

## КОМПЛЕКС МОДУЛЬНИХ ГЕЛІОЕНЕРГЕТИЧНИХ УСТАНОВОК ДЛЯ ПЕРВИННОЇ ПЕРЕРОБКИ АГРОПРОДУКЦІЇ

Палагута В.М., канд. техн. наук, доцент, Перетяка С.М., канд. техн. наук, доцент,  
Хотін С.Ю., канд. техн. наук, доцент, Савчук Є. В. ст. викладач; Котенко О.В., ст. викладач  
Одеський національний морський університет, м. Одеса, Україна

**Анотація.** Робота присвячена рішення актуальній в даний час проблемі впровадження в масове виробництво і експлуатацію геліоенергетичних систем для первинної переробки сільськогосподарської продукції. Технологічні процеси пов'язані з переробкою агропродукції частенько є досить енергоємними і вимагають значного вжитку теплової і електричної енергії, які мають високу вартість. Тому, їх заміна на енергію сонячної радіації могла б дати значний економічний ефект.

Сонячні енергосистеми здатні забезпечувати широкий спектр запитів різних споживачів і перш за все в сфері виробництва і переробки аграрної продукції, таких як гаряче водопостачання, теплофікація, сушіння сільгосппродукції та різних матеріалів та інше.

Але в даний час енергоустановки для енергозабезпечення вищезгаданих технологічних процесів використовуються досить рідко. Однією з головних причин цього є відсутність єдиної системи стандартизації і уніфікації сонячних теплоенергетичних систем. Для вирішення цієї проблеми в справжній роботі пропонується комплекс модульних геліоенергетичних систем, призначений для енергопостачання споживачів агропромислового сектора економіки.

Він являє собою універсальний набір уніфікованих модулів і блоків за допомогою яких можна буде зібрати різні за функціональним призначенням, потужністю, теплотехнічними параметрами та габаритними розмірами геліоенергетичні системи. Характерною особливістю даного комплексу буде його досить висока мобільність, багатofункціональність, широкий діапазон технологічних регулювань, зручність та простота в експлуатаційному обслуговуванні, а також відносно невисока собівартість.

Впровадження даного комплексу дозволить:

- зменшити собівартість виробництва геліоенергетичних систем приблизно на 50% і приблизно на стільки ж підвищити їх рівень економічної рентабельності;
- спростити їх експлуатаційне обслуговування та скоротити трудомісткість монтажу та демонтажу, зробивши тим самим геліоустановки мобільними;
- розширити сферу їх застосування;
- суттєво спростити завдання організації великосерійного виробництва;
- створювати цілі модельні ряди сонячних енергосистем різного призначення, кожен з яких включатиме декілька однакових по своєму функціональному призначенню, але різних по масогабаритним параметрам і потужності геліоенергетичних установок.

Масове використання запропонованих геліосистем забезпечить агропідприємствам і побутовим споживачам скорочення споживання органічного палива і мережевої електроенергії, що приведе не лише до зниження собівартості переробки сільськогосподарської продукції, але і до скорочення шкідливих викидів в довкілля.

**Ключові слова:** сонячні енергосистеми, комплекс, геліоколектор, концентратор, енергія, теплоприймач, фоклін, установка, їжа, продукція

**Постановка проблеми.** Незважаючи на те, що в даний час геліоенергетика знайшла широке застосування в різних сферах життєдіяльності, досі в Україні її використовують в основному для генерації електроенергії як на великих сонячних електростанціях, так і в побутових умовах, у приватних домогосподарствах, фермерських агропідприємствах, дачних ділянках і т.п.

Тим часом сонячні енергосистеми здатні забезпечувати набагато більший спектр запитів різних споживачів і перш за все у сфері виробництва і переробки аграрної продукції, таких як гаряче водопостачання, теплофікація, сушіння сільгосппродукції та різних матеріалів та інше. Аналізуючи поточну ситуацію, можна зробити висновки, що нашій країні розвитку цих напрямів приділяється недостатня увага.

Тим часом, агропромисловий сектор економіки вимагає значна кількість теплової і електричної енергії для первинної переробки агропродукції і найбільш актуальною ця проблема є для відносно невеликих агропромислових підприємств, перш за все на базі фермерських господарств, що бажають не лише вирощувати, але і переробляти сільгосппродукцію.

Однією з основних причин цього є те, що в галузі геліотехніки відсутня єдина система стандартизації та уніфікації сонячних енергосистем. У низці країн, у тому числі й в Україні, існують національні стандарти в

галузі геліотехніки, але вони мають узагальнений характер і призначені головним чином для сонячних електростанцій на базі фотоелектричних елементів і не регламентують багато технічних та санітарно-гігієнічних параметрів теплотехнічних геліосистем, а також виробничо-технологічні та експлуатаційні вимоги до них. Як наслідок цього, існує безліч різних конструктивних пристроїв і експлуатаційних характеристик геліосистем аналогічного призначення, які мають велику кількість оригінальних вузлів і елементів і несумісні один з одним.

Це підвищує собівартість їх виробництва, робить незручними в експлуатації та практично виключає виробничу кооперацію, що у свою чергу перешкоджає організації великосерійного виробництва геліоустановок та їх масових поставок кінцевому споживачеві [1].

Вирішити проблему допоможе комплекс модульних геліоенергетичних установок для первинної переробки агропродукції. Тому, метою даної роботи є розробка геліоенергетичного комплексу, що складається з набору модульних різних по своєму функціональному призначенню сонячних енергоустановок.

**Основний текст.** Пропонований комплекс геліотехнічних систем призначений для постачання електричною і тепловою енергією споживачів, що працюють в агропромисловому секторі, функціонують не цілий рік залежно від сезону і здатних періодично міняти своє місцезоташування. Такими є пересувні сушарки сільськогосподарської продукції, теплиці, водоопріснювачі, установки для термічної обробки овочів і фруктів, освітлювальні пристрої а також пересувні житлові комплекси для сільськогосподарських робітників, які можуть бути розташовані в районах, віддалених від магістральних і розподільних енергокомунікацій.

Він буде являти собою універсальний комплекс (набір) уніфікованих модулів і блоків за допомогою яких можна буде зібрати різні за функціональним призначенням, потужністю, теплотехнічними параметрами та габаритними розмірами геліоенергетичні системи.

У комплексі обов'язково будуть присутні такі уніфіковані модулі певних типорозмірів:

- концентратори сонячної радіації змінної геометрії;
- універсальні теплоприймачі, що генерують як теплову, так і електричну енергію;
- корпуси колекторів;
- опорно-силові конструкції та підйомно-поворотні пристрої.

Також стандартизовані та уніфіковані будуть усі сполучні, комутаційні та кріпильні елементи.

Для управління та контролю за роботою геліоустановок запропоновано вимірювально-керуючий модуль, що складається з електронно-цифрових контрольно-вимірювальних приладів та керуючих систем, що випускаються серійно. Його використання дозволяє забезпечити безперебійну роботу геліоустановок як в автоматичному режимі, так і керувати ними дистанційно в ручному режимі з єдиного пульта управління.

Характерною особливістю даного комплексу буде його досить висока мобільність, яка забезпечується невеликою масою геліоенергетичних установок і їх модулів, можливістю швидкого монтажу та демонтажу, зручністю транспортування.

До переваг модульних геліоенергетичних систем слід також віднести їх багатофункціональність, широкий діапазон технологічних регулювань, зручність та простота в експлуатаційному обслуговуванні, а також відносно невисока собівартість [1, 2].

З уніфікованих модулів та елементів можуть бути створені такі пристрої:

- комбіновані концентруючі геліоколектори для генерації як електричної так і теплової енергії за рахунок нагрівання охолоджуючих рідин та отримання пари низьких параметрів;
- освітлювальні пристрої на базі енергопостачальних складних плоских фотоелектричних панелей;
- геліоустановка для приготування їжі;
- установка для сушіння овочів, фруктів, зернокультур та іншої рослинної продукції.

Як додаткова опція за бажанням замовника в комплект геліоенергетичних пристроїв може бути включена складна водоопріснювальна геліоустановка, виготовлена з еластичних матеріалів [3].

Докладніше зупинимося на конструкції двох геліоенергетичних пристроїв, що входять в пропонований комплекс: комбінованому концентруючому геліоколекторі та геліоенергетичній установці для приготування їжі.

Комбінований геліоколектор, оснащений лінійними системами, що концентрують «Двогранний плоский фоклін – фотоелемент» представлений на рис. 1, де позицією (1) показаний корпус геліоколектора, (2) – фоклін, (3) – фотоелементи.

У нижній частині колектора безпосередньо під фотоелементами розташована порожнина (4), через яку в процесі роботи установки пропускається вода, яка охолоджує фотоелементи. Це дозволяє підвищити міру концентрації сонячної радіації, виключивши перегрів фотоелементів. Підігріта вода може використовуватися для опалення та побутових потреб. Верхнє покриття колектора (5) скляне.

Основними геометричними параметрами Д-фокліна є: ширина вхідного отвору -  $D$ , ширина вихідного отвору -  $d$ , висота фокліна -  $H$ , ширина грані фокліна -  $L$ . Відношення ширини вхідного і вихідного отворів фокліна називається геометричним коефіцієнтом концентрації -  $K = D/d$ .

Кут між нормаллю до плоскості вхідного і вихідного отвору фокліна і його гранню називається параметричним кутом -  $\alpha$ , а кут між гранями фокліна називається кутом розкриття-  $\beta$  [4].

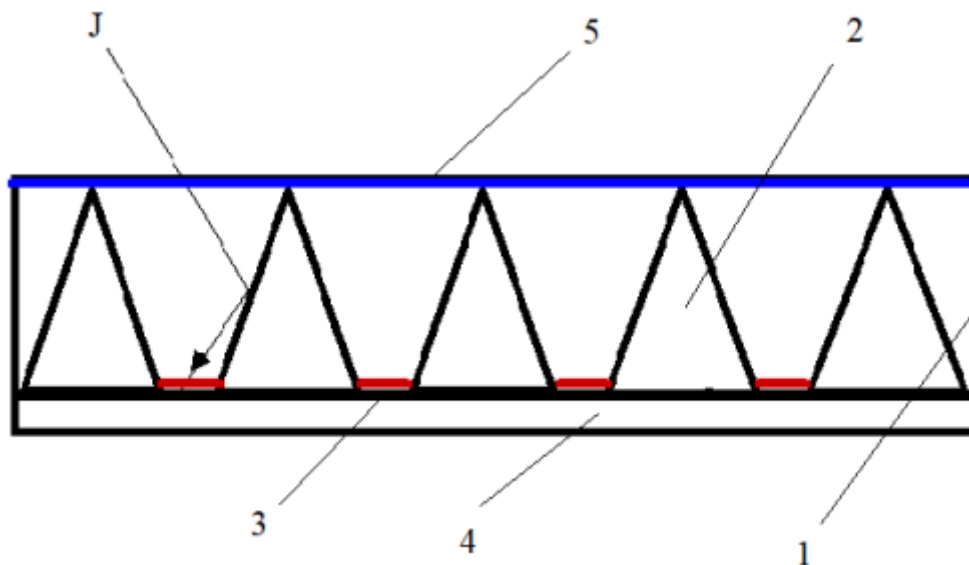


Рис. 1 – комбінований концентруючий фотоелектричний геліоколектор

Геліоконцентратори типу двогранні плоскі фокліни є простими у виготовленні, зручними в експлуатації, мають низьку собівартість та не вимагають систем добового стеження по сонцю. Їх застосування дозволить у 2,5-3 рази скоротити загальну площу фотоелементів, собівартість яких значно вища, що призведе до зниження вартості геліоустановки, за збереження обсягу виробництва електроенергії з одиниці площі робочої поверхні геліоколектора.

Визначимо теплову і електричну потужність комбінованого концентруючого геліоколектора.

Теплова потужність визначається по формулі [1, 4],

$$P = K Y J S \rho \tau \lambda 10^{-3}, \text{ кВт}; \quad (1)$$

де: K - коефіцієнт концентрації сонячної радіації,

Y - геометричний коефіцієнт пропускання сонячної радіації фокліна;

J - щільність сонячної радіації, Вт/м<sup>2</sup>;

S - площа робочої поверхні геліоколектора, м<sup>2</sup>;

λ - коефіцієнт поглинання сонячної радіації фотоелементами;

ρ - коефіцієнт відблиску дзеркальних граней фокліна,

τ - коефіцієнт пропускання сонячної радіації скляним покриттям геліоколектора.

Геометричним коефіцієнтом пропускання називається відношення кількості сонячної енергії, що потрапляє на вхідний отвір фокліна, до кількості енергії, що виходить з вихідного отвору. Він залежить від кута падіння сонячних променів на поперечний перетин фокліна - X, а також від його параметричного кута і визначається по формулі [5],

$$Y = (\sin\alpha + \sin(\alpha - x)) / (2\sin\alpha \cos x), \quad (2)$$

Електрична потужність даного геліоколектора визначається з розрахункового співвідношення [1],

$$P = K Y J S \rho \tau \eta 10^{-3}, \text{ кВт}; \quad (3)$$

де η - КПД фотоелементів.

Виконані розрахунки показують, що на території Одеської області в літній період максимальна теплова потужність під час астрономічного півдня з 1 м<sup>2</sup> робочої площі геліоколектора складе 680-700 Вт, а його середньодобова теплова потужність буде знаходитися в районі 350 Вт. Максимальна питома електрична потужність з 1 м<sup>2</sup> робочої площі даного геліоколектора складе близько 120 Вт, а середньодобове значення цього параметра буде близько 60 Вт [1, 3].

Проблема приготування їжі в польових умовах без використання органічного палива залишається актуальною і в даний час. Зокрема, пропонувані для цієї мети різні сонячні енергоустановки, мають високу вартість, значну масу і габаритні розміри і тому незручні при транспортуванні. Для їх збірки і налаштування на місці роботи, а також подальшого демонтажу потрібний значний час. Саме тому, розроблені раніше моделі геліоустановок для приготування їжі не набули широкого поширення.

Геліонергетична установка для приготування їжі, що пропонується, може бути використана для приготування різноманітного харчування на сільськогосподарських угіддях, на присадибних ділянках, містах відпочинків, а також у важкодоступних та віддалених районах де бракує органічного палива.

Геліосистема (рис. 2) являє раму з трьома опорами (1), на котрій монтується концентратор сонячної радіації переметної геометрії, типу двогранний плоский фоклін (2). У вихідному отворі концентратора встановлено спеціальні ємкості для їжі (3 та 4), або рожен. Перша ємкість зображає герметичну закриту циліндричну капсулу для виготовлення рідкої їжі або гарячих напоїв, а друга – є жолобоподібним листом для других страв. За бажання замовника установка може комплектуватися газовою пальницею з регулятором інтенсивності горіння (5), котра монтується під днищем капсули і трубопроводом (6) з'єднується газовим балоном (7), який при необхідності закріплюється у лівій частині установки. Стоянки кріплення граней фокліна забезпечені шарнірами (8), з допомогою яких змінюють кут нахилення та коефіцієнт концентрації сонячної радіації [6].

Вночі та при хмарній погоді їжу готують, використовуючи газову запальничку.

Геліоустановка, має ряд переваг у порівнянні з вже відомими сонячними енергосистемами аналогічного призначення. Передусім це можливість готування не тільки твердої їжі, але й «перші страви» і різноманітні гарячі напої. Установка має змогу нагрівати воду для різних побутових потреб.

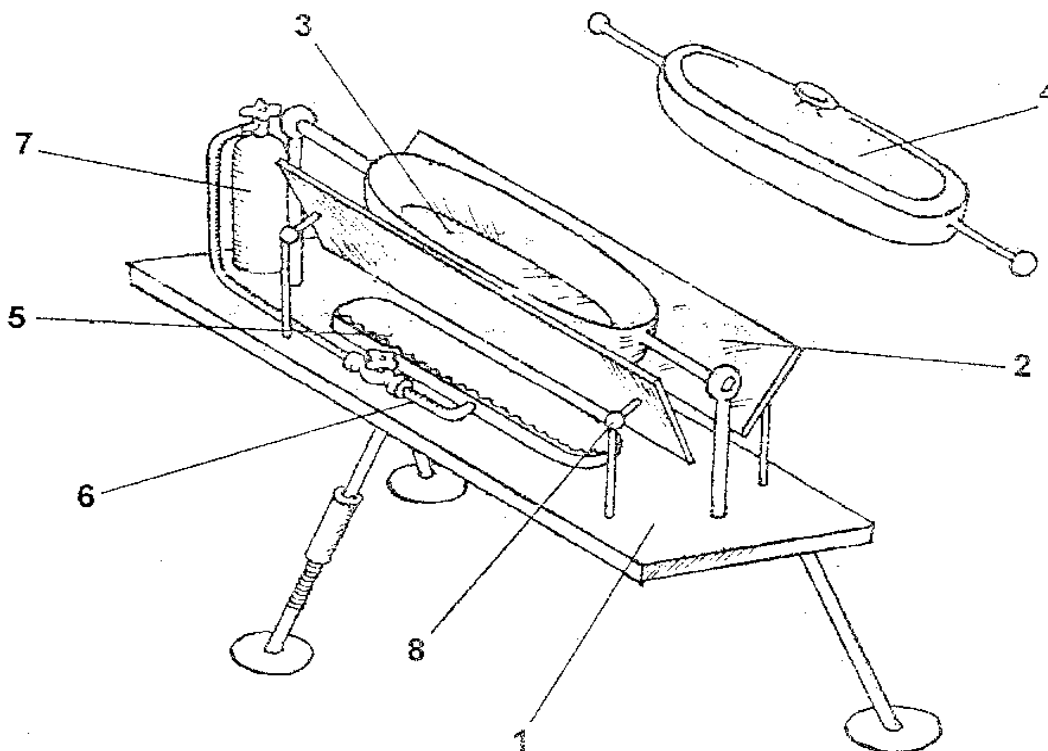


Рис. 2 – Геліоенергетична установка для приготування їжі

Концентратор перемінної геометрії дозволяє встановити режими термічної обробки їжі різної інтенсивності [6, 7]. Крім того, вона не вимагає включення в свою конструкцію систем добового стеження за положенням Сонця, що значно знижує її собівартість в порівнянні з іншими аналогічними по потужності і можливостям геліосистемами.

Легка, розбірна і у той же час проста конструкція установки робить її зручною для транспортування та при експлуатації. Час монтажу та демонтажу конструкції не перевищує п'яти хвилин. У комплект вищеприписаної геліосистеми входить спеціальний футляр, призначений для її розміщення в розібраному вигляді при перевезенні або тривалому зберіганні.

Пропонується модельний ряд, що містить три геліоустановки для готування їжі, які відрізняються розміром, функціональними можливостями та тепловою потужністю. При цьому слід зазначити, що не менше 40% деталей і вузлів для всього модельного ряду вищеприписаних геліоустановок будуть уніфікованими.

**Висновки.** Впровадження даного комплексу дозволить:

- зменшити собівартість виробництва геліоенергетичних систем приблизно на 50 % і приблизно на стільки ж підвищити їх рівень економічної рентабельності;
- спростити їх експлуатаційне обслуговування та значно збільшити ремонтпридатність;
- скоротити трудомісткість монтажу та демонтажу, зробивши тим самим геліоустановки мобільними;
- розширити сферу їх застосування.

- зробити геліосистеми сумісними як одна з одною, так і з енергетичними системами інших типів  
 - суттєво спростити завдання організації великосерійного виробництва.  
 - створювати цілі модельні ряди сонячних енергосистем різного призначення, кожен з яких включатиме декілька однакових по своєму функціональному призначенню, але різних по масі, габаритним параметрам і потужності геліоенергетичних установок.

Крім того масове використання запропонованих геліосистем забезпечить агропідприємствам і побутовим споживачам скорочення споживання органічного палива і мережевої електроенергії до 40%, що приведе не лише до зниження собівартості переробки сільськогосподарської продукції, але і до скорочення шкідливих викидів .в довкілля.

Все вищесказане дозволить реалізувати більш масове використання геліотехнічних систем як для первинної переробки агропродукції так і в інших сферах економіки, а також для побутових потреб індивідуальних користувачів чим в даний час, забезпечуючи практично всі їхні потреби в енергопостачанні у весняно-літній період.

### References

1. Khotin S.YU., Shpota O.O. (2007) Universal'ni modul'ni helioenerhetychni systemy *Tekhnichni problemy*, 2, 104-111.
2. Dzhon A. Daffi, Vil'yam A. Bekman. (2013) *Heliotekhnika teplovykh protsesiv*. Hoboken, New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., , 888 p.
3. Khotin S.Yu. (2008) Enerhopostachannya ob'yektiv infrastruktury mors'kykh portiv i terminaliv za rakhunok sonyachnoyi enerhiyi II *mizhnarodna naukovo-praktychna konferentsiya «Suchasni porty – problemy ta shlyakhy vyryshennya»*. Tezy dopovidey. Odesa-Stambul., 102-105.
4. Nemykina O.V. (2020.) *Vidnovlyuvani ta al'ternatyvni dzhherela enerhiyi. Dlya studentiv spetsial'nosti 141 Elektroenerhetyka, elektrotekhnika ta elektromekhanika*, NU «Zaporiz'ka politekhnika», 188 s.
5. S.Yu. Khotyn, V. M. Palahuta, B. I. Strykytsa (2003) Perspektivni proekty kontsentruiyuchykh sonyachnykh enerhosystem [Prospective designs of concentrating solar energy systems] *Tekhnichni problem*, 3, 46-53.
6. Khotin S.YU. (2000) Helioenerhetychna ustanovka dlya pryhotuvannya yizhi v pol'ovykh umovakh [Helioenergy installation for cooking food in field conditions]. *Ahrarnyi vysnik Prychornomia*, 3 (11), 133-137.
7. Mysak YU. S. (2014) *Sonyachna enerhetyka [Solar energy]*. L'viv: L'vivs'ka politekhnika, 340

## COMPLEX OF MODULAR HELIO ENERGY INSTALLATIONS FOR PRIMARY PROCESSING OF AGRICULTURAL PRODUCTS

Palaguta V.M., PhD, Associate Professor, Peretiaka S.M., PhD, Associate Professor,  
 Khotin S.Y., PhD, Associate Professor, Savchuk Y. V. sn. lecturer; Kotenko O.V., sn. lecturer  
 Odessa National Maritime University

**Abstract.** *The work is devoted to the solution of the currently topical problem of introduction into mass production and operation of solar energy systems for the primary processing of agricultural products. Technological processes related to the processing of agricultural products are often quite energy-intensive and require significant consumption of thermal and electrical energy, which have a high cost. Therefore, their replacement with solar radiation energy could give a significant economic effect.*

*Solar energy systems are able to satisfy a wide range of consumer needs, primarily in the field of production and processing of agricultural products, such as hot water supply, heating, drying of agricultural products and various materials, etc.*

*However, today, solar power plants are rarely used to provide energy for the aforementioned technological processes. One of the main reasons for this is the absence of a single system of standardization and unification of solar thermal energy systems. In order to solve this problem, this paper proposes a complex of modular solar energy systems intended for energy supply to consumers of the agro-industrial sector of the economy.*

*It is a universal set of unified modules and blocks, by means of which it will be possible to assemble solar energy systems that differ in functional purpose, power, thermal parameters and overall dimensions. A characteristic feature of this complex will be its high mobility, multifunctionalness, a wide range of technological adjustments, convenience and easiness of operation and maintenance, as well as a relatively low cost.*

*Implementation of this complex will allow to:*

- *reduce the production cost of solar energy systems by approximately 50% and increase their economic profitability by approximately the same amount;*
- *simplify their operational maintenance and reduce the labor-intensiveness of installation and dismantling, thus making solar installations mobile;*

- expand the field of their application;
- significantly simplify the task of organizing multi-series production;
- create continuous model series of solar energy systems of various purposes, each of which will include several solar power plants that are identical in terms of their functional purpose, but different in terms of mass, dimensions and capacities.

Mass use of the proposed solar systems will provide agricultural enterprises and household consumers with a reduction in the consumption of organic fuel and network electricity, which will lead not only to reduction in the cost of processing agricultural products, but also to reduction in harmful emissions into the environment.

**Keywords:** solar energy systems, complex, solar collector, concentrator, energy, heat receiver, foklin, installation, food, production

#### Список використаної літератури

1. Хотін С.Ю., Шпота О.О. Універсальні модульні геліоенергетичні системи // Проблеми техніки. 2007 № 2. С. 104-111.
2. John A. Duffie William A. Beckman. Solar Engineering of Thermal Processes: Training and Reference Manual. Published by John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2013, 888 с.
3. Хотин С. Ю. Энергоснабжение объектов инфраструктуры морских портов и терминалов за счёт солнечной энергии // II международная научно-практическая конференция «Современные порты – проблемы и решения». Тезисы докладов. Одеса-Стамбул. 2008. С. 102-105.
4. О.В. Немикіна Поновлювальні та альтернативні джерела енергії. Для студентів спеціальності 141 Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка: навч. посібник // Запоріжжя : НУ «Запорізька політехніка», 2020, 188 с.
5. Хотин С. Ю., Палагута В.М., Стрикица Б. И. Перспективные конструкции концентрирующих гелиоэнергетических систем // Проблеми техніки. № 3. 2003., С. 46-53.
6. Хотін С.Ю. Геліоенергетична установка для приготування їжі у польових умовах // Аграрний виснік Причорномор'я: збірник наук праць. Одеський ДСГП. Одеса. Випуск № 3 (11). 2000., С 133 -137.
7. Мисак Й. С. Сонячна енергетика. Видавництво: Львівська політехніка, 2014, 340 с.

Отримано в редакцію 29.06.2023

Прийнято до друку 29.11.2023

Received 29.06.2023

Approved 29.11.2023