

АНАЛІЗ ЗМІНИ ВІДСТАНІ ЛІНЗИ ФРЕНЕЛЯ ДО КОНЦЕНТРАЦІЙНОЇ ПОВЕРХНІ ДЛЯ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ФУНКЦІОНУВАННЯ ДВИГУНА СТІРЛІНГА

Отримано 16 бер. 2024 р.; рекомендовано до публікації 21 чер. 2024 р.
Доступно онлайн 01 лип. 2024 р.

Головко В. М.¹, Бережнюк М. М.²

Автор для кореспонденції: Головко Володимир,
e-mail: golovkovm@ukr.net

¹ д-р техн. наук, професор.
<https://orcid.org/0000-0003-0195-9654>

² аспірант
<https://orcid.org/0000-0002-0863-9269>

Відновлюваним джерелам енергії належить значна частина енергетичного сектору, проте виробництво електроенергії від установок ВДЕ не є стабільним та передбачуваним у часі й залежить від різних факторів, наприклад від швидкості вітру або кількості сонячного випромінювання. Одним із методів забезпечення стабільної генерації електроенергії від таких установок є використання додаткового джерела енергії. У термодинамічній установці на основі двигуна Стірлінга, коли теплоти від концентрації сонячного випромінювання не вистачає, додаткову кількість теплоти можна отримувати за допомогою спалювання палива. У цій статті досліджено регулювання температури на котлі двигуна Стірлінга за рахунок зміни відстані до лінзи Френеля, що дозволить в подальшому розрахувати необхідну потужність додаткового джерела теплоти. Встановлені залежності температури концентраційної плями від її площі та відстані між лінзою та нагрівальною частиною двигуна при різній інтенсивності сонячної радіації. Проаналізовано глибину фокусу лінзи як основну характеристику для підбору систем, які регулюють відстань між лінзою та поверхнею котла двигуна Стірлінга.

Ключові слова: двигун Стірлінга, концентратори сонячного випромінювання, лінза Френеля, глибина фокусу, концентраційна пляма.

ANALYSIS OF CHANGES IN THE DISTANCE OF THE FRESNEL LENS TO THE CONCENTRATION SURFACE TO ENSURE THE FUNCTIONING OF THE STIRLING ENGINE

Received Mar. 16, 2024; accepted Jun. 21, 2024
Available online Jul. 01, 2024

Golovko V. M.¹, Berezhniuk M. M.²

Author for correspondence: Golovko Volodymyr,
e-mail: golovkovm@ukr.net

¹ Dr. of Tech. Sciences, prof.
<https://orcid.org/0000-0003-0195-9654>

² Postgraduate student
<https://orcid.org/0000-0002-0863-9269>

Renewable energy sources account for a significant part of the energy sector, but electricity generation from renewable energy plants is not stable and predictable over time, depending on various factors, such as wind speed or insolation. One method of ensuring stable electricity generation from such plants is to use an additional energy source. In a thermodynamic plant based on the Stirling engine, when the heat from the concentration of solar radiation is not enough, additional heat can be obtained by burning fuel. This paper investigates the temperature control of the Stirling engine boiler by changing the distance to the Fresnel lens, which will allow further calculation of the required power of the additional heat source. The dependence of the temperature of the concentration spot on its area and the distance between the lens and the heating part of the engine at different intensities of solar radiation was determined. The depth of focus of the lens is analysed as the main characteristic for the selection of systems that regulate the distance between the lens and the surface of the Stirling engine boiler.

^{1,2} National Technical University of Ukraine
«Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute»,
Kyiv, Ukraine

¹ Institute of Renewable Energy NAS of
Ukraine, Kyiv, Ukraine

Keywords: Stirling engine, concentrators of solar radiation, Fresnel lens, depth of focus, concentration spot.

Перелік використаних позначень та скорочень.

ВДЕ – відновлювані джерела енергії

DoF – depth of focus

Вступ. На сьогодні сонячна енергетика посідає провідну позицію серед відновлюваних джерел енергії, а саме 31 % (понад 1061,6 ГВт) серед загальної встановленої потужності ВДЕ, з яких значну частину становить генерація енергії від фотоелектричних станцій потужністю 1055 ГВт [1]. Фотоелектричне обладнання має достатньо високу продуктивність протягом 7 місяців (з квітня до жовтня) та здатне досягати ККД більше ~20 % [2], проте комбіноване використання сонячної енергії може бути ефективнішим при тих самих показниках надходження енергії сонячного випромінювання через використання відпрацьованої теплоти. Установкою для комбінованого генерування теплоти й електроенергії може виступати двигун Стірлінга, який працює протягом року за рахунок додаткового джерела теплоти (згоряння висконного палива чи біопалива).

Робота двигуна Стірлінга здійснюється шляхом почергового нагрівання та охолодження газу зовнішнім джерелом теплоти (яким може бути сонячне випромінювання) з отриманням енергії від розширення та стиснення газу. Це приводить до різниці тисків, яка своєю чергою використовується для зміни положення поршня всередині двигуна. Термодинамічна нагрівальна машина перетворює різницю температур (теплову енергію) на механічну енергію (кінетичну енергію), а електричний генератор безпосередньо з'єднаний з валом двигуна Стірлінга, який перетворює механічну енергію на електричну [3]. Вихідна потужність двигуна Стірлінга регулюється переважно зміною робочого тиску газу всередині поршневого циліндра, і тому являє собою систему, в якій різниця температур відіграє важливу роль.

Зазвичай для роботи двигуна Стірлінга різниця температур повинна бути не менше 200 °C [4]. Щоб забезпечити таку різницю температур використовують різні типи та методи охолодження для підтримання низьких температур охолоджувача та джерел теплоти, які можуть досягати високих температур на боці нагрівача двигуна Стірлінга. Для використання Сонця як джерела теплоти необхідно використовувати концентраційні установки; однією з них є лінза Френеля. А регулювання роботи можна забезпечити шляхом зміни температури в нагрівальній частині двигуна Стірлінга завдяки зміні розміру та форми концентраційної плями.

Існує велика кількість методів створення плями різної форми на поверхні фокусування, а саме: використання лінзи Френеля різної форми (прямокутної або круглої для лінійного і точкового фокусування відповідно), зміни кута нахилу лінзи відносно потоку сонячних променів, зміни положення площини фокусування віднос-

но лінзи та використання додаткових оптичних елементів. А для зміни площі концентраційної плями на поверхні фокусування використовують такі методи: зміна відстані між лінзою та площиною фокусування, зміна кута нахилу лінзи, зміна розміру (радіусу) або фокусної відстані лінзи та використання додаткових оптичних елементів – лінзи або дзеркала.

У цій статті розглядається зміна площі концентраційної плями від сонячного випромінювання на поверхні фокусування шляхом зміни відстані між лінзою та площиною фокусування, щоб встановити залежність температури концентраційної плями від її площі, для забезпечення роботи та регулювання вихідної потужності двигуна Стірлінга.

Постановка завдання. Провести аналіз концентраційної установки сонячного випромінювання на основі лінзи Френеля та встановити залежність температури концентраційної плями від її площі для забезпечення функціонування двигуна Стірлінга за рахунок зміни температури в нагрівальній частині двигуна.

Встановлення залежності площі концентраційної плями від відстані між лінзою та поверхнею. Через зміну відстані між лінзою та поверхнею двигуна можна формувати концентраційну пляму різного розміру, що і дозволяє досягати різної температури в нагрівальній частині двигуна Стірлінга за допомогою концентрації сонячного випромінювання.

Для розрахунку площі концентраційної плями прийнята лінза у формі кола, яка розміщена паралельно до концентраційної поверхні (кривизна поверхні не враховується), де сонячне випромінювання створює уявну фігуру у вигляді конуса (рис. 1), де r – радіус лінзи, відрізок OP – фокусна відстань лінзи, H – відстань між лінзою та поверхнею, на якій буде концентруватися сонячне випромінювання, а r' – радіус концентраційної плями. Якщо в трапеції $PO'DB$ провести перпендикуляр з точки D до поверхні лінзи, то радіус плями визначається як:

$$r' = r - (r - r') \quad (1)$$

де, $r-r'$:

$$(r - r') = \frac{H}{\tan(\angle OBP)} = \frac{H}{OP/r} \quad (2)$$

Тоді залежність площі концентраційної плями від відстані між лінзою та поверхнею, на якій буде концентруватися сонячне випромінювання, становить:

$$S(H) = \pi \cdot r'^2 = \pi \cdot \left(r - \frac{H}{OP/r}\right)^2 \quad (3)$$

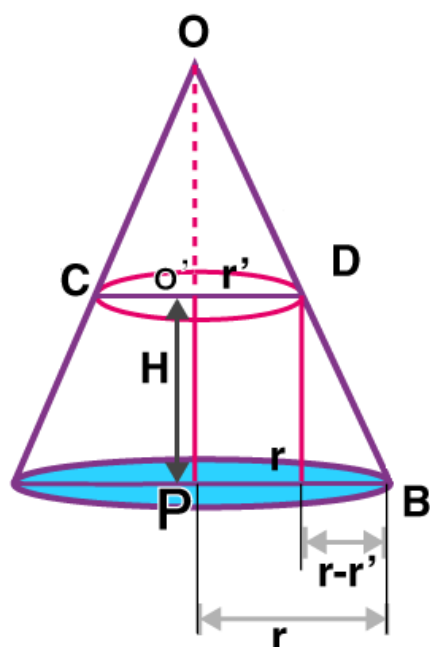


Рис. 1. Уявний конус, утворений концентрацією сонячного випромінювання за допомогою круглої лінзи

Fig. 1. An imaginary cone formed by the concentration of solar radiation using a round lens

Розрахуємо залежність $S(H)$ за формулою 3 для лінзи Френеля з поширеним форм-фактором, а саме зі співвідношенням діаметра лінзи до фокусної відстані – $3/2$. Залежність площі концентраційної плями від відстані між лінзою та поверхнею для лінзи з радіусом 150 мм та фокусною відстанню 200 мм наведена на рис. 2.

У досліді враховували правила поведінки світлових променів при проходженні через концентрувальну лінзу, а саме [5]:

1. Світловий промінь, паралельний до головної осі, після заломлення проходить через фокус з іншого боку лінзи.
2. Світловий промінь, який проходить через оптичний центр лінзи, не змінює напрямку.
3. Світловий промінь, який проходить через фокус, після заломлення рухається паралельно до головної осі.

Визначали принцип формування зображення (плями) за допомогою концентраційної лінзи. Коли об'єкт (Сонце) розміщується за подвійною фокусною відстанню, буде утворюватися зображення: справжнє, зменшене, перевернуте та сформоване поза фокусом, але перед двома фокусними відстанями (рис. 3) [5].

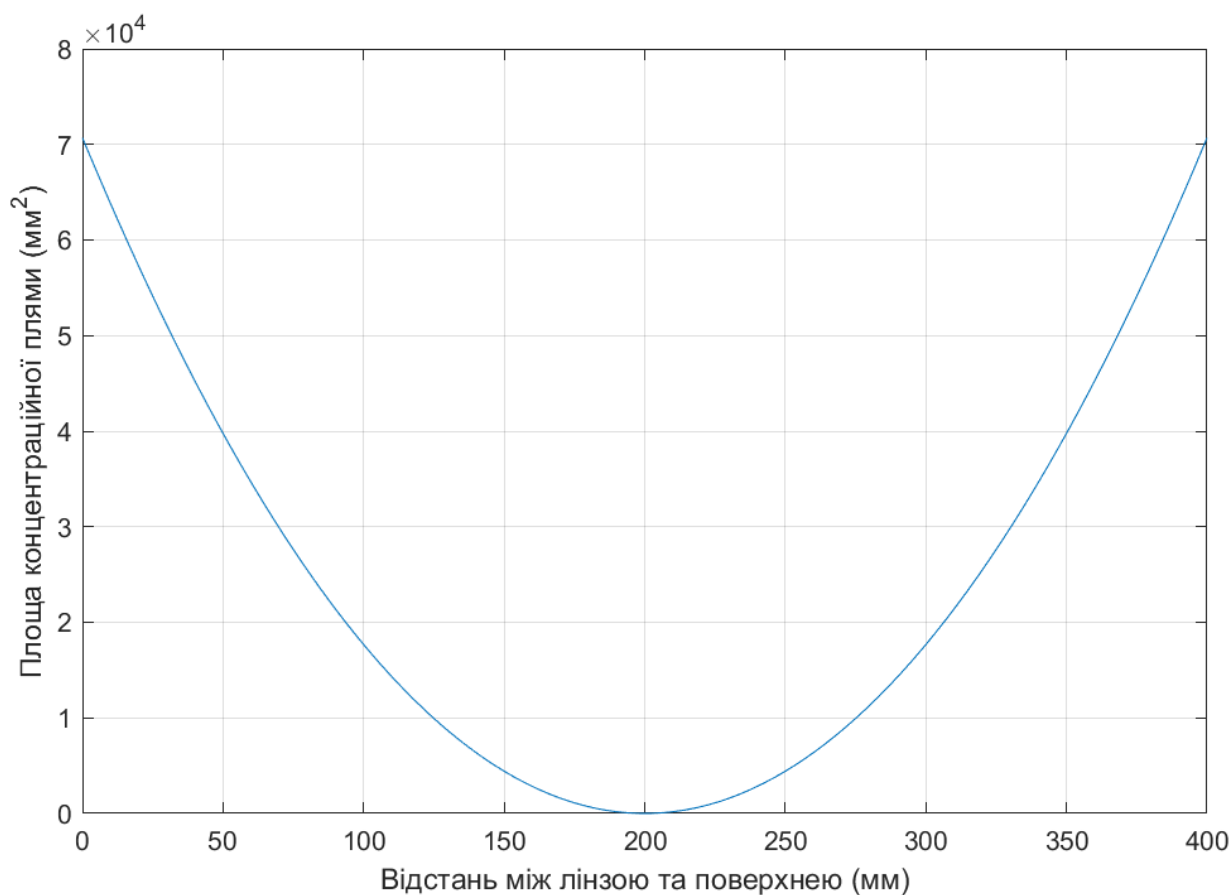


Рис. 2. Залежність площі концентраційної плями від відстані між лінзою та поверхнею

Fig. 2. Dependence of the concentration spot area on the distance between the lens and the surface

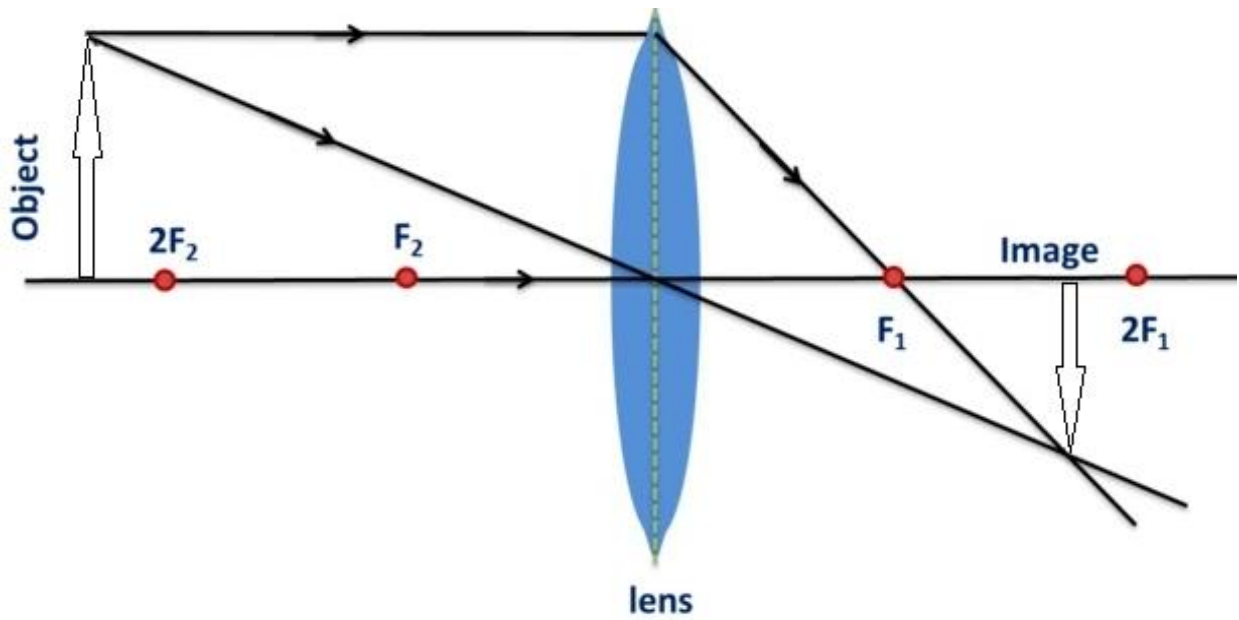


Рис. 3. Формування зображення концентрованими лінзами, якщо об'єкт розміщений за межами двох фокусних відстаней [5]

Fig. 3. Forming an image with concentric lenses if the object is outside the two focal lengths [5]

Отже, площа концентраційної плями (зображення об'єкта) не може дорівнювати нулю та може розміщуватися поза фокусом, тому для розрахунку розташування зображення використаємо формулу плоскої лінзи [7]:

$$\frac{1}{d_i} + \frac{1}{d_o} = \frac{1}{f} \quad (4)$$

де d_o – відстань від лінзи до об'єкта (Сонця), d_i – відстань від лінзи до зображення (концентраційної плями), f – фокусна відстань лінзи.

Відстань до Сонця (d_o) становить $\approx 149,6$ млн км [6], що відносно розміру лінзи, відстані від лінзи до зображення та фокусної відстані лінзи є «нескінченною» величиною. Тому підставивши $d_o = \infty$ у формулу плоскої лінзи (4), отримуємо:

$$\frac{1}{f} = \frac{1}{d_i} + \frac{1}{\infty} = \frac{1}{d_i} \quad (5)$$

тоді

$$f = d_i \quad (6)$$

Отже, всі об'єкти, які розміщуються на великій відстані від лінзи, формуватимуть зображення, що максимально наближене до фокусної відстані лінзи.

Для розрахунку розміру зображення (плями) використаємо формулу коефіцієнта збільшення лінзи [7]:

$$M = \frac{h_i}{h_o} = \frac{d_i}{d_o} \quad (7)$$

де d_o – відстань від лінзи до об'єкта (Сонця), d_i – відстань від лінзи до зображення (концентраційної плями), h_o – висота об'єкта (якою в нашому разі є радіус Сонця – 695 700 км [6]), h_i – висота зображення (радіус концентраційної плями), M – коефіцієнт збільшення лінзи. Отже, мінімальний радіус концентраційної плями h_i з виразу (7) дорівнює:

$$h_i = \frac{h_o}{d_o} \cdot d_i \quad (8)$$

де $d_i = f$, що було визначено у виразах (5, 6), а співвідношення $\frac{h_o}{d_o}$ дорівнює:

$$\frac{h_o}{d_o} = \frac{695700 \text{ (км)}}{149600000 \text{ (км)}} = \frac{1}{215}, \quad (9)$$

тоді мінімальний радіус концентраційної плями h_i , для лінзи з фокусною відстанню 200 мм, рівний:

$$h_i = \frac{f}{215} = \frac{200 \text{ (мм)}}{215} = 0,93 \text{ (мм)}, \quad (10)$$

а мінімальна площа концентраційної плями дорівнює:

$$S = \pi \cdot h_i^2 = \pi \cdot 0,93^2 = 2,72 \text{ (мм}^2\text{)} \quad (11)$$

Залежність мінімальної площі концентраційної плями від фокусної відстані лінзи наведено на рис. 4.

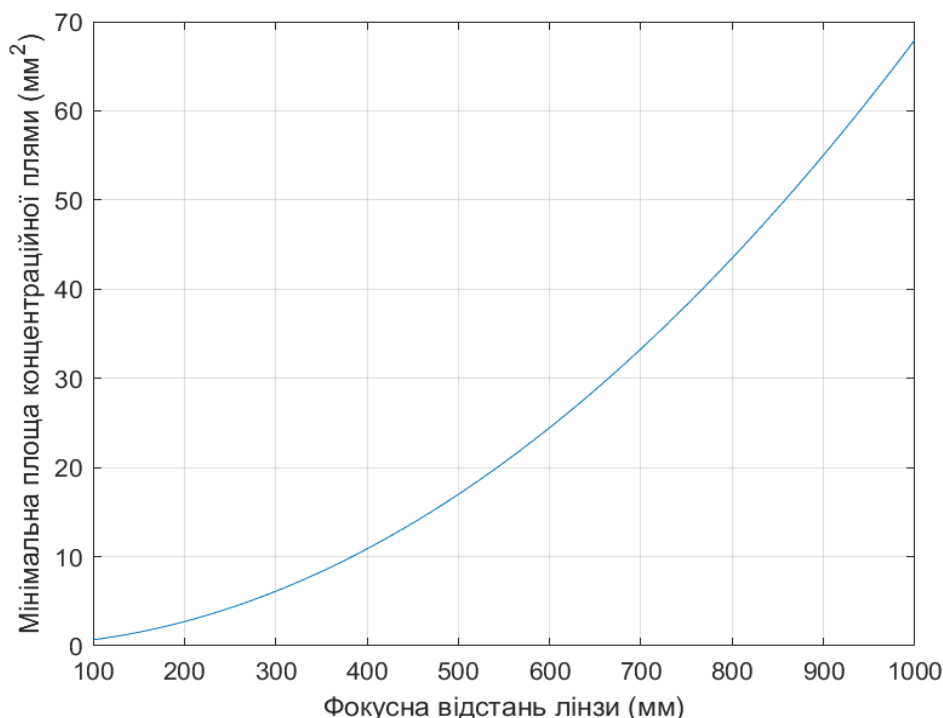


Рис. 4. Залежність мінімальної площі концентраційної плями від фокусної відстані лінзи

Fig. 4. Dependence of the minimum concentration spot area on the focal length of the lens

З урахуванням мінімальної площі концентраційної плями з виразу (3) формуються такі умови:

якщо $S(H) > S_{min}$, тоді $S_{result} = S(H)$,

якщо $S(H) < S_{min}$, тоді $S_{result} = S_{min}$ (12)

Залежність площі концентраційної плями від відстані між лінзою та поверхнею, з урахуванням системи рівнянь (12), наведено на рис. 5.

З рис. 5 видно, що площа концентраційної плями від Сонця не змінюється на відстані від 198,8 до 201,2 мм, тоді глибина фокусу дорівнює:

$$DoF = X_2 - x_1 = 201,2 - 198,8 = 2,4 \text{ (мм)} \quad (13)$$

Отже, щоб забезпечити мінімальну площу концентраційної плями для лінзи ($r = 150$ (мм) та $f = 200$ (мм)), поверхня, на якій концентрується сонячне випромінювання, має розташовуватися на відстані $\pm 1,2$ мм від фокусної відстані лінзи. Залежність глибини фокусу від радіусу та фокусної відстані лінзи наведено на рис. 6.

Встановлення залежності температури концентраційної плями від її площі (без урахування конвекції). Для визначення температури сонячної концентраційної плями на поверхні нагрівача двигуна Стірлінга використаємо закон Стефана – Больцмана:

$$I = e \cdot \sigma \cdot A \cdot T^4 \quad (14)$$

де, e – випромінювальна здатність поверхні (для сталі становить 0,85 в.о. [9]), σ – стала Стефана – Больцмана

($5,67 \cdot 10^{-8}$ Вт/(м²·К⁴)), A – площа поверхні (концентраційної плями) (м²), T – температура (К), I – загальна потужність випромінювання (Вт). Отже, вираз знаходження температури матиме такий вигляд:

$$T = \sqrt[4]{\frac{I}{e \cdot \sigma \cdot A}} \quad (15)$$

Для розрахунку температури концентраційної плями від Сонця потрібно також врахувати параметри, як-от площа лінзи, коефіцієнт поглинання поверхні та оптичний коефіцієнт ефективності лінзи. Вираз (15) набуде такого вигляду:

$$T = \sqrt[4]{\frac{J \cdot S \cdot \eta \cdot \alpha}{e \cdot \sigma \cdot A}} - 273 \quad (16)$$

де, J – питома потужність (у цьому разі це інсоляція) (Вт/м²), S – площа лінзи (м²), η – оптичний коефіцієнт ефективності лінзи (в.о.), α – коефіцієнт поглинання поверхні (для заліза становить 0,64 в.о. [10]). Оптичний коефіцієнт ефективності лінзи визначається за допомогою кратності лінзи, що знаходиться за формулою:

$$N = \frac{f}{D} \quad (17)$$

де, D – діаметр лінзи, f – фокусна відстань лінзи. Тоді кратність лінзи з діаметром 300 мм та фокусною відстанню 200 мм дорівнюватиме:

$$N = \frac{200}{300} = 0.67 \quad (18)$$

Отже, із залежності оптичної ефективності лінзи від її кратності, що наведена на рис. 7, можна визначити її ефективність, яка дорівнює 87 % при кратності лінзи 0,67.

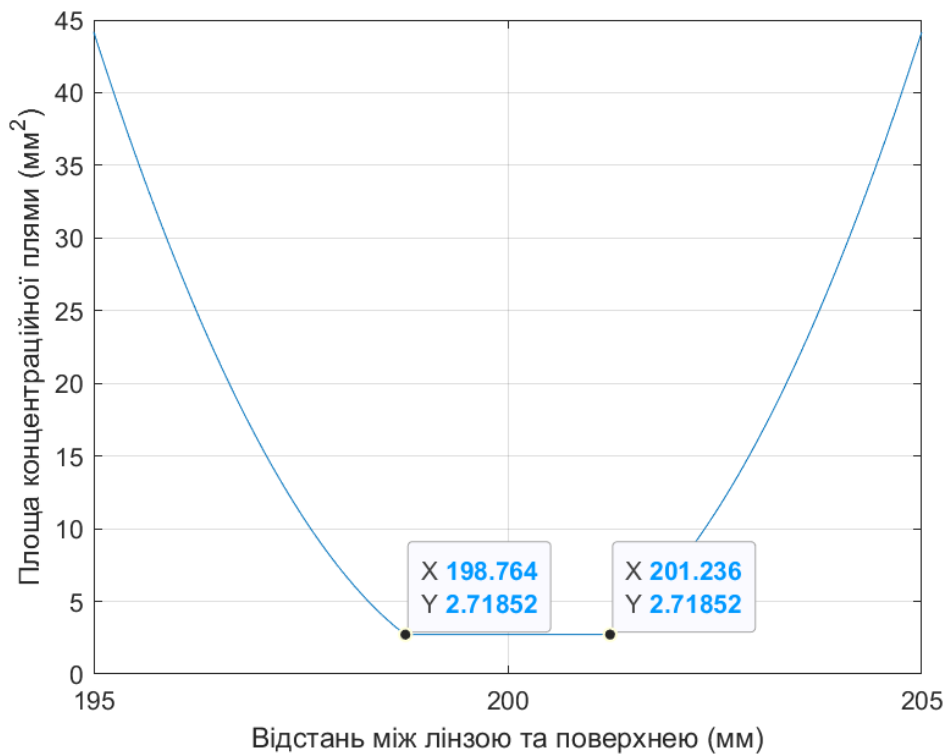


Рис. 5. Залежність площі концентраційної плями від відстані між лінзою та поверхнею з урахуванням мінімальної площі концентраційної плями

Fig. 5. Dependence of the concentration spot area on the distance between the lens and the surface, taking into account the minimum concentration spot area

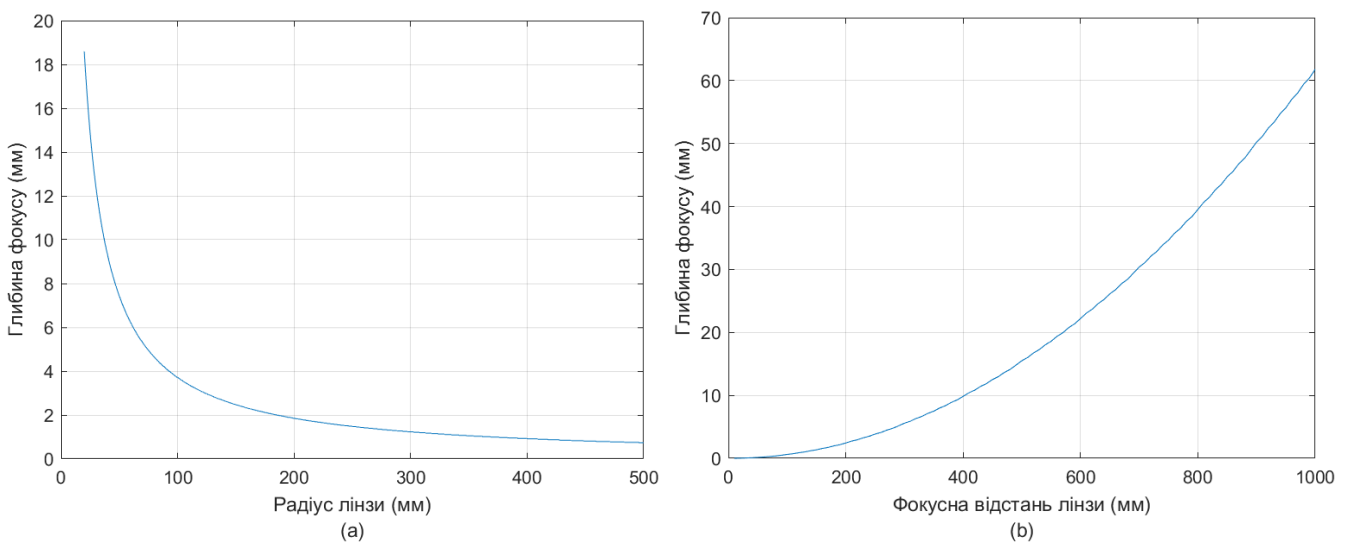


Рис. 6. Залежність глибини фокусу лінзи від радіусу лінзи при сталій фокусній відстані 200 мм (а) та від фокусної відстані лінзи при сталому радіусі 150 мм (b)

Fig. 6. Dependence of the lens depth of focus on the lens radius at a constant focal length of 200 mm (a) and on the lens focal length at a constant radius of 150 mm (b)

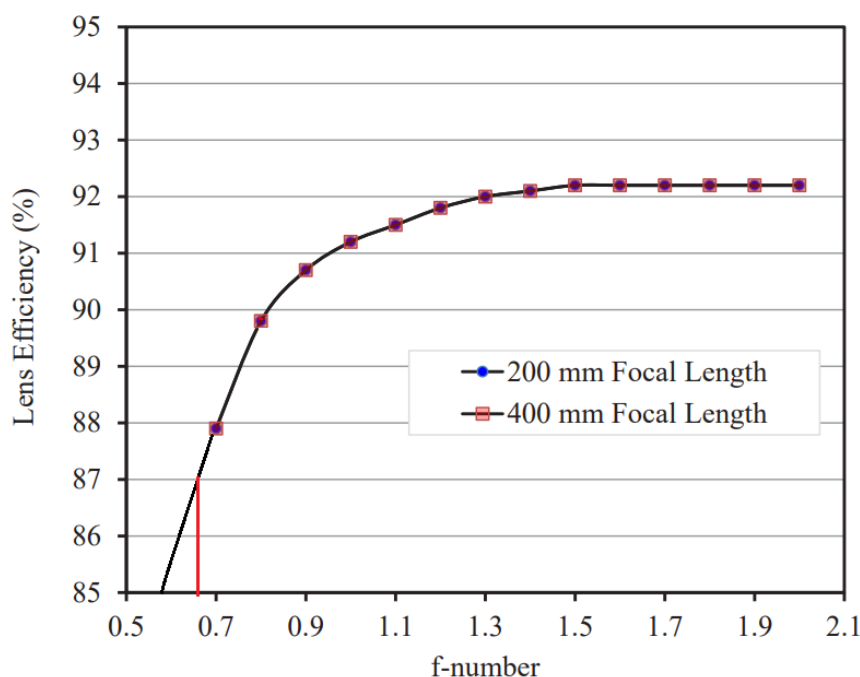


Рис. 7. Залежність оптичної ефективності лінзи від її кратності [8]

Fig. 7. Dependence of optical efficiency of a lens on its multiplicity [8]

Тоді на основі виразу 16 визначається залежність температури сонячної концентраційної плями (на металевій поверхні без урахування конвекції) для різної інсоляції від площі концентраційної плями та від відстані між лінзою й поверхнею. Залежність наведено на рис. 8.

Отже, із залежностей, наведених на рис. 8, можна зробити висновок, що залежність температури від площі концентраційної плями має вигляд гіперболи з найвищою температурою для найменшої площі концентраційної плями, а залежність температури від відстані між лінзою та поверхнею має вигляд гілки параболи з вершиною на відстані, що дорівнює фокусній відстані лінзи. Розташування лінзи на відстані ± 15 мм від фокусної відстані може змінити максимальну температуру концентраційної плями на 3000°C . при інсоляції 1000 Вт/м^2 . Також інсоляція має більший вплив на величину температури концентраційної плями при меншій її площі.

Проте варто зазначити, що ці розрахунки проведені без урахування конвекції, яка може становити понад 50 %. А під час проведення експерименту, за допомогою лінзи з $r = 150$ (мм) та $f = 200$ (мм) при інсоляції 1000 Вт/м^2 та швидкості вітру $0,5\text{--}2\text{ м/с}$ можна отримати температуру на котлі двигуна Стірлінга, близьку до 1000°C .

Висновки

1. Залежність площі концентраційної плями від відстані між лінзою та поверхнею має вигляд параболи з мінімальною площею на фокусній відстані.
2. Мінімальна площа сонячної концентраційної плями залежить тільки від фокусної відстані лінзи, а радіус мінімальної плями дорівнює $\frac{f}{215}$.

3. Глибина фокусу є основною характеристикою лінзи, що визначає вимоги до точності розташування лінзи відносно нагрівача двигуна Стірлінга для забезпечення мінімальної концентраційної плями. Для наведеного прикладу (лінзи з $r = 150$ (мм) та $f = 200$ (мм)), глибина фокуса дорівнює $2,4$ мм. Це означає, що нагрівач двигуна Стірлінга, на якому концентрується сонячне випромінювання, має розташовуватися на відстані $\pm 1,2$ мм від фокусної відстані лінзи. Залежність глибини фокуса лінзи від її радіусу має вигляд гіперболи, з найменшою глибиною фокуса для найменшого радіуса, а залежність глибини фокуса лінзи від її фокусної відстані має вигляд гілки параболи, з найменшою глибиною фокусу для найменшої фокусної відстані.

4. Залежність температури сонячної концентраційної плями від її площі й від відстані між лінзою та поверхнею, на якій концентрується сонячне випромінювання, є критично важливою, оскільки для наведеного прикладу лінзи при розташуванні її на відстані ± 15 мм від фокусної відстані може змінити максимальну температуру концентраційної плями на 3000°C . при інсоляції 1000 Вт/м^2 .
5. Інтенсивність сонячного випромінювання має більший вплив на величину температури концентраційної плями при меншій її площі. Різниця температури між 1000 та 400 Вт/м^2 для площі концентраційної плями $2,72\text{ мм}^2$ становить 850°C , а при площі 400 мм^2 становить 240°C .

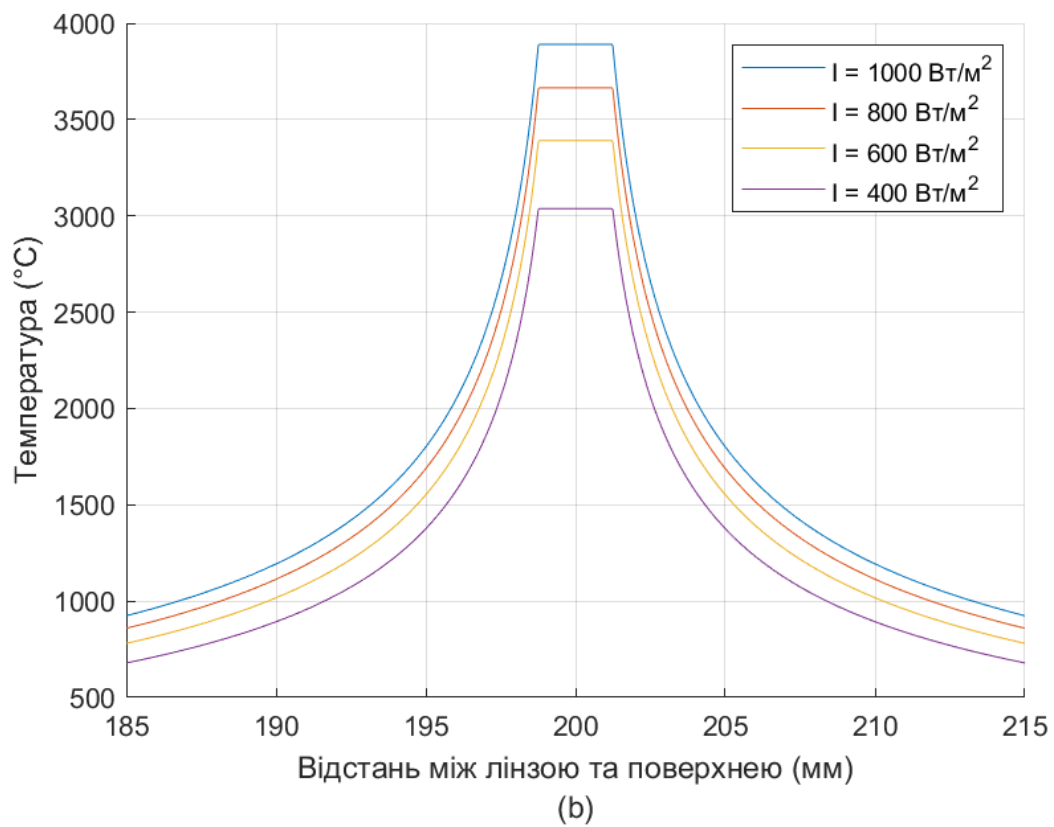
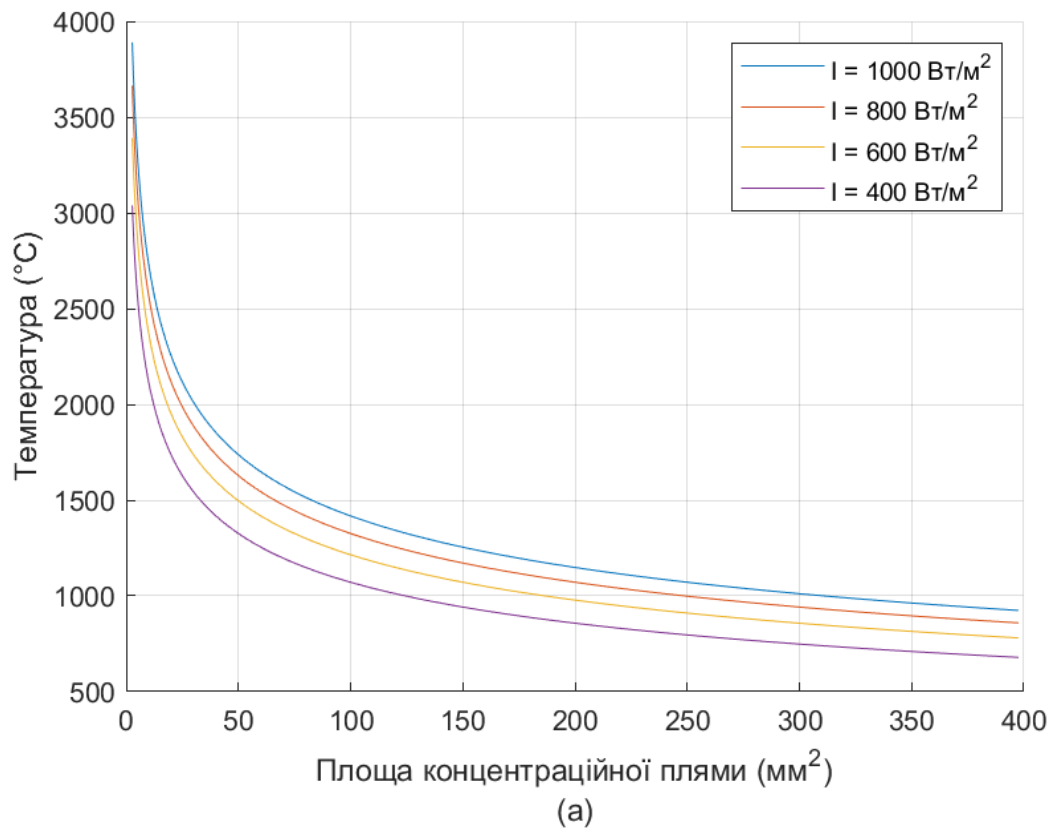


Рис. 8. Залежність температури сонячної концентраційної плями від площі концентраційної плями (a) та від відстані між лінзою та поверхнею (b)

Fig. 8. Dependence of the solar concentration spot temperature on the area of the concentration spot (a) and on the distance between the lens and the surface (b)

ПОСИЛАННЯ

1. International Renewable Energy Agency: Renewable energy statistics 2023. URL: https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jul/IRENA_Renewable_energy_statistics_2023.pdf?rev=7b2f44c294b84cad9a27fc24949d2134 (Дата звернення: 24.03.2024).
2. Kumari S., Bhende A., Pandit A., Rayalu S. Efficiency enhancement of photovoltaic panel by heat harvesting techniques. *Energy Sustain. Dev.*, 2023, 73, 303–314.
3. Rajput R. K. Internal Combustion Engine. Laxmi Publication, 2011. P. 163.
4. Mehmet Sait Cengiz, Mehmet Salih Memiş, Metin Kaynakli. The Temperature-Pressure-Frequency Relationship Between Electrical Power Generating in Stirling Engines. *International Journal of Engineering Research and Development*, 2017. Pp. 59–64.
5. Image Formation By Lenses. URL: <https://shiken.ai/physics/image-formation-by-lenses> (Дата звернення: 03.03.2024).
6. Solar System Sizes and Distances. URL: https://www.jpl.nasa.gov/edu/pdfs/scaleless_reference.pdf (Дата звернення: 23.03.2024).
7. LibreTexts. Physics. Image Formation by Thin Lenses. URL: [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Physics_\(Boundless\)/24%3A_Geometric_Optics/24.3%3A_Lenses](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Physics_(Boundless)/24%3A_Geometric_Optics/24.3%3A_Lenses) (Дата звернення: 23.03.2024).
8. Asrori, A., Susilo, S. H. The development of Fresnel lens concentrators for solar water heaters: a case study in tropical climates. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3(2022), 3–10. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002441>.
9. Table of Total Emissivity. URL: https://www.academia.edu/22294514/Table_of_Total_Emissivity (Дата звернення: 06.04.2024).
10. Absorbed Solar Radiation by Material. Engineering ToolBox. URL: https://www.engineeringtoolbox.com/solar-radiation-absorbed-materials-d_1568.html (Дата звернення: 06.04.2024).

REFERENCES

1. International Renewable Energy Agency: Renewable energy statistics 2023. URL: https://mc-cd8320d4-36a1-40ac-83cc-3389-cdn-endpoint.azureedge.net/-/media/Files/IRENA/Agency/Publication/2023/Jul/IRENA_Renewable_energy_statistics_2023.pdf?rev=7b2f44c294b84cad9a27fc24949d2134 (Accessed at: 24.03.2024).
2. Kumari S., Bhende A., Pandit A., Rayalu, S. Efficiency enhancement of photovoltaic panel by heat harvesting techniques. *Energy Sustain. Dev.*, 2023, 73, 303–314.
3. Rajput R. K. Internal Combustion Engine. Laxmi Publication, 2011. P. 163.
4. Mehmet Sait Cengiz, Mehmet Salih Memiş, Metin Kaynakli. The Temperature-Pressure-Frequency Relationship.
5. Image Formation By Lenses. URL: <https://shiken.ai/physics/image-formation-by-lenses> (Accessed at 03.03.2024).
6. Solar System Sizes and Distances. URL: https://www.jpl.nasa.gov/edu/pdfs/scaleless_reference.pdf (Accessed at: 23.03.2024).
7. LibreTexts. Physics. Image Formation by Thin Lenses. URL: [https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Physics_\(Boundless\)/24%3A_Geometric_Optics/24.3%3A_Lenses](https://phys.libretexts.org/Bookshelves/University_Physics/Physics_(Boundless)/24%3A_Geometric_Optics/24.3%3A_Lenses) (Accessed at: 23.03.2024).
8. Asrori A., Susilo S. H. The development of Fresnel lens concentrators for solar water heaters: a case study in tropical climates. *EUREKA: Physics and Engineering*, 3 (2022), 3–10. doi: <https://doi.org/10.21303/2461-4262.2022.002441>.
9. Table of Total Emissivity. URL: https://www.academia.edu/22294514/Table_of_Total_Emissivity (Accessed at: 06.04.2024).
10. Absorbed Solar Radiation by Material. Engineering ToolBox. URL: https://www.engineeringtoolbox.com/solar-radiation-absorbed-materials-d_1568.html (Accessed at: 06.04.2024).