

АНОТАЦІЯ

Разінков В. О. Методи та засоби підвищення коефіцієнту корисної дії сонячних фотоелектричних панелей. – Кваліфікаційна наукова праця на правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня доктора філософії за спеціальністю 141 – Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка. – Національний університет «Одеська політехніка» МОН України, Одеса, 2025.

На сьогоднішній день в Україні склалася важка ситуація в енергетичній системі, яка спричинена масовим пошкодженням генеруючих елементів в наслідок ворожих атак. Разом з тим все більше і більше уряд країни та державна політика в галузі електроенергетика схиляється до побудови мереж з розподіленою генерацією. Найбільший пріоритет надається відновлювальним джерелам енергії, які мають низку переваг, зокрема найбільш актуальні в наш час це автономність, екологічність та стабільність роботи. Серед різних джерел відновлювальної енергетики найбільшого поширення отримують сонячні фотоелектричні панелі, які окрім всіх зазначених переваг також ще і можливість встановлення на будь яких відкритих ділянках місцевості. Відсоток електростанцій, які будуються на дахах будинків та комунальних установ з кожним роком стрімко зростає та має тенденцію до подальшого збільшення. Разом з тим робота фотоелектричних панелей залежить від багатьох факторів, які можуть спричинити і зменшення рівня генерації електричної енергії. Дані фактори можна мінімізувати, а також додатково використовувати і ту частину енергії, яка перетворюється у теплову при роботі фотоелектричної панелі, тим самим підвищуючи сумарні енергетичні показники фотоелектричних панелей.

Дисертація присвячена розробці методу підвищення енергетичного коефіцієнта корисної дії сонячних фотоелектричних панелей шляхом перетворення їх у гібридний колектор. Розроблений метод та концепція відноситься до розвитку ефективності відновлювальної енергетики, що

відповідає актуальним напрямам досліджень, які проводяться науковцями у всьому світі.

Об'єктом дослідження є процеси перетворення сонячної енергії у фотоелектричних панелях.

Предметом дослідження є метод підвищення сумарної енергетичної ефективності фотоелектричних панелей за рахунок їх перетворення у гібридний колектор.

Наукова новизна одержаних результатів полягає в наступному:

1. Вперше запропоновано метод підвищення енергетичних характеристик фотоелектричних панелей шляхом перетворення їх у гібридний колектор, що відрізняється від існуючих конструкцій функціональним підходом до організаційної структури і дозволяє створити гібридний колектор на основі будь-якої фотоелектричної панелі.

2. Вперше запропоновано метод прогнозування енергетичних характеристик фотоелектричних панелей, які працюють в режимі гібридного колектору, що базується на комплексному розгляді факторів та чинників, що впливають на режим роботи.

3. Отримав подальшого розвитку метод оцінки енергетичної ефективності використання гібридних колекторів та фотоелектричних панелей, що працюють як гібридний колектор.

Практичне значення одержаних результатів полягає у використанні запропонованих методів, що дозволяють оцінювати енергетичні характеристики та виконувати аналіз і порівняння ефективності роботи гібридних колекторів.

Результати та матеріали дисертаційної роботи використовуються в навчальному процесі кафедри електропостачання та енергетичного менеджменту зокрема при викладанні дисциплін «Енергетичні системи та комплекси», «Енергозбереження будівель та споруд», «Енергозберігаючі режими та технології», а також використовуються при формуванні тем кваліфікаційних робіт та конкурсних студентських наукових робіт.

Результати дисертаційної роботи були впроваджені при виконанні науково-дослідницької роботи №1878-55 на тему: «Розроблення проектних рішень з будівництва та приєднання фотоелектричних станцій», яка була виконана у 2023 році, а також у науково-дослідницькій роботі №1871-55 на тему «Обґрунтування та розроблення системи внутрішнього електропостачання і комерційного обліку електроенергії адміністративної будівлі за адресою м. Одеса, вул. Академіка Глушко, 27 з застосуванням фотоелектричної станції», яка була виконана у 2022 р.

Результати дисертаційної роботи впроваджені ТОВ «ТК ПРОЕКТ», а саме використані при розробці власної проектної документації для прогнозування енергетичних показників дахових сонячних електростанцій, ТОВ «Південна енергетична компанія» використовує результати дисертаційного дослідження для оцінки економічних та енергетичних показників проектів геліоенергетики.

У вступі наводиться актуальність представленої роботи, формулюється основна мета даної роботи та задачі дослідження, висвітлюються основні засади впровадження та розвитку відновлювальної енергетики, наводиться інформація про апробацію отриманих результатів дисертаційного дослідження, загальну структуру роботи а також інформація про публікації автора за темою дисертації.

У першому розділі на підставі відкритих літературних джерел проводиться аналіз існуючих фотоелектричних панелей з урахуванням особливостей їх технологічного процесу виробництва, а також з зазначенням основних переваг та недоліків різних конструкцій. Основним недоліком, який був виокремлений у всіх відомих конструкціях фотоелектричних панелей є залежність рівня генерації електричної енергії від робочої температури напівпровідникових елементів. Шляхом аналізу літературних джерел було встановлено, що одним із найбільш сучасних та перспективних методів, який дозволяє частково ліквідувати цей недолік і збільшити сумарну ефективність сонячних фотоелектричних панелей є гібридний колектор – пристрій, який

конструктивно поєднує у собі дві частини що дозволяють одночасно отримувати як електричну так і теплову енергію. З огляду конструкцій гібридних колекторів було встановлено, що науковці зосередилися на створенні повітряних та водяних гібридних колекторів, в свою чергу використання повітряних гібридних колекторів не є доцільним для нашого помірною клімату, і викликає певні складнощі в частині використання теплоносія, в той час як водяні є більш перспективні. Існуючі конструкції водяних гібридних колекторів також мали ряд недоліків пов'язаних з неможливістю їх впровадження на існуючих фотоелектричних панелях, а також пов'язані з температурним режимом, який здебільшого спирався на температуру теплоносія, яку намагаються виводити на значення необхідне для безпосереднього водозабору.

У другому розділі проведено дослідження різних методів оцінки надходження сонячної інсоляції на поверхню. Оскільки інтенсивність сонячної радіації на поверхні фотоелектричної панелі є ключовим фактором, який впливає на температуру кремнієвих елементів та рівень генерації електричної енергії від фотоелектричних панелей тому визначення найбільш точних значень сонячної інсоляції є однією із пріоритетних задач для проведення подальшого коректного дослідження. Насамперед були проаналізовані всі впливові фактори, які впливають на рівень сонячної інсоляції протягом року та обрані для аналізу декілька емпіричних моделей, що базуються на різних метеорологічних даних, а також обрано три точні моделі оцінки погодинних значень надходжень сонячної радіації на поверхню. Розрахунок за цими моделями відбувався на основі метеорологічних даних, які були отримані з відкритих інформаційних ресурсів, розрахунок точних моделей виконувався для географічних координат міста Одеса. За результатами прорахунків за всіма моделями було визначено рівні сонячної інсоляції для кожного дня року, а також отримані результати були співставленні з даними, які наводяться в Національному управлінні з авіації та космічного простору та експериментальними даними, які були отримані за допомогою

метеорологічного посту встановленого на території Національного університету «Одеська політехніка». За результатами співставлення було визначено, що найбільш точною, як відповідно до даних НАСА так і у відповідності до експериментальних даних є модель Hottel, яка дає найменшу похибку усереднених значень.

У **третьому розділі** наводиться детальний опис конструкції пристрою, який реалізує метод підвищення сумарної енергетичної ефективності сонячних фотоелектричних панелей за рахунок їх перетворення у гібридний колектор, основні складові частини, принципи та механізми його реалізації. Відповідно до конструктивних особливостей проводиться аналіз можливого зменшення надходження сонячної радіації на напівпровідникові елементи за рахунок встановлення додаткових шарів, які складаються з неідеально прозорих матеріалів. В результаті дослідження було встановлено, що при товщинах додаткових шарів, які концептуально можуть використовуватися в даному пристрої втрати інтенсивності сонячної радіації у видимому спектрі складають десяті долі Вт/м^2 , що є меншим за відносну похибку розрахунків при моделюванні сонячних надходжень, а отже встановлення даного пристрою суттєво не повинно впливати на величину інсоляції на поверхні напівпровідникових елементів фотоелектричної панелі. Оскільки даний пристрій не створює впливу на роботу фотоелектричної панелі то в подальшому проводиться детальне моделювання роботи лише фотоелектричної панелі. В якості об'єкта моделювання застосовується кремнієва фотоелектрична панель. За результатами моделювання було отримано $I-V$ та $P-V$ характеристики кремнієвої фотоелектричної панелі, а також моделювання роботи даної панелі при різних температурах та різних рівнях інсоляції, дозволили вирахувати середній температурний коефіцієнт потужності моделі який склав $0,55\%/K$, даний коефіцієнт є дуже близьким до реальних показників, які зазначаються виробниками, хоча практичні значення даного показника коливаються в залежності від хімічного складу матеріалу та виробника.

Наступним етапом було визначено максимальну температуру напівпровідникових елементів фотоелектричної частини за рахунок балансної моделі, в результаті було встановлено, що на основі даних про сонячні надходження за моделлю Hottel, максимальна температура панелі складає трохи більше 60 °С, що є досить адекватним показником. Також отримані результати з балансної моделі було співставлені з експериментальними даними для декількох днів, з урахуванням особливостей напівпровідникових елементів, зазначена модель показала відносну невелику похибку з експериментальними даними.

Для перевірки розподілу теплової енергії вздовж фотоелектричної панелі було промодельована її робота з використання зазначеної конструкції пристрою, в результаті моделювання було визначено, що теплоносій, який буде циркулювати в пристрої здатен відводити значну частину теплової енергії.

Також наводиться опис проведеного експерименту з двома фотоелектричними панелями однаковими за конструкцією, які працюють в одному і тому ж місці але на поверхню однієї з цих панелей було встановлено пристрій зазначеної конструкції. Результати експерименту показали, що очікуваний ефект від використання даного методу цілком можливий.

У четвертому розділі більш детально розглядається можлива сфера застосування даного пристрою з визначенням робочої схеми відведення теплоносія від створеного гібридного колектору. Для розрахунку економічного ефекту приймається реальний об'єкт розташований в місті Одеса з існуючою даховою сонячною електростанцією.

Окрім безпосереднього збільшення генерації електричної енергії та можливості додаткового отримання теплової енергії розглядається можливість отримання ефекту за рахунок зменшення ризику утворення PID деградації фотоелектричних панелей, основним чинником якої є здебільшого температурні коливання поверхні, як при використанні пристрою суттєво зменшаються.

Проводиться економічна оцінка реалізації даного методу за допомогою запропонованого пристрою виходячи з двох основних аспектів, це собівартість пристрою і питома вартість одиниці отриманої енергії. За результатами аналізу ринку матеріалів створення даного пристрою не є особливо капітал витратним, але з урахуванням економії енергії та ставки дисконту на рівні 20% термін окупності складає 9,5 років. Даний показник не є сильно привабливим проте з урахуванням стрімкої інфляції на енергоносії він може стрімко зменшуватися. Аналіз питомої вартості одиниці енергії проводився для порівняння з існуючим гібридним колектором, який представлений на ринку, за допомогою зазначених вище моделей було порівняно кількість енергії, яку вони можуть згенерувати за 20 років, і ця енергія була порівняна з питомою вартістю обох конструкцій, в результаті пропонується система виявилась майже в два рази дешевшою за існуючу конструкцію, яка представлена на ринку.

Ключові слова: *електрична енергія, теплова енергія, фотоелектричні сонячні панелі, гібридний колектор, ефективність, генерація, економія, відновлювальні джерела енергії, оптимальний режим роботи, максимальна потужність, енергетичні характеристики, втрати електричної енергії, температурний режим панелей, сонячна інсоляція.*

Список публікацій здобувача

Публікації в яких опубліковано основні наукові результати дисертації

1. В. О. Разінков, «Визначення інтенсивності сонячної радіації, як ключового фактора прогнозування роботи фотоелектричних панелей» Вісник ВПІ вип. 4, 2024. с. 47-53 (*Наукове фахове видання України (Категорія "Б")*).

URL:<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-175-4-47-53>

2. В. О. Разінков, В. В. Капалін, «Метод підвищення енергетичної ефективності фотоелектричних панелей за рахунок перетворення їх у гібридний колектор», Електротехнічні та

комп'ютерні системи вип. 41(117) с. 61-68 (*Наукове фахове видання України (Категорія "Б")*).

URL:<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-175-4-47-53>

3. М. Ю. Шабовта, В. О. Разінков, «Оцінка енергетичних, температурних та економічних характеристик гібридних колекторів», Електричні та комп'ютерні системи №36 (112). 2022. с.18-26 (*Наукове фахове видання України (Категорія "Б")*).

URL:<https://doi.org/10.15276/eltecs.36.112.2022.03>

4. В. О. Разінков, «Підвищення коефіцієнта корисної дії сонячних електричних панелей за рахунок перетворення їх в гібридний колектор» Електричні та комп'ютерні системи №34 (110). 2021. с.34-38 (*Наукове фахове видання України (Категорія "Б")*).

URL:<https://doi.org/10.15276/eltecs.34.110.2021.4>

Публікації, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

1. В. О. Разінков, В. О. Суворов, «Перспективи використання геліоенергетики для енергопостачання в місті Одеса», Вісник ВПІ вип. 6. 2022 с. 29-36 (*Наукове фахове видання України (Категорія "Б")*).

URL:<https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-165-6-29-36>

2. В. О. Разінков, «Оглядовий аналіз основних видів сонячних елементів та виявлення шляхів підвищення їх ефективності роботи та застосування» Електронний журнал «Альманах науки». Вип. № 5 (26). 2019. с. 23-25.

3. Razinkov V. O. Generation of electricity by photovoltaic panels under conditions approximate to real. International Workshop of Scientific Students' Papers, 17th Edition. 2023.

URL: <https://elstud.webnode.ro/editii-elstud/2023/>

4. Разінков В. О., Разінков Н. О. Теплові процеси сонячних фотоелектричних панелей. X Міжнародна науково-технічна

конференція «Проблеми сучасної енергетики і автоматики в системі природокористування (теорія, практика, історія, освіта)». 2023.

URL:<http://econference.nubip.edu.ua/index.php/pmeas/pmeas2023/index>

5. Разінков В. О. Волощук С. О. Дослідження факторів що впливають на генерацію сонячних панелей «Perspectives of contemporary science: theory and practice. Proceedings of the 11th International scientific and practical conference.» Lviv, Ukraine. 2024.

URL:<https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/12/PERSPECTIVES-OF-CONTEMPORARY-SCIENCE-THEORY-AND-PRACTICE-9-11.12.24.pdf>

Патенти за темою дисертації

1. 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.

2. Патент України на корисну модель № 152350 «Пристрій для підвищення ККД сонячних панелей з покращеними характеристиками» зареєстровано 11.01.2023 р. дата публікації 11.01.2023 Бюл. № 2.

ABSTRACT

Razinkov V. O. Methods and means of increasing the efficiency of solar photovoltaic panels. – Qualification scientific work on manuscript rights.

Dissertation for the degree of Doctor of Philosophy in the specialty 141 – Electric Power Engineering, Electrical Engineering and Electromechanics. – Odesa National Polytechnic University, Ministry of Education and Science of Ukraine, Odesa, 2025.

Currently, Ukraine is experiencing a challenging situation in its energy system due to the widespread damage to generating elements caused by hostile attacks. Consequently, the government and state policy in the field of electric power are increasingly inclined toward the development of networks with distributed

generation. Renewable energy sources, which offer several advantages, particularly autonomy, environmental friendliness, and operational stability, are given the highest priority. Among various renewable energy sources, solar photovoltaic panels are gaining the most traction. They possess the unique advantage of being installable on any open land areas. The percentage of power plants built on rooftops of houses and communal facilities is rapidly increasing and is expected to continue to rise. However, the performance of photovoltaic panels depends on many factors that can reduce the level of electricity generation. These factors can be minimized, and the additional energy that is converted into heat during the operation of photovoltaic panels can be utilized, thereby improving the overall energy performance of the panels.

The dissertation is dedicated to developing a method for increasing the energy efficiency of solar photovoltaic panels by transforming them into a hybrid collector. The developed method and concept relate to the advancement of renewable energy efficiency, which aligns with current research trends pursued by scientists worldwide.

The object of the study is the processes of solar energy conversion in photovoltaic panels.

The subject of the study is a method for increasing the total energy efficiency of photovoltaic panels by converting them into a hybrid collector.

The scientific novelty of the results obtained is as follows:

1. For the first time, a method for increasing the energy characteristics of photovoltaic panels by converting them into a hybrid collector has been proposed, which differs from existing designs in a functional approach to the organizational structure and allows you to create a hybrid collector based on any photovoltaic panel.

2. For the first time, a method for predicting the energy characteristics of photovoltaic panels operating in the hybrid collector mode has been proposed, which is based on a comprehensive consideration of factors and factors affecting the operating mode.

3. A method for assessing the energy efficiency of using hybrid collectors and photovoltaic panels operating as a hybrid collector has been further developed.

The practical significance of the results obtained lies in the use of the proposed methods that allow you to evaluate the energy characteristics and perform analysis and comparison of the efficiency of hybrid collectors.

The results and materials of the dissertation are used in the educational process of the Department of Power Supply and Energy Management, particularly in teaching courses such as «Energy Systems and Complexes», «Energy Efficiency in Buildings and Structures», «Energy-Saving Modes and Technologies». They are also used in forming the topics of qualification works and student scientific competitions.

The dissertation results were implemented during the research project No. 1878-55 on the topic: «Development of design solutions for the construction and connection of photovoltaic stations», carried out in 2023, and in the research project No. 1871-55 on the topic «Justification and development of an internal power supply and commercial metering system for an administrative building at 27 Akademika Glushko St., Odesa, using a photovoltaic station», completed in 2022.

The results of the dissertation work were implemented by LLC «TK PROJECT», namely used in the development of its own design documentation for predicting the energy performance of rooftop solar power plants, LLC «Southern Energy Company» uses the results of the dissertation research to assess the economic and energy performance of solar energy projects.

In the introduction the relevance of the presented work, formulates the main goal of the work and research tasks, highlights the main principles of renewable energy development and implementation, provides information on the approbation of the dissertation research results, the overall structure of the work, and information on the author's publications on the dissertation topic.

In the first chapter analyzes existing photovoltaic panels based on open literature sources, taking into account the features of their technological production process and indicating the main advantages and disadvantages of various designs. The main disadvantage highlighted in all known photovoltaic panel designs is the

dependence of electricity generation levels on the operating temperature of semiconductor elements. Literature analysis has shown that one of the most modern and promising methods for partially eliminating this disadvantage and increasing the overall efficiency of solar photovoltaic panels is the hybrid collector – a device that structurally combines two parts, allowing for the simultaneous generation of both electrical and thermal energy. From the review of hybrid collector designs, it was found that scientists focused on creating air and water hybrid collectors, with the latter being more suitable for our temperate climate due to the complexities associated with using air as a heat transfer medium.

In the second chapter investigates various methods for assessing solar insolation on the surface. As the intensity of solar radiation on the surface of the photovoltaic panel is a key factor affecting the temperature of silicon elements and the level of electricity generation, determining the most accurate solar insolation values is one of the priority tasks for conducting further correct research. Several empirical models, based on different meteorological data, were analyzed, and three accurate models for estimating hourly solar radiation were chosen. The calculations for empirical models were based on meteorological data from open information resources, and the accurate models were calculated for the geographical coordinates of Odesa. The results for all models provided daily solar insolation levels for each day of the year, and these results were compared with data from NASA and experimental data obtained using a meteorological post at the Odesa National Polytechnic University . The comparison showed that the Hottel model is the most accurate, as it has the smallest error in average values.

In the third chapter provides a detailed description of the device design that implements the method for increasing the overall energy efficiency of solar photovoltaic panels by transforming them into a hybrid collector. The section discusses the main components, principles, and mechanisms of its implementation. The analysis of potential reductions in solar radiation on semiconductor elements due to the installation of additional layers made of non-ideal transparent materials was also conducted. The analysis concluded that the additional layers' thickness,

which can conceptually be used in this device, causes minimal solar radiation losses in the visible spectrum, thus the installation of this device should not significantly affect the insolation on the semiconductor elements of the photovoltaic panel. Given the lack of negative impact on the photovoltaic panel's performance, detailed modeling of the panel's operation was carried out. A silicon photovoltaic panel was chosen for modeling. The results of the modeling provided I-V and P-V characteristics of the silicon photovoltaic panel and allowed calculating the average temperature coefficient of power, which was 0.55%/K, a value very close to real indicators specified by manufacturers.

The next step involved determining the maximum temperature of the semiconductor elements of the photovoltaic part based on the balance model. The results indicated that, according to Hottel's solar input data, the maximum panel temperature is slightly over 60°C, a fairly adequate indicator. The balance model's results were compared with experimental data for several days, considering the semiconductor elements' specifics. The model showed a relatively small error compared to the experimental data.

To verify the distribution of thermal energy along the photovoltaic panel, its operation using the specified device design was modeled. The modeling determined that the coolant circulating in the device can remove a significant portion of the thermal energy.

Additionally, an experiment was conducted with two identical photovoltaic panels operating in the same location, with the specified device installed on one of the panels. The experiment results showed that the expected effect from using this method is entirely possible.

In the fourth chapter explores the possible application scope of this device in more detail, defining the working scheme for the coolant extraction from the hybrid collector. To calculate the economic effect, a real object located in Odesa with an existing rooftop solar power plant was taken as a basis.

In addition to directly increasing electricity generation and obtaining additional thermal energy, the possibility of reducing the risk of PID degradation of

photovoltaic panels, primarily caused by surface temperature fluctuations, is considered. The economic assessment of the method's implementation using the proposed device is conducted based on two main aspects: the device's cost and the specific cost of energy produced. The market analysis of materials for the device's construction shows that it is not particularly capital-intensive. However, considering the saved energy and a discount rate of 20%, the payback period is 9.5 years. This indicator is not particularly attractive, but given the rapid inflation of energy prices, it can quickly decrease. The analysis of the specific cost of energy was conducted to compare with the existing hybrid collector available on the market. Using the models mentioned above, the amount of energy generated over 20 years was calculated and compared with the specific cost of both designs. As a result, the proposed system was found to be almost twice as cheap as the existing market design.

Keywords: electrical energy, thermal energy, photovoltaic solar panels, hybrid collector, efficiency, generation, savings, renewable energy sources, optimal operating mode, maximum power, energy characteristics, electrical energy losses, temperature regime of panels, solar insolation.

List of publications on topic of the dissertation

Publications in which the main scientific results of the dissertation were published

1. V. O. Razinkov, «Determination of solar radiation intensity as a key factor in predicting the operation of photovoltaic panels,» Bulletin of the VPI Vol. 4, 2024. p. 47-53 (Scientific professional publication of Ukraine (Category «B»)).

[URL:https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-175-4-47-53](https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-175-4-47-53)

2. V. O. Razinkov, V. V. Kapalin, «Method for increasing the energy efficiency of photovoltaic panels by converting them into a hybrid collector», Electrical and Computer Systems, vol. 41(117), pp. 61-68 (Scientific professional publication of Ukraine (Category «B»)).

[URL:https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-175-4-47-53](https://doi.org/10.31649/1997-9266-2024-175-4-47-53)

3. M. Yu. Shabovta, V. O. Razinkov, «Evaluation of energy, temperature and economic characteristics of hybrid collectors», Electrical and Computer Systems No. 36 (112). 2022. p. 18-26 (Scientific Professional Publication of Ukraine (Category «B»)).

[URL:https://doi.org/10.15276/eltecs.36.112.2022.03](https://doi.org/10.15276/eltecs.36.112.2022.03)

4. V. O. Razinkov, «Increasing the Efficiency of Solar Electric Panels by Converting Them into a Hybrid Collector» Electrical and Computer Systems No. 34 (110). 2021. p. 34-38 (Scientific Professional Publication of Ukraine (Category «B»)).

[URL:https://doi.org/10.15276/eltecs.34.110.2021.4](https://doi.org/10.15276/eltecs.34.110.2021.4)

Publications certifying the approval of the dissertation materials

1. V. O. Razinkov, V. O. Suvorov, «Prospects for the use of solar energy for energy supply in the city of Odesa», Bulletin of the VPI, No. 6, 2022, p. 29-36 (Scientific professional publication of Ukraine (Category «B»)).

[URL:https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-165-6-29-36](https://doi.org/10.31649/1997-9266-2022-165-6-29-36)

2. V. O. Razinkov, «Review analysis of the main types of solar cells and identification of ways to increase their efficiency and application» Electronic journal «Almanac of Science». Issue No. 5 (26). 2019. pp. 23-25.

3. Razinkov V. O. «Generation of electricity by photovoltaic panels under conditions approximate to real». International Workshop of Scientific Students' Papers, 17th Edition. 2023.

URL: <https://elstud.webnode.ro/editii-elstud/2023/>

4. Razinkov V. O., Razinkov N. O. «Thermal processes of solar photovoltaic panels». X International Scientific and Technical Conference «Problems of Modern Energy and Automation in the Environmental Management System (Theory, Practice, History, Education)». 2023.

[URL:http://econference.nubip.edu.ua/index.php/pmeas/pmeas2023/index](http://econference.nubip.edu.ua/index.php/pmeas/pmeas2023/index)

5. Razinkov V. O. Voloshchuk S. O. «Research on Factors Affecting the Generation of Solar Panels» «Perspectives of Contemporary Science: Theory and

Practice. Proceedings of the 11th International Scientific and Practical Conference.»
Lviv, Ukraine. 2024.

[URL:https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/12/PERSPECTIVES-OF-CONTEMPORARY-SCIENCE-THEORY-AND-PRACTICE-9-11.12.24.pdf](https://sci-conf.com.ua/wp-content/uploads/2024/12/PERSPECTIVES-OF-CONTEMPORARY-SCIENCE-THEORY-AND-PRACTICE-9-11.12.24.pdf)