for the formation of the cost of products (works, services) in industry]. Kiev, 2007. Available at: www.zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0373581-07 (accessed 15 March 2020). (Ukr.)
3. *Nakaz Ministerstva agrarnoi politiki Ukraïni no. 132 vid 18.05.2001. Pro zatverdzhennia Metodichnikh rekomendatsii z planuvannia, obliku i kal'kuliuvannia sobivartosti produktsii (robit, poslug) sil's'kogospodars'kikh pidpriemstv* [Order of the Ministry of agrarian policy of Ukraine no. 132 from 18.05.2001. About the statement of Methodical recommendations on planning, the account and calculation of prime cost of production (works, services) of the agricultural enterpris-

- es]. Kiev, 2007. Available at: www.zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0132555-01#Text (accessed 15 March 2020). (Ukr.)
4. *Nakaz Ministerstvo paliva ta energetiki Ukraini no. 294 vid 13.06.2003. Pro zatverdzhennia Metodichnikh rekomendatsii z planuvannia, obliku i kal'kuliuvannia sobivartosti produktsii (robit, poslug)* [Order of the Ministry of Fuel and Energy of Ukraine no. 294 from 13.06.2003. On approval of Methodical recommendations on planning, accounting and costing of products (works, services)]. Kiev, 2003. Available at: www.zakon.rada.gov.ua/rada/show/v0294558-03 (accessed: 15 March 2020). (Ukr.)
 5. *Nakaz Ministerstva finansiv Ukraini no. 92 vid 27.04.2000 (v ost. red. Vid 29.10.2019). Pro zatverdzhennia Polozhennia (standartu) bukhgalters'kogo obliku 7 «Osnovni zasobi»* [Order of the Ministry of Finance of Ukraine dated 27.04.2000 no. 92 (the last edition from 29.10.2019). On approval of the Regulation (standard) of accounting 7 «Fixed assets»]. Kiev, 2000. Available at: www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/z0288-00#Text (accessed 15 March 2020). (Ukr.)
 6. *Podatkovii Kodeks Ukraini* [Tax Code of Ukraine]. *Vidomosti Verkhovnoi Radi Ukraini – Information of the Verkhovna Rada of Ukraine*, 2011, no. 13-14, no. 15-16, no. 17, article 112 (the last edition from 14.10.2020) Available at: www.zakon.rada.gov.ua/laws/show/2755-17#Text (accessed: 15 March 2020). (Ukr.)
 7. *Skilky prosluzhat sonyachni paneli* (How long will solar panels last) Available at: www.abc-solar.com.ua/usefull_info/skilki-prosluzhat-sonyachni-paneli (accessed: 16 February 2020). (Ukr.)
 8. Litvinenko M., Sotnyk M. *Kut nakhilu soniachnikh batarei ta iogo vpliv na tekhniko-ekonomichni pokazniki ekspluatatsii soniachnoi elektrostantsii* (The angle of the solar panels and its impact on the technical and economic performance of the solar power plant) Available at: <https://events.pstu.edu/konkurs-energy/wp-content/uploads/sites/2/2019/03/Енергетична-ефективність-1.pdf> (accessed 20 February 2020). (Ukr.)
 9. *Sonyachni stancii dlja domu* (Solar stations for home) Available at: www.alteco.in.ua/ua/rishennia-alternatyvnoi-enerhetyky/soniachni-elektrostantsii-dlia-domu/soniachna-stantsiia-dlia-budynku-10-kvt-7-hibrydna (accessed: 16 February 2020). (Ukr.)
 10. FISES: Fraunhofer institute for solar energy systems, 2018. Levelized cost of electricity renewable energy technologies Available at: www.surl.li/gjwx (accessed: 16 February 2020).
 11. Study Finance. Weighted Average Cost of Capital (WACC) Available at: www.surl.li/gjwy (accessed 15 March 2020).
 12. *PrivatBank. Protsentni stavki za depozitami 2020* (PrivatBank. Interest rates on deposits. 2020) Available at: www.privatbank.ua/depozit (accessed 10 April 2020). (Ukr.)
 13. *Ukrgazbank. Protsentni stavki za depozitami 2020* (UkrGasbank. Interest rates on deposits. 2020) Available at: www.surl.li/gjxf (accessed 10 April 2020). (Ukr.)
 14. *Oshchadbank. Protsentni stavki za depozitami 2020* (Oschadbank. Interest rates on deposits. 2020) Available at: www.oschadbank.ua/ua/private/deposit (accessed 10 April 2020). (Ukr.)
 15. Kozhem"yako V.P., Dombrovsky O.G., Malinovsky V.I. *Optymizatsiya proektiv budivnytstva sonyachnykh elektrostantsiy iz vrakhuvannyam bazovykh tekhniko-ekonomichnykh pokaznykiv* [Optimization of projects of construction of solar power plants taking into account basic technical and economic indicators]. *Optiko-elektronni informatsiino-energetichni tekhnologii – Optoelectronic Information-Energy Technologies*, 2015, no. 2, pp. 66-81. (Ukr.)
 16. *Kal'kulyator vyznachennya vartosti sonyachnykh elektrostantsiy* (Calculator for determining the cost of solar power plants) Available at: www.atmosfera.ua/uk/sonyachni-elektrostancii/kalkulyator-sonyachnoi-elektrostancii (accessed 10 March 2020). (Ukr.)

Рецензент: О.О. Ляпощенко

д-р техн. наук, проф., Сумський державний університет

Стаття надійшла 15.04.2020