

МЕТОД ПІДВИЩЕННЯ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ЕФЕКТИВНОСТІ ФОТОЕЛЕКТРИЧНИХ ПАНЕЛЕЙ ЗА РАХУНОК ПЕРЕТВОРЕННЯ ЇХ У ГІБРИДНИЙ КОЛЕКТОР

В. О. Разінков¹, В. В. Капалін²

¹ Національний університет «Одеська політехніка»,

² ТОВ "СК "ЕНЕРГОСЕРВІС"

Анотація. В даній роботі наводиться загальний опис методу підвищення енергетичних характеристик сонячних фотоелектричних панелей за рахунок перетворення їх у гібридний колектор, а також проводиться економічна оцінка доцільності використання даного методу та порівняльний аналіз ефективності. За рахунок підвищеної актуальності в нинішньому суспільстві автономних джерел електричної енергії, особлива увага приділяється відновлювальним джерелам енергії зокрема сонячним фотоелектричним панелям. Будівництво дахових СЕС стає все більш актуальним в контексті сучасних тенденцій розподіленої генерації та надійності електропостачання. Підвищення енергетичної ефективності сонячних фотоелектричних панелей є одним із аспектів, який гармонійно поєднує в собі підвищення енергетичної стійкості, надійності та автономності.

Ключові слова: електрична енергія, фотоелектричні сонячні панелі, температурний коефіцієнт, гібридний колектор, тепла енергія, нагрівання панелей, площа інсоляції

Вступ

Одним із недоліків сонячних фотоелектричних панелей є зменшення генерації електричної енергії при перевищенні температури над встановленою, як правило встановлена температура регламентується умовами лабораторного випробування STC і становить 25°C. За реальних практичних умов експлуатації перевищення робочої температури модуля понад 25 °C досягається вже в певні часові інтервали березня, і з наближенням літніх місяців температура тільки збільшується. За даними Укргідрометцентр [1] в липні 2024 температура на поверхні ґрунту досягала 72 °C, а отже температура сонячних панелей могла бути приблизно такою ж або навіть більшою, що викликає великі проблеми для експлуатації самих панелей та може впливати на тривалість їх експлуатації, тому перетворення сонячних панелей на гібридні колектори є одним із ефективних методів підвищення ефективності використання та стабілізації режиму роботи фотоелектричної панелі.

1. Мета дослідження

Визначення рівня ефективності використання методу підвищення ефективності використання фотоелектричних панелей за рахунок перетворення їх у гібридний колектор та проведення порівняльного аналізу пропонованого методу з існуючими рішеннями, що ставлять схожу мету.

© Разінков В. О., Капалін В. В., 2024

Матеріали та результати дослідження

Пропонований метод перетворення фотоелектричних панелей на гібридний колектор для підвищення енергетичної ефективності самих панелей ґрунтується та реалізується на базі спеціального пристрою [2,3]. Загалом у вказаних джерелах зазначено дві різні конструкції даного пристрою, кожна з яких має свої переваги та недоліки, однак в даній статі проводиться оцінка за другим варіантом, який має покращені характеристики в порівнянні з першим варіантом. Даний пристрій являє собою модуль адаптації будь-якої сонячної фотоелектричної панелі у гібридний колектор. В даному визначенні цього пристрою і знаходиться ключова відмінність його від існуючих рішень. Гібридні колектори або інша назва PV/T колектори не є новим рішенням для науковців та не є новинкою на ринку електротехнічної продукції, однак всі представлені існуючі моделі PV/T колекторів є конструктивно завершеними пристроями, і для того аби їх використовувати необхідно ще на першому етапі проектування одразу реалізовувати сонячні електростанції на їх базі, пропонований пристрій дозволяє зробити PV/T колектор вже з будь-якої сонячної фотоелектричної панелі та підвищити її ефективність використання, при цьому без необхідності порушення існуючих систем кріплення.

Сам пристрій фактично складається з дистанційного профілю, який кріпиться безпосередньо до металевої рами фотоелектричної панелі і на який укладається

світлопрозора пластина (скло). Дистанційний профіль разом зі світлопрозорою пластинкою утворює простір який заповнюється теплоносієм. В дистанційних профілях є два патрубкі, для подачі та відбору теплоносія. Загальний вигляд пристрою наведено на рисунку 1.

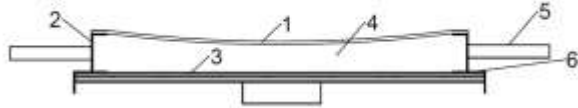


Рис. 1. - Загальна конструкція пристрою для перетворення сонячної панелі в гібридний колектор

На рисунку 1 представлено загальний вигляд пристрою, де поз. 1 – світлопрозора пластина (скло), поз. 2 – дистанційний профіль, поз. 3 – сонячна фотоелектрична панель, поз. 4 простір, який заповнюється теплоносієм, поз. 5 – патрубкі для подачі та відведення теплоносія, поз. 6 – металева рама фотоелектричної панелі.

Однак дана конструкція передбачає наявність додаткових шарів з зовнішньої частини фотоелектричного модуля, що відповідно буде зменшувати потік сонячного випромінювання на поверхню кремнієвих напівпровідникових елементів. Основним елементом який буде суттєво впливати на кількість сонячного надходження є безпосередньо теплоносії, оскільки сучасні види скла мають досить великий коефіцієнт пропускання сонячного світла, який коливається в межах 0,9-0,92 для звичайного кварцового скла та досягає значення 0,99 для над прозорого скла як приклад скло марки EuroWhite-128 виробництва Туреччина. Такий високий степінь пропускання світла обумовлений високою ступеню очистки. Що стосується теплоносія, то для простоти схеми використання найбільш доцільно використовувати очищену мережеву воду, однак вода має коефіцієнт пропускання сонячного світла приблизно в 1000 разів гірший за повітря, однак даний коефіцієнт в значній мірі залежить від товщини води. Послаблення світлового потоку в водяній товщі можна визначити з наступного виразу

$$F_k = F_0 \cdot 10^{-kx}, \quad (1)$$

де F_k – світловий потік, що був пропущений шаром води;

F_0 – вхідний світловий потік монохроматичного спектру;

x – товщина шару води, через який проходить світло, м;

k – показник поглинання шару води, 1/м.

Показники поглинання шару води можна визначити з кривих представлених на рисунку 2.

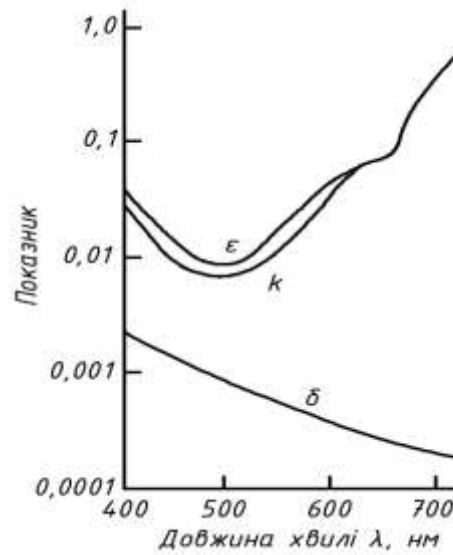


Рис. 2. - Криві поглинання, розсіювання та послаблення світла в оптично прозорій воді в залежності від довжини хвилі

З кривих представлених на рисунку 2 де ϵ – показник послаблення світлового потоку, δ – показник розсіювання, k – показник поглинання, можна побачити, що на величину показника насамперед впливає спектральний розподіл сонячного випромінювання. Для прорахунку втрат світлової енергії приймається що потік сонячного випромінювання складає 1000 Вт/м², а спектральний розподіл відповідає таким часткам, видиме сонячне випромінювання 43%, інфрачервоне 47%, ультрафіолетове 10%, товщина водяного шару приймається 15 мм. Результати розрахунків за цими умовами послаблення світлового потоку за цими умовами представлено на рисунку 3.

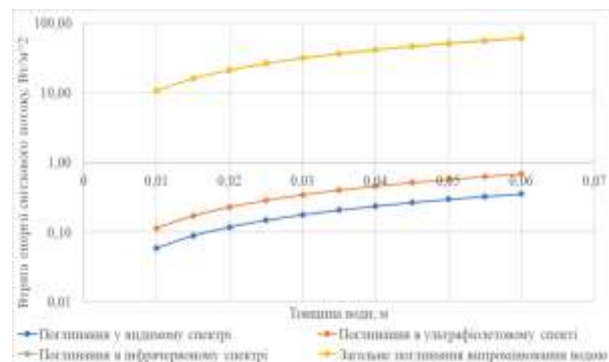


Рис. 3. - Втрати світлового потоку в різних спектральних частинах сонячного випромінювання

Найбільша частка втрати світлового потоку припадає на інфрачервоне випромінювання, частка якого при заданій товщині майже в 100 раз більше за видиме та ультрафіолетове, однак сумарна втрата світлового потоку при такій товщині теплоносія складає всього 1,6%.

Окрім поглинання водою, також послаблення може відбуватися і за рахунок розсіювання, однак величина цього розсіювання залежить головним чином від розміру частинок, які присутні у воді, якщо прийняти до уваги, що більшість твердих частинок видаляють з води на етапі водопідготовки за рахунок фільтрів грубої та тонкої фільтрації, то єдиним джерелом розсіювання виступатимуть самі молекули води, які під дією нагрівання почнуть створювати в сусідніх елементарних обсягах води різницю густин, через що виникне неоднорідність середовища і різниця заломлення, однак в даному дослідженні цим показником знехтуване, оскільки експериментальні дані не показали суттєвого його впливу.

Таким чином сумарне зменшення сонячного випромінювання, яке буде надходити на фотоелектричну панель коливатиметься в межах до 5%.

Сфера застосування даного пристрою розповсюджується головним чином на дахові сонячні електростанції, які будуються та вже існують на дахах багатоквартирних житлових будинків та будівель комунальної власності. В якості прикладу для визначення ефективності використання розглядається дахова сонячна електростанція, що розташовується на даху Міської дитячої лікарні № 3 в місті Одеса, яка представлена на рисунку 4.

Використання комунального сектору, як з урахуванням технічних даних панелей JA SOLAR JAM72S30-550/MR 550 WP [5], на базі яких побудована дахова СЕС, були визначені місячні втрати електричної енергії за рахунок перегріву кожного m^2 площі фотоелектричної панелі, помісячні результати у Вт·год наведені на рисунку 6. пріоритетного напрямку розвитку методу підвищення енергетичної ефективності сонячних панелей за рахунок перетворення їх у гібридний колектор, обумовлена насамперед можливістю ефективного використання низькотемпературного теплоносія. Ключовою ідеєю підвищення енергетичної ефективності сонячної фотоелектричної панелі є додаткове отримання теплоносія, однак оскільки основний очікуваний результат від впровадження даного методу очікується за рахунок зменшення температурних втрат фотоелектричної панелі, то суттєво підвищити температуру теплоносія не є

можливим, а отже повстане завдання використання обсягів низькотемпературного теплоносія.



Рис. 4. - Дахова СЕС Дитячої міської лікарні № 3

Таку задачу в комунальному секторі можна вирішити за рахунок подачі цього низькотемпературного теплоносія до водонагрівачів, оскільки в місті Одеса відсутнє централізоване гаряче водопостачання то більшість комунальних сфер перейшли безпосередньо на використання електричних водонагрівачів, а отже зменшуючи різницю температур між водою яка подається у водонагрівач і водою яка використовується, досягається економія безпосередньо електричної енергії, що також підвищує сумарний енергетичний показник фотоелектричних панелей.

Для визначення зменшення температурних втрат фотоелектричних панелей проводиться розрахунок робочої температури поверхні на основі балансної моделі представленої в статті [4]. Отримані результати моделювання для кліматичних умов Одеси наведені на рисунку 5.

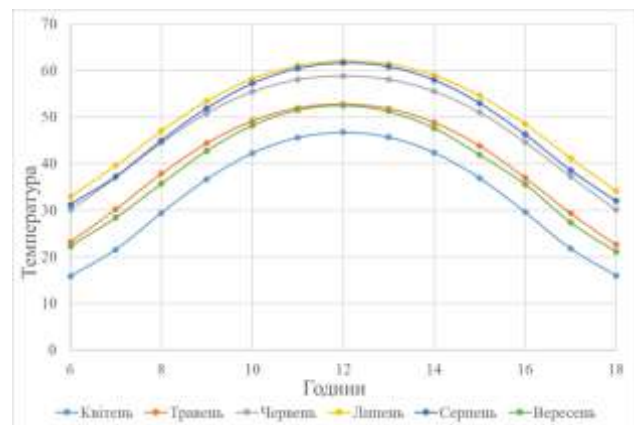


Рис. 5. - Зміна робочої температури фотоелектричної панелі для місяців з квітня по вересень

Представлені на рисунку 6 суми втрат розраховувалися для температури, понад $35\text{ }^{\circ}\text{C}$, оскільки дана температура була прийнята, як номінальна температура теплоносія в пристрої.

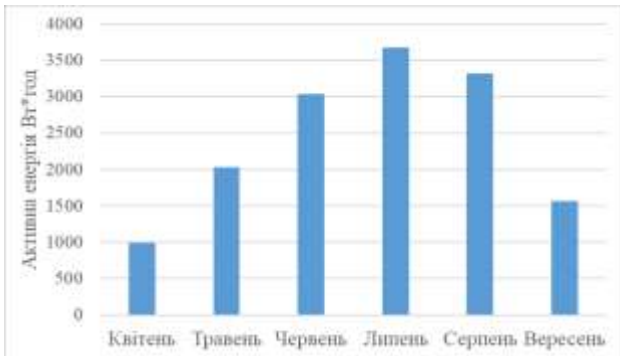


Рис. 6. - Помісячні втрат електричної енергії з 1 м^2 площі фотоелектричної панелі

За рік з кожного м^2 площі фотоелектричної панелі при температурному коефіцієнті по потужності $0,45\%/^{\circ}\text{C}$, можна отримати додатково $14,62\text{ кВт}\cdot\text{год}$, що в перерахунку на обсяги СЕС складе $3344,6\text{ (кВт}\cdot\text{год)}/\text{рік}$. Сумарна вартість електричної енергії в перерахунку на площу дахової СЕС та з урахуванням існуючого тарифу $5,85\text{ грн}/(\text{кВт}\cdot\text{год})$ складає $19\,566,1\text{ грн}/\text{рік}$.

З балансної моделі [4] з урахуванням сонячних надходжень було встановлено що за температури теплоносія $35\text{ }^{\circ}\text{C}$ з 1 м^2 за робочий сезон можна отримати $529,8\text{ кВт}\cdot\text{год}$ теплової енергії, що при існуючих масштабах даної дахової СЕС дозволяє отримати $6279\text{ м}^3/\text{рік}$ підігрітого теплоносія, проте загальний обсяг споживання лікарнею води за рік складає $9564,4\text{ м}^3/\text{рік}$. У відповідності до Закону України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» [8] середнє відношення споживання холодної води до гарячої становить 1,5 рази, а отже якщо припустити, що загальний річний обсяг споживається рівномірно протягом року то можна отримати що приблизний обсяг споживання теплоносія в місяць становить 260 м^3 гарячої води. З урахуванням тривалості сезону, протягом якого можна отримувати підігрітий теплоносіє, сумарний обсяг ефективно використаної енергії становить $27,4\text{ (МВт}\cdot\text{год)}/\text{рік}$, що в перерахунку на вартість електричної енергії становить $160\,290\text{ грн}/\text{рік}$, а в перерахунку на природній газ складає $43\,479\text{ грн}/\text{рік}$

Сумарна вартість матеріалів для спорудження пристрою складає за ринкових цін 2010 грн для однієї панелі JA SOLAR JAM72S30-

550/MR 550 WP, в дану вартість включена вартість самих матеріалів необхідних для спорудження даного пристрою а також герметизуючі матеріали, необхідні для кріплення пристрою до фотоелектричної панелі. З урахуванням обсягів дахової фотоелектричної станції сумарна вартість інвестицій для перетворення фотоелектричних панелей у гібридні колектори складає $209\,040\text{ грн}$, а з урахуванням вартості додатково отриманої енергії, термін окупності даного проекту наведено на рисунку 7.

З динаміки чистої приведеної вартості проекту видно, що дисконтований термін окупності складає 5 років, але при оцінці доцільності реалізації даного проекту слід також враховувати і інші показники, які не піддаються матеріальному обрахуванню, а також обов'язково слід врахувати стрімку інфляцію на електричну енергію та заходи з підвищення тарифів на електричну енергію.

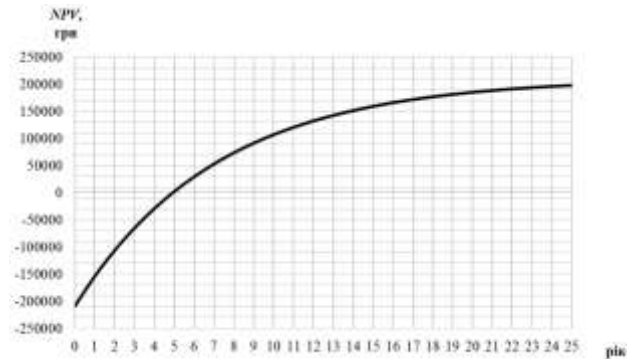


Рис. 7. - Динаміка чистої приведеної вартості проекту

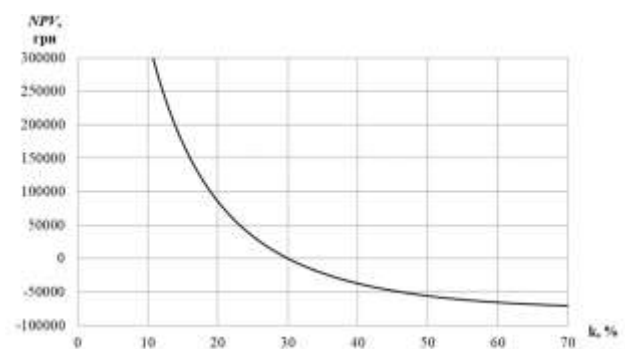


Рис. 8. - Динаміка внутрішньої норми прибутку

Проте даний пристрій може використовуватися не тільки для дахових СЕС комунальної власності, а й для житлових багатоквартирних будинків, для яких тарифи зовсім інші. Результати проведених розрахунків окупності проекту при використанні тих самих обсягів енергії за побутових тарифів такі: при вартості електричної енергії

для побутового споживача 4,32 грн/(кВт·год) та вартості 1 м³ природного газу 7,96 грн при умові, що постачальником є ТОВ ГК «Нафтогаз України», вартість додаткової згенерованої енергії складає 14 448,8 грн, а вартість зекономленого природного газу складає 21 766,9 грн. Динаміка чистої приведеної вартості проекту за побутових тарифів наведена на рисунку 9.

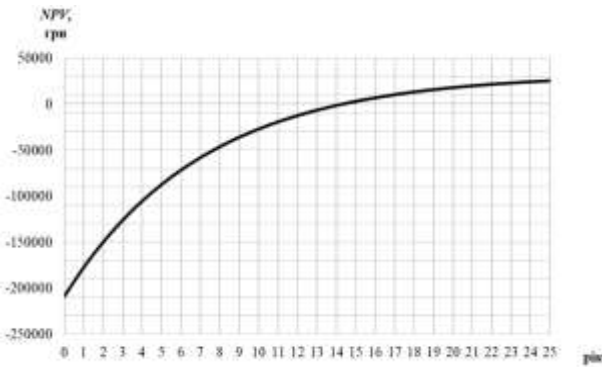


Рис. 9. - Динаміка чистої приведеної вартості проекту за побутових тарифів

Розрахунок термінів окупності в обох випадках проводився для варіанту з підгрівом теплоносія природним газом, оскільки даний варіант є найменш економічно привабливим.

За умови побутових тарифів термін окупності складає 12 років, однак дана оцінка є виключно порівняльна, оскільки в багатоквартирних житлових будинках може бути більше споживання гарячої води за обсягом, що призведе до більшого використання отриманої енергії та до більшого економічного ефекту.

Дана економічна оцінка є недостатньо коректною, оскільки при перетворенні сонячної панелі в гібридний колектор з'являються додаткові витрати за рахунок необхідності спорудження системи подачі та забору теплоносія. Окрім того оцінка вартості даної системи дуже сильно залежить від вже існуючих інженерних систем, будівельно-архітектурного планування будівлі та багатьох інших параметрів, а також спроби отримання питомих вартостей на одиницю площі є некоректними. Тому був проведений порівняльний аналіз пропонованої конструкції пристрою з існуючими типами *PV/T* колекторів [6].

На даний момент на ринку торгівельною маркою Atmosfera представлено три типи гібридних колекторів, POWERVOLT, POWERTERM і ATMOSFERA F2PV, перші два типи гібридних колекторів відрізняються один від одного пріоритетним видом енергії на який робиться основний упор даного колектору. Так,

колектор POWERVOLT має в порівнянні з POWERTERM більшу електричну потужність але меншу теплову, у другому варіанті все точно навпаки. ATMOSFERA F2PV має дуже схожі габаритні розміри та технічні характеристики з панелями JA SOLAR JAM72S30-550/MR 550 WP для яких проводилась оцінка, і має сумарну найбільшу потужність серед усіх представлених. Тому порівняльний аналіз виконано саме з цим типом колектора.

Порівняльний аналіз двох варіантів проведений за питомою вартістю одиниці енергії, тобто, значення розрахованої прогнозованої сумарної генерації від колектора пропонованого типу та ATMOSFERA F2PV за гарантійний термін експлуатації (20 років) поділені на вартість даного колектора. Дане порівняння не враховує вартість спорудження системи подачі та забору теплоносія, оскільки вважається, що дане спорудження для обох варіантів є однаковим. Отже менші питомі витрати на гібридних колекторах призведуть і до більшої ефективності системи.

Для проведення порівняльного аналізу прогнозованої енергії за рік розрахунки проведені з урахуванням сонячної інсоляції для кожного дня. Вихідні дані про сонячну інсоляцію взяті з урахуванням найбільш адекватної для нашої місцевості моделі сонячних надходжень, представленої в статті [7].

На основі отриманих даних про сонячну інсоляцію було отримано графік генерації енергії гібридним колектором ATMOSFERA F2PV, наведений на рисунку 10.

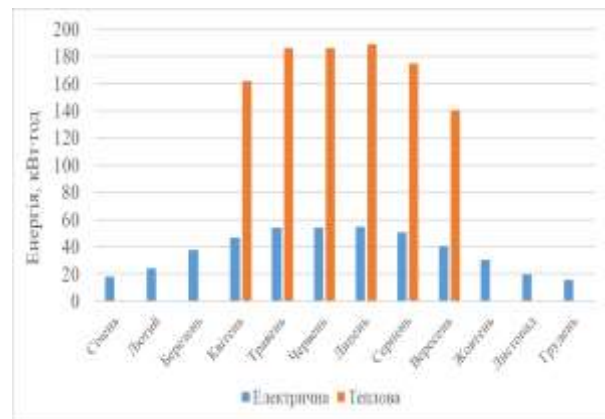


Рис. 10. - Річна генерація електричної та теплової енергії ATMOSFERA F2PV

Сумарна кількість енергії за рік одним гібридним колектором ATMOSFERA F2PV складає 447,15 кВт·год електричної енергії та 1038,9 кВт·год теплової енергії. При сумарній вартості одного гібридного колектора

АТМОСФЕРА F2PV 819 євро, що за нинішнім курсом складає 36270 грн, то за 20 років експлуатації 1 кВт·год отриманої від даного колектора складатиме 1,22 грн. Вартість 1 кВт·год теплової енергії, яка може бути використана, для пропонованої конструкції перетворення сонячної фотоелектричної панелі на гібридний колектор становить 0,47 грн, а при використанні усієї теоретично можливої кількості енергії складатиме 0,27 грн.

Слід відзначити, що моделювання кількості енергії для пропонованої конструкції здійснено більш точними методами. В той час як для гібридного колектора АТМОСФЕРА F2PV виробником не наведена залежність вихідної температури теплоносія від вхідних параметрів, тому оцінити більш точну кількість теплової енергії не є можливим.

З урахуванням технічних характеристик сонячних фотоелектричних панелей JA SOLAR JAM72S30-550/MR 550 WP, кількості даних панелей та втрат електричної енергії в системі, річний прогнозований обсяг ефективно використаної енергії електростанції, розташованої на даху Дитячої міської лікарні № 3 складає 68,35 МВт·год/рік. З урахуванням отримання додатково 3,34 МВт·год/рік електричної енергії сумарна ефективність системи в електричній частині зростає на 5%. При умові ефективного використання теплової енергії в обсязі 27,4 МВт·год/рік ефективність системи збільшується на 45%. А якщо використовувати всю теоретично можливу теплову енергію, то сумарна ефективність збільшиться на 166%. Тенденція зміни сумарної ефективності при різних температурах наведена на рисунку 11.

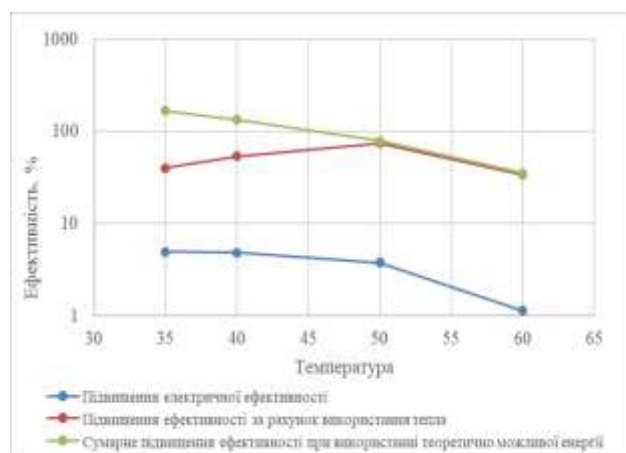


Рис. 11. - Зміни ефективності СФП при різній температурі теплоносія

Висновок

Метод перетворення сонячних фотоелектричних панелей у гібридний колектор є досить перспективним напрямком, який дозволяє підвищувати ефективність використання сонячних фотоелектричних панелей. Разом з тим представлена конструкція має мінімальні втрати світлового потоку, що може гарантувати роботу фотоелектричних панелей при номінальних вихідних значеннях. Розрахунки термінів окупності показали, що в залежності від побутового чи непобутового тарифу на первинні енергоносії в найгіршому випадку термін окупності може складати до 12 років при використанні приблизно 25% наявної теплової енергії. Однак при не побутовому тарифі цей термін окупності зменшується до 5 років при використанні тих самих 25%. Підвищення температури водозбору значно зменшує ці терміни за рахунок більш повного використання теплової енергії. Проте такий режим роботи майже повністю виключає додаткову генерацію електричної енергії за рахунок зменшення температурних втрат, що на прикладі даного об'єкту для температури теплоносія 35°C, складає понад 3 МВт·год на рік. А з урахуванням існуючої ситуації в країні отримання додаткової електричної енергії є більш перспективним варіантом. Сумарне збільшення ефективності при неповному використанні теплової енергії оцінюється в 45%, що є досить непоганим показником, в той час як використання теоретично можливого об'єму теплоносія може призвести до підвищення ефективності використання фотоелектричної панелі на 166%.

Список використаної літератури

1. АПК Інформ [Електронний ресурс]: Агрометеорологічні умови другої декади липня 2024 року// Інформаційна стаття – Режим доступу <https://www.apk-inform.com/ru/crop/1542784>
2. Патент України на корисну модель № 148479 «Пристрій для підвищення ефективності використання сонячних фотоелектричних модулів» зареєстровано 11.08.2021 р. дата публікації 11.08.2021 Бюл. № 32.
3. Патент України на корисну модель № 152350 «Пристрій для підвищення ККД сонячних панелей з покращеними характеристиками»

zareestrovano 11.01.2023 p. data publikacii 11.01.2023 Бюл. № 2.

4. М. Ю. Шабовта, В. О. Разінков, 2022 «Оцінка енергетичних, температурних та економічних характеристик гібридних колекторів», Електричні та комп'ютерні системи №36 (112) с.18-26 (Наукове фахове видання України (Категорія "Б"). <https://doi.org/10.15276/eltecs.36.112.2022.03>

5. Solar-Tech [Електронний ресурс]: Технічні характеристики сонячної батареї JA Solar JAM72S30 550/MR, 550Вт – Режим доступу <https://solar-tech.com.ua/ua/solar-electricity/solar-panels/solnechnaya-batareya-ja-solar-jam72s30-550-mr.html>

6. Гібридні сонячні колектори VOLTER [Електронний ресурс]: Каталог-Прайс на гибридные коллекторы Volther Hybrid Collectors PV-T/ Atmosfera технологии природы// Електронний текстовий каталог (2 файли) – Режим доступу <https://www.atmosfera.ua/uk/produkcija-3/gibridni-sonyachni-kolektori-volther/>

7. В. О. Разінков, 2024 «Визначення інтенсивності сонячної радіації, як ключового фактора прогнозування роботи фотоелектричних панелей» Вісник вінницького політехнічного інституту №4

8. Закону України «Про комерційний облік теплової енергії та водопостачання» - Режим доступу <https://ukc.gov.ua/knowledge/dozvil-navstanovlennya-lichylnya-tepla-na-kvartyr/>

Reference list

1. APK Inform [Electronic resource]: Agrometeorological conditions of the second decade of July

2024 // Informational article - Access mode <https://www.apk-inform.com/ru/crop/1542784>

2. Patent of Ukraine for utility model No. 148479 "Device for increasing the efficiency of the use of solar photovoltaic modules" registered on August 11, 2021, publication date August 11, 2021 Bull. No. 32.

3. Patent of Ukraine for utility model No. 152350 "Device for increasing the efficiency of solar panels with improved characteristics" registered on 01.11.2023, publication date 01.11.2023 Bull. No. 2.

4. М. Yu. Shabovta, V. O. Razinkov, 2022 "Estimation of energy, temperature and economic characteristics of hybrid collectors", Electrical and computer systems No. 36 (112) p. 18-26 (Scientific specialized publication of Ukraine (Category "B"). <https://doi.org/10.15276/eltecs.36.112.2022.03>

5. Solar-Tech [Electronic resource]: Technical characteristics of the solar battery JA Solar JAM72S30 550/MR, 550W - Access mode <https://solar-tech.com.ua/ua/solar-electricity/solar-panels/solnechnaya-batareya-ja-solar-jam72s30-550-mr.html>

6. Hybrid solar collectors VOLTER [Electronic resource]: Catalog-Price for hybrid collectors Volther Hybrid Collectors PV-T/ Atmosfera tehnologii nadori // Electronic text catalog (2 files) - Access mode <https://www.atmosfera.ua/uk/produkcija-3/gibridni-sonyachni-kolektori-volther/>

7. V. O. Razinkov, 2024 "Determining the intensity of solar radiation as a key factor in forecasting the operation of photovoltaic panels" Bulletin of the Vinnytsia Polytechnic Institute No. 4

8. Law of Ukraine "On commercial accounting of thermal energy and water supply" - Access mode <https://ukc.gov.ua/knowledge/dozvil-navstanovlennya-lichylnya-tepla-na-kvartyr/>

METHOD OF INCREASING THE ENERGY EFFICIENCY OF PHOTOELECTRIC PANELS BY CONVERTING THEM INTO A HYBRID COLLECTOR

V. O. Razinkov¹, V. V. Kapalin²

¹ Odesa Polytechnic National University,

² SC "ENERGOSERVIS" LLC

Abstract. This work provides a general description of the method of increasing the energy characteristics of solar photovoltaic panels by converting them into a hybrid collector, as well as an economic assessment of the feasibility of using this method and a comparative analysis of efficiency. Due to the increased relevance of autonomous sources of electrical energy in today's society, special attention is paid to renewable energy sources, in particular solar photovoltaic panels. The construction of rooftop SPPs is becoming more and more relevant in the context of modern trends in distributed generation and reliability of electricity supply. Increasing the energy efficiency of solar photovoltaic panels is one of the aspects that

harmoniously combines increasing energy sustainability, reliability and autonomy. The essence of the proposed method is to convert any existing solar photovoltaic panel into a hybrid collector through the use of a special device. Due to its design, this device almost does not affect the reduction of the intensity of solar radiation on the surface of the panel, but at the same time it allows receiving heat energy in the form of a heated coolant. Depending on the priority direction of operation of the hybrid collector, it is possible to increase the generation of electrical energy by reducing the surface temperature of the panel, reducing temperature losses, and more fully using thermal energy. Theoretically, it is possible to increase the efficiency of a solar photovoltaic panel by 166% using this method, which is a high indicator. And the specific cost of 1 kW h of energy for this method with full use of thermal energy is 5 times lower compared to existing designs.

Key words: *electrical energy, photovoltaic solar panels, temperature coefficient, hybrid collector, thermal energy, panel heating, insolation area*

Отримано 29.07.2024



Разінков Владислав Олексійович, Національний університет «Одеська політехніка», старший викладач кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту. 65044, Одеса, проспект Шевченко, 1, НУ «ОП»,
E-mail: razinkov.v.o@opu.ua, тел. +38-048-7058512

Razinkov Vladyslav Oleksiiovych, Odesa Polytechnic National University, senior teacher of the Department of power supply and energy management. Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine,
E-mail: razinkov.v.o@opu.ua, ph. +38-048-7058512

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-0934-0426>



Капалін Валентин Владиславович, ТОВ "СК "ЕНЕРГОСЕРВІС", директор, 65041, Одеса, вул. Шкодова гора, 6А. Національний університет «Одеська політехніка», Аспірант, кафедра електромеханічної інженерії, 65044, Одеса, проспект Шевченко, 1, НУ «ОП»,
E-mail: 10777016@stud.op.edu.ua, тел. +38(048)7067145

Kapalin Valentyn Vladislavovich, SC "ENERGOSERVIS" LLC, director, 65041, Odesa, str. Shkodova Gora, 6A. National University «Odessa Polytechnic», Postgraduate student, Department of electromechanical engineering, Shevchenko ave., 1, Odessa, Ukraine,
E-mail: 10777016@stud.op.edu.ua, , ph +38(048)7067145

ORCID: <https://orcid.org/0009-0003-8477-3843>