УДК: 621.311.243

ВИКОРОИСТАННЯМ КОНЦЕНТРАТОРУ СВІТЛА В ПАНЕЛЯХ НАПІВПРОВІДНИКОВОЇ СОНЯЧНОЇ БАТАРЕЇ ТА БІОНІЧНОЮ СИСТЕМОЮ ВІДСЛІДКОВУВАННЯ НАПРЯМУ СОНЦЯ

Мелентьєв О. Б.,
канд. пед. наук, доцент
ORCID: http:// orcid.org/0000-0002-3249-2973
Уманський національний університет
Умань, Садова 32 Б, кв. 4, 20308

Анотація. *В даній статті розглядається питання вирішення проблеми підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) у напівпровідникових сонячних батарей, які використовуються в якості електрогенераторів і можуть застосовуватись у проєкті агровольтаїка. Агровольтаїка – це система, яка одночасно поєднує сільське господарство та виробництво сонячної енергії на одній ділянці землі.*

На основі аналізу конструкторських розробок напівпровідникових сонячних батарей із використанням концентраторів світла, виявило, що найбільш ефективним є використання лінз Френеля.

В результаті конструкторських досліджень було запропоновано біонічну систему із використанням концентраторів світла в панелях напівпровідникової сонячної батареї та системою відслідковування напряму сонця, яка використовує лінзу Френеля, де закладено біонічний принцип соняшника – «геліотропізм» або сонячну орієнтацію, що і обумовлює підвищення ККД напівпровідникових сонячних батарей, розгалужене коріння – надає стійкість до вітрових навантажень, надаючи перспектив їх широкому застосуванні у сонячній енергетиці.

Ключові слова: *агровольтаїка, сонячна батарея, концентратор світла, коефіцієнт корисної дії, трекер, спосіб кріплення, патент на винахід, збільшення врожайності, фермерське господарство.*

Вступ

Україна стоїть на порозі нової енергетичної ери, де сільське господарство та відновлювані джерела енергії йдуть рука об руку. Агровольтаїка – це технологія подвійного використання земель, що передбачає інтеграцію відновлюваних джерел енергії з аграрними системами та технологіями. Цей підхід може значно покращити використання земельних ресурсів об'єднаних територіальних громад (ОТГ), забезпечити енергетичну незалежність і підтримати розвиток сільських районів та громад.

Агровольтаїка – це форма сталого землекористування, яка дозволяє одночасне ведення сільського господарства та виробництво електроенергії з встановлення фотоелектричних панелей або інших відновлюваних енергетичних систем без втрати основної функції земель як сільськогосподарських**.** Панелі встановлюють на певній висоті, створюючи сприятливу для багатьох культур півтінь, що захищає їх від надмірного сонця та зменшує випаровування вологи. Таким чином фермер має можливість подвійного використання землі [1].

Панелі можуть сприяти створенню комфортних умов росту рослин, забезпечувати захист від граду, а їхня конструкція може бути адаптована для випасу тварин, як-от овець, які можуть знаходити прихисток від сонця під ними. Це сприяє енергетичній незалежності фермерського господарства.

Фермери можуть використовувати вироблену електроенергію для власних потреб, що знижує витрати, а також мати змогу продавати надлишок енергії.

Такий підхід сприяє оптимізації земельних ресурсів, дозволяє більш ефективно використовувати незручні земельні ділянки для ведення рослинництва, допомагає боротися з наслідками посухи та надмірної спеки. Це забезпечує енергетичну та продовольчу безпеку як країни у цілому, так і конкретне фермерське господарство, забезпечує зменшення залежності від зовнішніх джерел енергії та сприяє стабільності виробництва, зменшення собівартості продукції, створює нові робочі місця за рахунок появи нових спеціалістів із обслуговування цієї технології.

Наша наукова робота, направлена на удосконалення конструкцій сонячних батарей, метою якої було створення біонічної системи із використанням концентраторів світла в панелях напівпровідникової сонячної батареї та системою відслідковування напряму сонця. Існує декілька способів кріплення сонячної батареї на ґрунті. Так відомий традиційний спосіб кріплення сонячної батареї на ґрунті (рис. 1.). Такий спосіб є малоефективним, порівняно із іншими, бо немає системи відслідковування, зайняття та виведення із обороту с\г угідь.

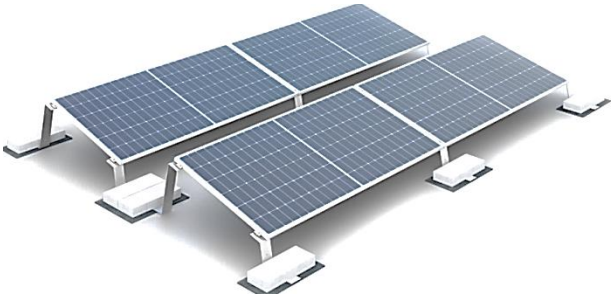


Рисунок 1. Традиційний спосіб кріплення сонячної батареї на ґрунті.

Відомий спосіб кріплення сонячної батареї стаціонарно на опорі над ґрунтом (рис. 2.).



Рисунок 2. Спосіб кріплення сонячної батареї стаціонарно на опорі над ґрунтом.

Спосіб кріплення сонячної батареї стаціонарно на опорі також має недолік – не забезпечує падіння сонячних променів перпендикулярно до поверхні батареї.

Найбільш перспективним є спосіб кріплення сонячної батареї стаціонарно на опорі над ґрунтом із сонячним трекером (системою відслідковування напряму сонця (рис. 3.)).



Рисунок 3. Спосіб кріплення сонячної батареї стаціонарно на опорі із сонячним трекером ST1000 (системою відслідковування напряму сонця).

Сучасний сонячний трекер, (наприклад ST1000 **)** – це електромеханічний прилад, мета якого – відслідковувати переміщення джерела світла (рис. 4.).

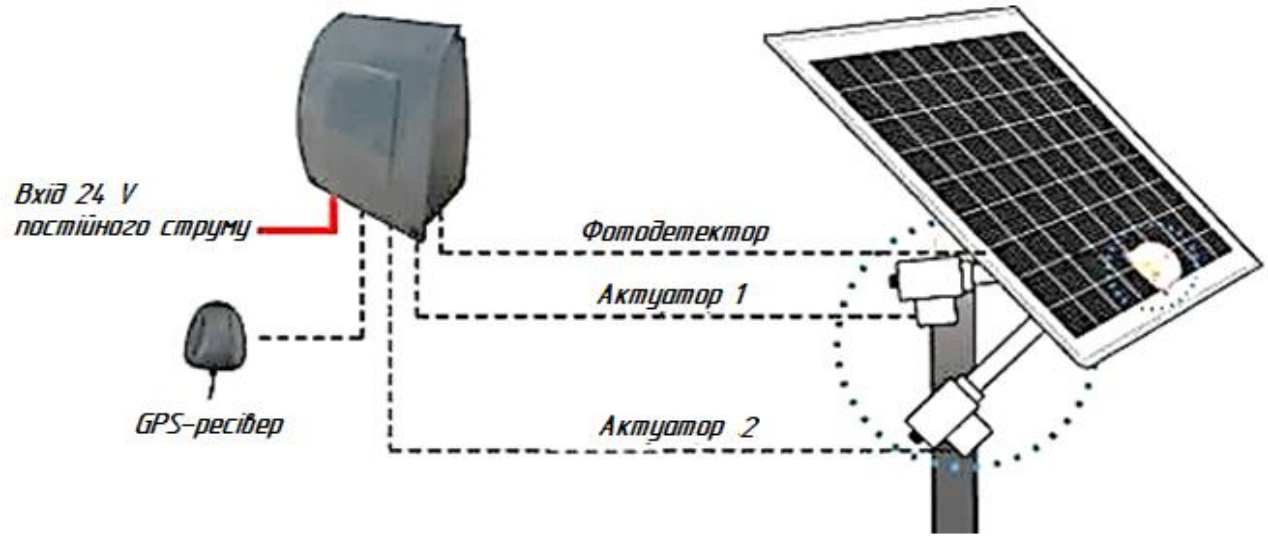


Рисунок 4. Схема взаємодії елементів сонячної панелі із трекером відслідковування переміщення джерела світла.

Основне застосування сонячної панелі із трекером відслідковування переміщення джерела світла – зміна положення фотоелектричних модулів (сонячних батарей) з метою отримання максимального ККД. Саме при падінні сонячного світла під прямим кутом досягається мінімальне значення відбиття, а отже – максимальне використання енергії променів сонячною панеллю.

Перевага сонячного трекера ST1000 полягає в тому, що розміщені на ньому сонячні батареї автоматично рухаються за сонцем протягом дня і міняють кут нахилу в залежності від пори року. А це значно збільшує вироблення електроенергії порівняно з нерухомо закріпленими сонячними панелями.

Порівняння двох сонячних електростанцій без трекера і оснащеної трекером показало різницю виробленої енергії за світловий день на двох електростанціях з трекером і без трекера.

Результати:

− вироблена енергія електростанції без трекера: 3762,0 Вт / год;

− вироблена енергія електростанції оснащеної трекером: 6093,0 Вт / год. [9].

Проблема підвищення коефіцієнту корисної дії (ККД) у напівпровідникових сонячних батареях в якості електрогенераторів виникла із початку їх використання. Одним із шляхів підвищення ККД напівпровідникових сонячних батарей є використання концентраторів світла.

Збільшення ККД сонячних елементів при використовуваних концентрованого випромінювання приводить до росту електричної потужності батареї. Застосування оптичних концентраторів дозволяє скоротити площу сонячних елементів пропорційно кратності концентрування променів і тим самим зменшити їх габарити, собівартість сонячної батареї й збільшити термін служби батареї, за рахунок захищеності напівпровідникових сонячних елементів від впливу радіації.

Одним із ефективнішим концентратором світла є лінза Френеля, її перевагою є малі габарити та вага. Це пласка лінза квадратної або прямокутної форми, однією із перевагою якої є простота технології (технологічність) та мала собівартість. Тому нами був зроблений винахід «Панель напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла та системою відслідковування напряму сонця».

В конструкції було закладено біонічний принцип соняшника (рис. 5.).

Молоді соняшники повертаються за сонцем завдяки процесу, що називається «геліотропізм» (або сонячна орієнтація). Цей рух спричинений нерівномірним ростом стебла: вдень східна сторона виростає активніше, змушуючи голівку рухатись на захід, а вночі – навпаки, західна сторона виростає швидше, повертаючи квітку на схід. Це відбувається доки рослина не дозріє, після чого стебло фіксується в одному положенні.

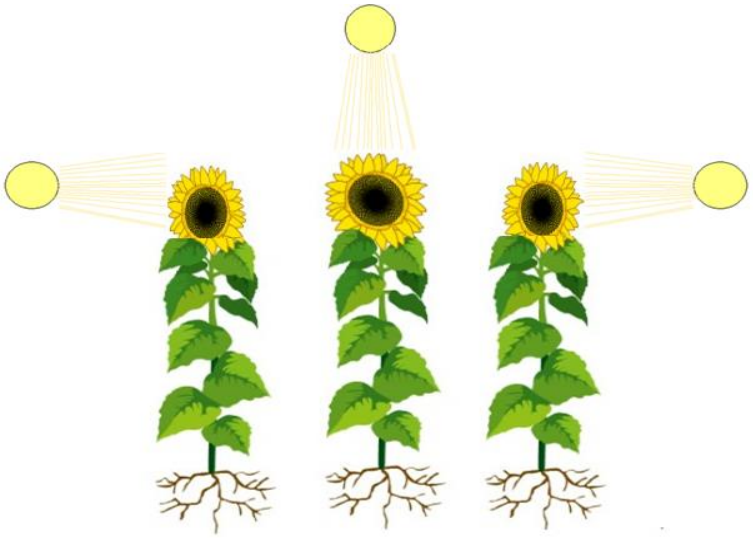


Рисунок 5. Фази обертання соняшника за переміщенням сонця.

Ще один біонічний принцип соняшника, який було закладено в нашій конструкції, це розгалужене коріння. (рис.6.). Такий принцип дозволяє створювати опори із високою стійкістю до вітрових навантажень.



Рисунок 6. Біонічний принцип соняшника, «розгалужене коріння».

В конструкції було закладено біонічний принцип соняшника «розгалужене коріння» (див. рис. 7.).

Мета дослідження полягає у розробці адаптивної системи використання напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла на основі лінз Френеля з метою збільшення електричної потужності батареї за рахунок підвищення ККД кожного елементу батареї, системи відслідковування напрямку джерела світла та орієнтації панелі напівпровідникової сонячної батареї на основі біонічного принципу соняшника.

Аналіз поточних досліджень і публікацій

Постійне удосконалення конструкції сонячних батарей призводить до збільшення базового ККД, цей показник зростає за рахунок встановлення її на опору, яка обертає сонячну батарею слідом за напрямом руху сонця. Відслідковування сонця панеллю ведеться одночасно як по горизонталі, так і по вертикалі. За оцінками, установка одного поворотного трекера дає відразу приріст ефективності на 40-50%. Зараз існують нові високоефективні (43,5%) п’ятишарові панелі фірми Sharp, чотиришарові фірми Soy-Tech (44,7%) і пристрій розроблений в Інституті інтегральних схем Фраунхофера (Німеччина) у яких ефективність батареї досягає до 47% [2].

В огляді винаходів, ми будемо посилатися на дослідження, що відноситься до сонячної енергетики, зокрема, це стосується концентраторів для сонячних батарей. Відомий голографічний концентратор сонячної енергії: патент РФ №2403510, опубл. 02.03.1999 р., який являє собою концентратор для сонячної батареї виконаний у формі напівциліндра з віяловим розташуванням дзеркальних відбиваючих поверхонь і прозорих напівпровідникових сонячних батарей, причому концентратор і сонячна батарея є інтегрально єдиним обладнанням, недоліком якого є значні втрати світлової енергії [3].

Недоліками таких прототипів є складність у виробництві такого концентратора і сонячної батареї, як інтегрально-єдиного обладнання, велика собівартість, конструктивна складність та налаштування такого виробу. Тому постає проблема виготовлення концентраторів світла для фотоелектричних модулів.

Так відомий планарний світлопровід (патент РФ №2488149 МПК H02S10/00 , H01L31/042 «Концентратор лучей для солнечной батареи с веерным расположением зеркальных отражающих электродов»/ опубл. 20.07.2013 р.), у якому падаюче світло після багаторазового відбиття усередині концентратора потрапляє на поверхню сонячної батареї [3].

Основним недоліком такого світлопроводу є низька ефективність за рахунок того, що проміні, незалежно від числа відбиттів, тільки один раз досягають поверхні сонячної батареї, тобто концентратор дозволяє всім падаючим променям тільки один раз здійснювати перетворення в сонячній батареї.

Авторська робота

Наш патент, що розглядає кульковий концентратор UA 1528540 МПК H02S 10/00, H01L 31/042. «Портативна напівпровідникова сонячна батарея із геліографічним кульковим концентратором для туристичних цілей»/ опубл. 19.04.2023., який також являється одним із варіантів концентраторів сонячної енергії [6].

Одним із ефективнішим видом концентратору світла є лінза Френеля, її перевагою є мала вага та габарити. Зазвичай така лінза пласка, квадратної або прямокутної форми, ще однією із переваг такого концентратора світла є простота технології (технологічність) та мала собівартість.

Так в нашому дослідженні, що вилилось у патент UA 153265 МПК (2023.01): A41D 13/012, A41D 31/10. опубл. 14.06.2023 р. розглядається спосіб виготовлення лінз Френеля для концентраторів фотоелектричних модулів способом термічного формування акрилового скла, що дозволяє виготовляти простим і технологічним способом концентратори фотоелектричних модулів із стабільно високою якістю, малими затратами часу та високим ступенем безвідходності [6].

На основі способу термічного формування акрилового скла, що дозволяє виготовляти простим і технологічним способом концентратори до фотоелектричних модулів було розроблено напівпровідникову сонячну батарею із концентратором світла на основі лінз Френеля.

Панель напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла, системою відслідковування напряму сонця дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії кожного елемента сонячної батареї, підвищити ефективність сонячної енергетики, підвищувати напругу та потужність панелі і може застосовуватись у системах із відслідковування положення Сонця на небосхилі, які розташовуються на площадках та дахах приміщень із пласким дахом. [2, 4].

На базі нашого винаходу UA 1764908 U – «Секція напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла», була запропонована удосконалена конструкція у патенті на корисну модель UA 153264МПК: (2023.01), H02S 10/00, H01L 31/042. «Панель напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла та системою відслідковування напряму сонця»/ 28.04.2022, опубл. 14.06.2023. (рис. 7.) [5, 8].

Метою пропонованого винаходу є створення біонічної системи з використанням концентраторів світла в панелях напівпровідникової сонячної батареї та системою відслідковування напряму сонця виконаному у єдиному рамочному жорсткому корпусі з'єднаному у єдину сонячну панель, для підвищення її ефективності (див. рис. 7.).

Така панель напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла та системою відслідковування напряму сонця (див. рис. 7.) має: металевий каркас 3, лінзу Френеля 4, монтажні проушини 5, секції сонячної батареї 6, електроди 7. А механічна частина складається із опори панелі 8, стійки 9, підсилювача каркасу 10, підшипнику горизонтальної шестерні 11, шестерні горизонтального обертання каркасу 12, підшипнику вертикального обертання 13, зубчатого валу двигуна вертикального обертання 14, зубчатого сектора вертикального обертання 15, корпус покрокового двигуна горизонтального обертання каркасу 16, корпус покрокового двигуна вертикального обертання каркасу 17, зубчатого колеса горизонтального обертання каркасу 18, штанги противаги 19, противаги 20, кріплення двигуна вертикального обертання каркасу 21, кріплення двигуна горизонтального обертання каркасу 22.

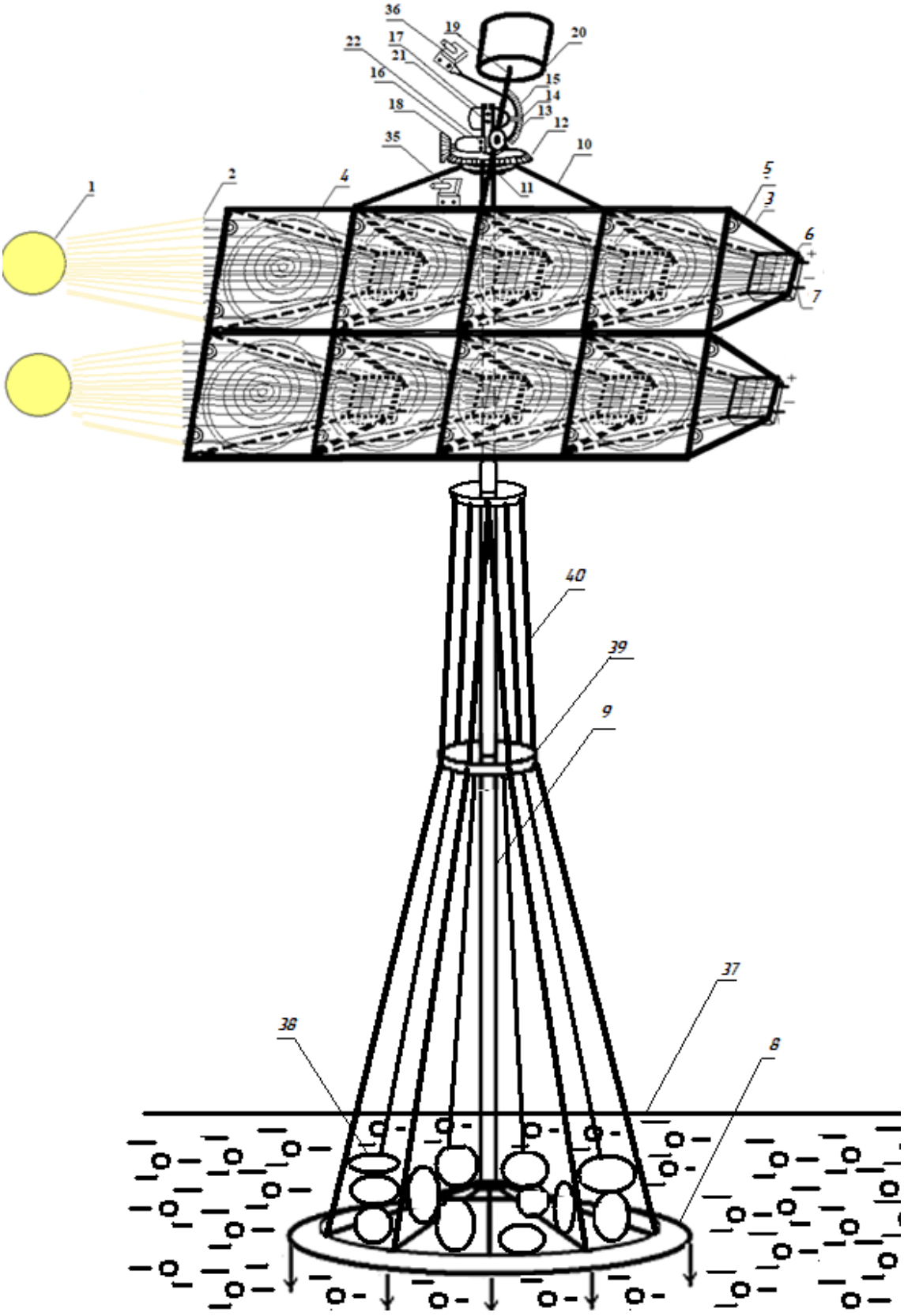


Рисунок 7. Конструкція панелі напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла та системою відслідковування напряму сонця – розроблена за біонічним принципом соняшника.

Панель напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла, системою відслідковування напряму сонця працює наступним чином: сонячне світло 2 падає на набір металевих каркасів 3 із монтажними проушинами 5 в який вмонтовані лінзи Френеля 4, що є концентраторами світла, разом із секціями напівпровідникових сонячних батарей 6, на електродах 7 виробляється підвищений постійний струм, а механічна частина яка керується електронними блоками вертикального та горизонтального обертання каркасу 26, 27, слідкують за рухом сонця.

Вся конструкція закопана у ґрунт 37, а опори панелі 8 укріплені і підвантажені камінням 38, що надає стійкості стійці 9, яка укріплена підсилювачами 40, що з'єднанні з утримувачами підсилювачів 39.

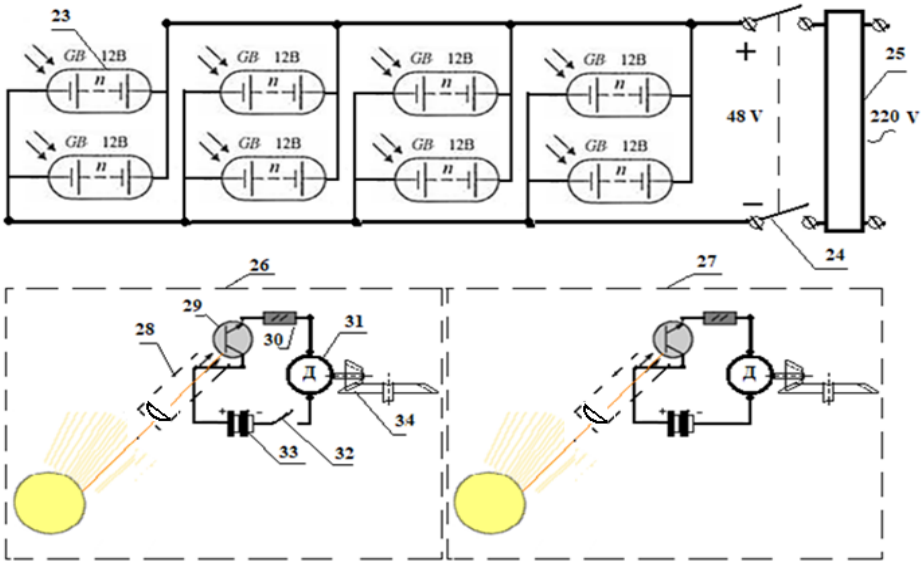


Рисунок 8. Електрична схема панелі напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла, системою відслідковування напряму сонця.

Електрична схема складається із (див. рис. 8.) напівпровідникової секції сонячної батареї 23, вимикача постійної напруги 24, конвертера змінного струму 25, електронного блоку горизонтального обертання каркасу 26, електронного блоку вертикального обертання каркасу 27, трубок із лінзами горизонтального та вертикального напрямку сонячного проміння 28, фототранзистора 29, резистора 30, електродвигуна 31, вимикача 32, акумулятора 33, зубчастої передачі 34, корпусу блоку горизонтального обертання каркасу 35, корпусу блоку вертикального обертання каркасу 36,

Панель напівпровідникової сонячної батареї із концентратором світла, системою відслідковування напряму сонця дозволяє підвищити коефіцієнт корисної дії кожного елемента сонячної батареї, підвищити ефективність сонячної енергетики, підвищувати напругу та потужність панелі і може застосовуватись у системах із відслідковування положення.

Проєкт «Агровольтаїка» дозволяє оптимізувати використання земельних угідь, отримуючи подвійну вигоду від врожаю та екологічно чистої електроенергії, яка може використовуватися для потреб господарства або продаватися. Такі панелі встановлюють на висоті достатній для створення сприятливих умов для багатьох сільськогосподарських культур, створення півтіні для захисту їх від надмірного сонця та висушування.

Підсумок та висновки

В процесі нашого дослідження були розглянуті патенти на винаходи, що відноситься до сонячної енергетики, зокрема, це стосується концентраторів для сонячних батарей. З'ясовано, що біонічний принцип соняшника, «слідкування за сонцем», «розгалужене коріння» та різноманітні підходи до встановлення напівпровідникових сонячних батарей, де було виявлено що застосування системи відслідковування напряму сонця, та використання концентраторів світла призводять до підвищення на 45% ККД напівпровідникових сонячних батарей.

В результаті конструкторських досліджень було запропоновано конструкцію, яка підвищує коефіцієнт корисної дії (ККД) у напівпровідникових сонячних батареях за рахунок використання концентраторів світла і системи відслідковування напряму сонця, що і обумовлює шляхи подальшого підвищення ККД напівпровідникових сонячних батарей.

У подальших наших дослідженнях ми будемо приділяти увагу підвищенню ККД напівпровідникових сонячних батарей, продуктивності та технологічності в обслугування на основі біонічного принципу соняшника «зростання», тобто телескопічної опори для підняття та опускання батареї.

Література

1. Асоціація агровольтаїки України (2025) *Офіційний вебсайт*. Available at: https://agrivoltaic.org.ua/ (Accessed: 31 October 2025).
2. Borshchev, V.N., Listratenko, A.M., Slipchenko, N.I., Herasymenko, N.V. and Hlushko, E.S. (2014) «Vysokoeffektivnaya kosmicheskaya kontsentratornaya batareya solnechnaya na ploskikh foklinakh», *Radiotekhnika*, (177), pp. 86–93. Available at: http://nbuv.gov.ua/UJRN/rvmnts_2014_177_14 (Accessed: 31 October 2025).
3. FindPatent.ru (n.d.) *Patent №. 2615041*. Available at: https://findpatent.ru/patent/261/2615041.html (Accessed: 31 October 2025).
4. FindPatent.ru (n.d.) *Patent №. 2456645*. Available at: https://findpatent.ru/patent/245/2456645.html (Accessed: 31 October 2025).
5. SIS NIPO Ukraine (n.d.) *Patent. №. 1764908*. Available at: https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1764908/ (Accessed: 31 October 2025).
6. SIS NIPO Ukraine (n.d.) *Patent №. 1743455*. Available at: https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1743455 (Accessed: 31 October 2025).
7. SIS NIPO Ukraine (n.d.) *Patent №. 1733113*. Available at: https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1733113/ (Accessed: 31 October 2025).
8. SIS NIPO Ukraine (n.d.) *Patent №. 1743440*. Available at: https://sis.nipo.gov.ua/uk/search/detail/1743440/ (Accessed: 31 October 2025).
9. GreenChip (2025) *Solar tracker ST1000*. Available at: https://greenchip.com.ua/ (Accessed: 31 October 2025).

Abstract

Abstract. This article examines the issue of improving the efficiency (EEF) of semiconductor solar panels used as electric generators, which can be applied in agrivoltaics projects. Agrivoltaics is a system that simultaneously combines agriculture and solar energy production on the same land area.

Based on an analysis of semiconductor solar panel designs employing light concentrators, it was found that the most effective solution is the use of Fresnel lenses.

As a result of engineering research, a bionic system was proposed that incorporates light concentrators in the panels of semiconductor solar batteries along with a sun-tracking system using a Fresnel lens, which implements the bionic principle of the sunflower — «heliotropism» or solar orientation. This principle ensures an increase in the efficiency of semiconductor solar panels, while the branched root-like structure provides resistance to wind loads, offering prospects for their wide application in solar energy.

Keywords: agrivoltaics, solar panel, light concentrator, efficiency factor, tracker, mounting method, invention patent, yield increase, farming enterprise.