

БОЙКО СергійНаціональний університет Запорізьська політехніка
boiko_s_n@ukr.net**КОТОВ Олексій**Національний університет Запорізьська політехніка
<https://orcid.org/0000-0003-2856-1072>
kab2611@ukr.net**ВИШНЕВСЬКИЙ Святослав**Вінницький національний технічний університет
svyato.vish.ua@gmail.com**ЩОКІН Вадим**

Криворізький національний університет

ГУСАРОВА ОксанаКременчуцький льотний коледж Харківського університету внутрішніх справ
<https://orcid.org/0000-0002-9823-0044>
o_v_gusarova@ukr.net

АСПЕКТИ ВПРОВАДЖЕННЯ СОНЯЧНОЇ ЕНЕРГЕТИКИ В УМОВАХ АВІАЦІЙНИХ ПІДПРИЄМСТВ

Враховуючи сучасні реалії та важливість авіаційної складової у транспортно-логістичній системі України, важливим чинником на сьогоднішній день є підтримання на належному рівні авіаційної безпеки підприємств авіаційної галузі України. Однією із важливих складових при цьому є електропостачання вказаних об'єктів. Між тим, у межах приаеродромної території можуть бути деякі перешкоди: природні - рельєф місцевості (височини, гори) і висока рослинність; штучні - будівлі, споруди, висота яких обмежується умовними горизонтальними і похилими площинами. Тому можна розглядати при аеродромну територію, як потенційний полігон для встановлення сонячних фотоелектричних установок. З метою вирішення завдання підвищення авіаційної безпеки об'єктів авіаційної галузі України, проаналізовано можливість та особливості впровадження сонячної енергетики в мовах підприємств вказаної галузі. Запропоновано математичну модель сонячної фотоелектричної установки, що дає можливість оцінити вплив енергетичні характеристики в залежності від зовнішніх факторів.

Ключові слова: розосереджена генерація, електропостачання, аеродром, аеропорт, сонячна енергетика.

BOYKO Serhiy, KOTOV Olesiy,
National University Zaporizhzhia Polytechnic
VYSHNEVSKY Svyatoslav,VINNYTSIA NATIONAL TECHNICAL UNIVERSITY
SHKOKIN Vadim,

Kryvyi Rih National University

HUSAROVA Oksana

Kremenchug Flight College of Kharkiv University of Internal Affairs

ASPECTS OF THE IMPLEMENTATION OF SOLAR ENERGY IN THE CONDITIONS OF AVIATION ENTERPRISES

Taking into account modern realities and the importance of the aviation component in the transport and logistics system of Ukraine, an important factor today is the maintenance of aviation security at the appropriate level of the enterprises of the aviation industry of Ukraine. The research results of various industrial facilities showed that they have different specifics of the technological process and their unique features of the implementation of distributed generation sources. One of the important components in this case is the electricity supply of the specified objects. Meanwhile, there may be some obstacles within the airport territory: natural - terrain relief (highlands, mountains) and high vegetation; artificial - buildings, structures, the height of which is limited by conventional horizontal and inclined planes. The main reason for the growing interest in solar energy is the falling cost of generated electricity. 20 years ago, the production of one kilowatt cost 1 euro. Today, in countries rich in the sun, 1 kW costs less than 10 euro cents, and in some regions 6-7 cents. The possibility and specifics of the operation of a solar power plant (SPP) in the conditions of operating aviation enterprises were analyzed. Therefore, it is possible to consider the airfield area as a potential training ground for the installation of solar photo-electric installations. In order to solve the problem of improving the aviation safety of the objects of the aviation industry of Ukraine, the possibility and peculiarities of the introduction of solar energy in the languages of enterprises of the specified industry were analyzed. A mathematical model of a solar photovoltaic installation was proposed, which makes it possible to evaluate the influence of energy characteristics depending on external factors.

Keywords: decentralized generation, power supply, airfield, airport, solar energy.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Одним з основних елементів авіатранспортної системи країни, є аеропорт, що в свою чергу поділяються на місцеві і міжнародні.

Аеропорт це транспортне підприємство цивільної авіації, що здійснює регулярні повітряні перевезення пасажирів, багажу, вантажів і пошти, та виконує обслуговування польотів повітряних суден [1].

Для виконання зазначених цілей сучасний аеропорт складається з великого числа будівель і споруд, найголовнішими з яких є система злітно-посадкових смуг, рульових доріжок, перони, місця стоянок, аеровокзали, ангари та інші будівлі. У аеропортах є автоматизовані системи управління, комплексні засоби

вбудованої і пересувної механізації, розгалужена мережа інженерних комунікацій, що забезпечує експлуатаційне утримання споруд та обслуговування авіаційної техніки [1].

Аеродром - основна частина аеропорту, що представляє собою спеціально підготовлену земельну ділянку з комплексом споруд і устаткування, що забезпечують зльоти, рулювання, зберігання і обслуговування повітряних суден. У межах аеродрому на ділянці розташування перону, що зазвичай прилегло до аеровокзалу, виконуються посадка пасажирів у повітряні судна та висадка з них, транспортування або переміщення пасажирів з аеровокзалу і назад, вантажно-розвантажувальні операції з вантажем, багажем і поштою [1, 2].

Між тим, до аеродрому прилягає приаеродромна територія, у повітряному просторі якої проводиться маневрування повітряних суден.

Враховуючи сучасні реалії та важливість авіаційної складової у транспортно-логістичній системі України, важливим чинником на сьогоднішній день є підтримання на належному рівні авіаційної безпеки підприємств авіаційної галузі України. Однією із важливих складових при цьому є електропостачання вказаних об'єктів.

Аналіз останніх досліджень і публікацій.

У ряді попередніх досліджень автори обґрунтовують позитивний ефект від впровадження джерел розосередженої генерації в умовах різних промислових підприємств. Але, результати досліджень різних промислових об'єктів показали, що вони мають різну специфіку технологічного процесу та свої унікальні особливості впровадження джерел розосередженої генерації [2-10].

Між тим, актуальною науково-практичною задачею є дослідження принципів та механізму впровадження в системи електропостачання авіаційних підприємств джерел РГ.

Формулювання цілей статті

Метою цієї роботи аналіз можливості та особливостей впровадження сонячної енергетики в системи електропостачання авіаційних підприємств в аспекті впровадження джерел розосередженої генерації.

Виклад основного матеріалу

Приаеродромна територія являє собою прямокутник, розміри якої залежать від класу аеродрому. Ширина прямокутника змінюється від 25 до 40 км. Крайні частини можуть мати довжину від 25 до 30 км, а середні - 20-60 км. Таким чином, довжина приаеродромної території може складати 100 км і більше, а ширина до 1/3 від загальної довжини [1].

У межах середньої частини приаеродромної території перш за все забезпечується безпека польотів повітряних суден з одним непрацюючим двигуном, відходу на друге коло, заходження на посадку з розворотом і виходом на посадковий курс, заходу на посадку по прямокутними маршрутами; в межах крайніх частин - безпека повітряних суден при заході на посадку по прямій [1].

Між тим, у межах приаеродромної території можуть бути деякі перешкоди: природні - рельєф місцевості (височини, гори) і висока рослинність; штучні - будівлі, споруди, висота яких обмежується умовними горизонтальними і похилими площинами. Тому можна розглядати при аеродромну територію, як потенційний полігон для встановлення сонячних фотоелектричних установок [1].

Як відомо, для обґрунтування параметрів і режимів енергетичних установок сонячної енергетики, працюючих в невеликих локальних енергосистемах (встановленою потужністю до декількох МВт або сотень кВт), або на автономного споживача (встановлена потужність, як правило не більше 100 – 200кВт), необхідними даними при неперервному графіку зміни сонячного випромінення в часі (для особливо відповідальних споживачів) або, що найбільш розповсюджено в енергетичних режимах, – середньогодинні данні про прихід сонячного випромінення на задану сприймаючу площадку [5].

У таких випадках не обов'язково розробляти спеціальну методіку розрахунку середньогодинного приходу сонячного випромінення на довільно орієнтовану приймальну площадку [6].

При цьому для збільшення значення приходу сонячного випромінення на приймаючу площадку остання повинна мати неперервну орієнтацію на Сонце шляхом зміни кута нахилу її поверхні відносно горизонту β , а також азимута прийомної площі γ .

Значення потоку суммарного сонячного випромінення можна одержати на основі перерахунку аналогічних складових приходу сонячного випромінення на горизонтальну приймаючу площадку.

Час буде вибиратися як істинний сонячний час без врахування часових поясів, враховуючи той факт, що подібне допущення прийняте і для всіх довідників і спеціальних баз даних. Врахування часу слід проводити уже на рівні безпосередніх розрахунків по балансу потужності споживача в часі [7].

Для відбитої радіації при $0 \leq \beta \leq 90^\circ$ вказане розходження не перевищує 20%, а при $\beta=90^\circ$ розходження може досягати 100% ($\beta=180^\circ$).

Основна причина зростаючого інтересу до сонячної енергетики - падаюча собівартість з генерованої електроенергії. 20-ть років тому виробництво одного кіловата коштувало 1 євро. Сьогодні ж в країнах, багатих сонцем, 1 кВт обходиться менш ніж в 10 євроцентів, а в деяких регіонах в 6-7 центів.

Була проаналізована можливість і специфіка роботи сонячної електростанції (СЕС) в умовах діючих авіаційних підприємств.

Якщо розглядати фотоелектричну установку (ФЕУ) то можна враховувати послідовне R_n і паралельне $R_{ш}$ опір сонячних фотоелементів. Послідовний опір включає опір самого напівпровідникового

матеріалу, з якого виготовлений сонячний фотоелемент, перехідний опір напівпровідник – метал, опір контактів. Шунтуючі опори утворюється за рахунок наявності зворотного опору р–п переходу, різних провідних плівок або забруднень [7].

При експлуатації СФУ в умовах авіаційних підприємств, є велика вірогідність повітряних збурень, що піднімуть в атмосферу пил, що відкладуться на прилеглих до її джерел територіях [8].

Враховуючи умови оточуючого середовища, є доцільним введення додаткового коефіцієнту запиленості поверхні скла – $k_{зан}$. Значення даного коефіцієнту залежить від коефіцієнту корисної дії номінального сонячного елемента відносно ККД розрахункового.

$$\eta_{розр.(ФЕУ)} \leq \eta_{ном.(ФЕУ)}$$

тобто

$$K_{зан} = (0 \dots \eta_{розр.(ФЕУ)})$$

При різних значеннях $k_{зан}$ необхідно проводити певні дії, щодо обслуговування сонячних панелей, з метою підвищення їх віддачі [8, 9]:

- якщо $k_{зан}=0$ то необхідно проводити непланову очистку СФУ, або висилати бригаду для перевірки стану СФУ;

- якщо $k_{зан}=0,25$ то рівень генерації електричної енергії знаходиться на низькому рівні, необхідно проводити додаткову очистку СФУ;

- якщо $k_{зан}=0,5$ то для підтримки номінальної генерації, необхідно проводити планову очистку СФУ;

- якщо $k_{зан}=0,75$ то необхідності в проведенні очистки СФУ не виникає оскільки в цьому діапазоні генерація є стабільною і близькою до номіналу, при такому значенні коефіцієнту запиленості виникає;

- якщо $k_{зан}=1$ то необхідності в проведенні очистки СФУ не виникає оскільки в цьому діапазоні генерація є близькою до номіналу.

З урахуванням всіх вище наведених коефіцієнтів $\tau_{пр}$ і $\tau_{ногл}$ дійсний коефіцієнт пропускання визначається за формулою:

$$\tau_{проп} = \tau_{пр} \cdot \tau_{ногл} \cdot K_{зан}$$

З урахуванням всіх вище наведених залежностей була складена математична модель СФУ, в загальному вигляді, яку можна представити системою рівнянь [8-10]:

$$\left\{ \begin{array}{l} U_{СФЕ}(T, I, J) = \frac{A \cdot k \cdot T}{q} \cdot \ln \left[\frac{(I \cdot z - J) e^{\frac{q}{A \cdot k \cdot T} \left[U_{оxx} - \left(\frac{I - I_0}{I_0} \right) J_{оКЗ} \cdot R_{II} + \kappa \cdot \lg \left(\frac{I}{I_0} \right) + U_{оxx} \cdot \beta_U (T - T_0) \right] - 1}}{I \cdot z} + 1 \right] - J R_{II} \\ J_{КЗ}(I, T) = J_{оКЗ} + \frac{I - I_0}{I_0} J_{оКЗ} + \beta_I \cdot J_{оКЗ} (T - T_0) \\ T(I, T_B, \nu) = \frac{I' \left[\mu - \eta_0 (1 + \chi \cdot T_0) \right] + \left[(5,7 + 3,8\nu) + 4\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_B^3(n, t) \right] F \cdot T_B(n, t)}{\left[(5,7 + 3,8\nu) + 4\varepsilon \cdot \sigma \cdot T_B^3(n, t) \right] F - I' \cdot \eta_0 \cdot \chi} \\ I(I_{II}, I_{Д}, \rho, \Lambda, Y, \Omega, \tau_{проп}) = \left[I_{II} \frac{\cos \Lambda}{\cos \Omega} + I_{Д} \frac{(1 + \cos Y)}{2} + \rho(n) \left[(I_{II} + I_{Д}) \right] \frac{(1 - \cos Y)}{2} \right] \tau_{проп} \\ \tau_{проп}(\Lambda) = (1 - \rho_{отр}(\Lambda)) \exp \left(-K \frac{B}{\cos \Lambda} \right) \\ U_{СФУ} = N_{ПС} \cdot U_{СФЕ}(T, I, J) \\ J_{СФУ} = N_{ПР} \cdot J \cdot S_{СФЕ} \\ P_{СФУ} = U_{СФУ} \cdot J_{СФУ} \\ \tau_{проп} = \tau_{пр} \cdot \tau_{ногл} \cdot K_{зан} \end{array} \right.$$

де $U_{СФЕ}$ – напруга сонячних фотоелементів, В; B – безрозмірний параметр кривизни ВАХ; k – постійна Больцмана, Дж/°К; q – заряд електрона, Кл; T – температура сонячних фотоелементів, К; I, I' – інтенсивність сонячного випромінювання, падаючого на поверхню сонячних фотоелементів і віднесена до одиниці поверхні СФУ, Вт/м²; z – коефіцієнт пропорційності густини фотопотоку до інтенсивності сонячного випромінювання, А·м²/Вт·см²; J – густина струму, А/см²; U_0, J_0 – напруга холостого ходу (В) і густина струму короткого замикання (А/см²) сонячних фотоелементів, зміни при стандартних умовах освітленості АМ1 ($I_0=1000$ Вт/м²; $T_0=298,15$ °К); R_{II} – внутрішній електричний опір (послідовне), Ом·см²; κ – безрозмірний коефіцієнт освітленості; β_U, β_U – температурні коефіцієнти струму і напруги, К⁻¹; $J_{КЗ}$ – густина струму короткого замикання, А/см²; μ – інтегральний коефіцієнт поглинання сонячного випромінювання сонячних фотоелементів; η_0 – коефіцієнт корисної дії сонячних фотоелементів одержаний при стандартних

умовах випробувань; χ – температурний градієнт, залежний в основному від типу і конструкції сонячних фотоелементів, K^{-1} ; $(5,7+3,8v)$ – розмірне співвідношення Мак–Адамса для розрахунку коефіцієнта конвекції, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ K)$, де v – швидкість вітру, $м/с$; ε – інтегральний коефіцієнт випромінювання сонячних фотоелементів; σ – постійна Стефана – Больцмана, $Вт/(м^2 \cdot ^\circ K^4)$; T_B – температура оточуючого повітря, $^\circ K$; n – порядковий номер дня року, відлічуваний від 01 січня; t – час, год.; F – відношення площі плоскої сонячних фотоелементів до площі освітлювальної поверхні; $I_{п}$, $I_{д}$ – інтенсивність прямого і дифузного (розсіяного) сонячного випромінювання на горизонтальну поверхню, $Вт/м^2$; Λ , Ω , Υ – кути, визначаючи просторову орієнтацію наземних СФУ, град.; ρ – коефіцієнт відбивання сонячних променів від земної поверхні (альbedo); $\tau_{проп}$, $\rho_{отр}$ – коефіцієнт пропускання і відбивання сонячного випромінювання захисної поверхні сонячних фотоелементів; K – показник поглинання сонячного випромінювання захисною поверхнею сонячних фотоелементів, $см^{-1}$; B – товщина захисної поверхні сонячних фотоелементів, $см$; $U_{СФУ}$ – напруга СФУ, $В$; $J_{СФУ}$ – струм навантаження СФУ, $А$; $N_{пс}$, $N_{пр}$ – число послідовно і паралельно з'єднаних сонячних фотоелементів в СФУ; $S_{СФЕ}$ – площа сонячних фотоелементів, $см^2$; $P_{СФЕ}$ – потужність сонячних фотоелементів в СФУ, $Вт$.

Такі припущення в розробленій, математичній моделі, прийняті наступні [8-10]:

- послідовний опір сонячних фотоелементів не залежить від інтенсивності сонячного випромінювання і температури сонячних фотоелементів;
- величина фотоструму пропорційна інтенсивності сонячного випромінювання і не залежить від температури;
- спектральна чутливість сонячних фотоелементів і внутрішні втрати енергії, пов'язані з можливим затіненням сонячних фотоелементів або їх частин не враховуються.
- розподіл сонячного випромінювання по поверхні СФУ рівномірний;
- температура по всьому об'єму СФУ однакова, з відсутністю перепадів температур уздовж її поверхні;
- значення швидкості вітру для лицьової і тильної поверхні СФУ однакове, напрямок вітру не враховується, тобто розмір обдувається поверхні СФУ не змінений.

Розроблена математична модель СФУ дозволяє оцінити вплив на вихідні енергетичні характеристики СФУ, як внутрішніх, так і зовнішніх чинників (інтенсивності сонячного випромінювання, температури повітря, швидкості вітру, ступеня орієнтації СФУ на Сонці залежно від пори року і доби) [20].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

З метою вирішення завдання підвищення авіаційної безпеки об'єктів авіаційної галузі України, проаналізовано можливість та особливості впровадження сонячної енергетики в мовах підприємств вказаної галузі.

Запропоновано математичну модель сонячної фотоелектричної установки, що дає можливість оцінити вплив енергетичні характеристики в залежності від зовнішніх факторів.

Література

1. Бабак В. П., Харченко В. П., Максимов В. О. та ін. Безпека авіації К., 2004. 584 с.
2. World Energy Outlook –2021, OECD/IEA, Paris.
3. Smart Power Grids – Talking about a Revolution // IEEE Emerging Technology portal, 2009.
4. Реєстр альтернативних видів палива Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності). – Київ, 2011. – 42 с.
5. НЕК «Укренерго»: Офіційний сайт [Електронний ресурс]: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua>.
6. Gorodniy O. Impact of Supply Voltage Change on the Energy Performance of Boost Quasi-Resonant Converter for Radioelectronic Equipment Power Supplies / Gorodniy O., Gordienko V., Stepenko S., Boyko S., Sereda O. // Modern Electrical and Energy Systems (MEES), 2017. - P. 232-235.
7. Sinchuk, O.M. Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises' electricity supply systems. Multi-authored monograph / O.M. Sinchuk, S.M. Boiko, I.O. Sinchuk, F.I. Karamanyts, I.A. Kozakevych, M.L. Baranovska, O.M. Yalova; Edited by DSc., Prof. O.M. Sinchuk. – Warsaw: iScience Sp. z o. o. – 2018. – 77 p.
8. Бойко С.М. Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації в умовах гірничорудних підприємств. / С. М. Бойко // Монографія, під редакцією доктора техн. наук, професора О.М. Сінчука. – Кременчук, 2020. – 263с.
9. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения – К.: «Освіта України», 2007. – 464с.
10. Кирик В.В. Дослідження впливу джерел розподіленої генерації на режим роботи електричної системи / В.В.Кирик, О.С.Губатюк, В.І.Моссаковський. // Матеріали XIV Міжнар. конф. «Відновлювана енергетика XXI століття». – Крим, 2013. – С. 141–143.

References

1. Бабак В. П., Харченко В. П., Максимов В. О. та ін. Безпека авіації К., 2004. 584 с.
2. World Energy Outlook –2021, OECD/IEA, Paris.
3. Smart Power Grids – Talking about a Revolution // IEEE Emerging Technology portal, 2009.
4. Реєстр альтернативних видів палива Державного агентства з енергоефективності та енергозбереження України (Держенергоефективності). – Київ, 2011. – 42 с.
5. НЕК «Укренерго»: Офіційний сайт [Електронний ресурс]: <http://www.ukrenergo.energy.gov.ua>.

-
6. Gorodniy O. Impact of Supply Voltage Change on the Energy Performance of Boost Quasi-Resonant Converter for Radioelectronic Equipment Power Supplies / Gorodniy O., Gordienko V., Stepenko S., Boyko S., Sereda O. // *Modern Electrical and Energy Systems (MEES)*, 2017. - P. 232-235.
7. Sinchuk, O.M. Aspects of the problem of applying distributed energy in iron ore enterprises' electricity supply systems. Multi-authored monograph / O.M. Sinchuk, S.M. Boiko, I.O. Sinchuk, F.I. Karamanyts, I.A. Kozakevych, M.L. Baranovska, O.M. Yalova; Edited by DSc., Prof. O.M. Sinchuk. – Warsaw: iScience Sp. z o. o. – 2018. – 77 p.
8. Бойко С.М. Теоретичні засади формування електроенергетичних систем з джерелами розосередженої генерації в умовах гірничорудних підприємств. / С. М. Бойко // Монографія, під редакцією доктора техн. наук, професора О.М. Сінчука. – Кременчук, 2020. – 263с.
9. Праховник А.В. Малая энергетика: распределенная генерация в системах энергоснабжения – К.: «Освіта України», 2007. – 464с.
10. Кирик В.В. Дослідження впливу джерел розподіленої генерації на режим роботи електричної системи / В.В.Кирик, О.С.Губатюк, В.І.Моссаковський. // Матеріали XIV Міжнар. конф. «Відновлювана енергетика XXI століття». – Крим, 2013. – С. 141–143.

Надійшла/Paper received : 12.09.2022 р. Надрукована/Printed :01.11.2022 р.