

УДК 620.92: 620.93

**Д. О. Пупков**

Одеська національна академія харчових технологій, вул. Канатна, 112, Одеса, 65039, Україна

**ПЕРЕНОСНИЙ ПАРАБОЛОЦИЛІНДРИЧНИЙ СОНЯЧНИЙ НАГРІВАЧ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ. ЧАСТИНА 2**

*В роботі продовжується розглядання розробки параболо-циліндричного сонячного нагрівача, призначеного для приготування та розігріву харчових продуктів, з використанням сонячної енергії. Розглянуто недоліки даного типу сонячного нагрівача та методику рішення поставлених задач. Представлено зручну конструкцію нагрівача та особливості розрахунків основних геометричних параметрів параболо-циліндричного сонячного нагрівача. Наведено порівняння з існуючими прототипами.*

**Ключові слова:** Параболоциліндричний рефлектор; Апертура; Сонячна інсоляція; Короткофокусні, середньофокусні, довгофокусні дзеркала.

**Д. О. Пупков**

Одесская национальная академия пищевых технологий, ул. Канатная, 112, Одесса, 65039, Украина

**ПЕРЕНОСНОЙ ПАРАБОЛОЦИЛИНДРИЧЕСКИЙ СОЛНЕЧНЫЙ НАГРЕВАТЕЛЬ ПРОДУКТОВ ПИТАНИЯ. ЧАСТЬ 2**

*В работе продолжается рассмотрение разработки параболоцилиндрического солнечного нагревателя, предназначенного для приготовления и разогрева продуктов питания, с использованием солнечной энергии. Рассмотрены недостатки данного типа солнечного нагревателя и методика решения поставленных задач. Показана удобная конструкция нагревателя и представлены особенности расчетов основных геометрических параметров параболо-цилиндрического солнечного нагревателя. Приведено сравнение с существующими прототипами.*

**Ключевые слова:** Параболоцилиндрический рефлектор; Апертура; Солнечная инсоляция; Короткофокусные, Среднефокусные, Длиннофокусные зеркала.



This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>

**ВСТУП**

Сонячний концентратор являє собою оптичний пристрій у вигляді лінз або дзеркал, де забезпечується збільшення густини потоку сонячного випромінювання. На сьогоднішній день подібне обладнання використовує плоскі дзеркала, параболоциліндричні або параболоїдні – вони створюються з металевого тонкого листа або фольги.

Для концентраторів (колекторів), що фокусують сонячне світло, застосовують дзеркальні поверхні, які накопичують сонячну енергію на спеціальному поглиначі, званому «теплоприймач». Температура, властива цьому обладнанню, набагато більше, ніж на плоских колекторах, але вони здатні концентрувати виключно сонячне пряме випромінювання, що є причиною поганих показників у хмарну або туманну погоду. Наявність дзеркальної поверхні надає можливість сфокусувати сонячне світло, який відображається з великої поверхні, на невелику поверхню абсор-

бера, за рахунок чого можна домогтися високої температури. У різних моделях випромінювання Сонця може концентруватися в фокусній точці або в уздовж фокальної тонкої лінії. Рідина-теплоносій рухається по приймачу і відповідає за поглинання тепла. Слід зауважити, що експлуатація таких колекторів-концентраторів найбільш придатна для районів, що характеризуються підвищеною інсоляцією в пустельних районах і близько до екватора.

Концентратори краще функціонують тоді, коли вони спрямовані на Сонце. З цією метою застосовуються спеціальні пристрої, що стежать, тобто повертають протягом дня колектор до Сонця «обличчям». Одновісні пристрої, що спостерігають, обертаються з сходу на захід; двоосні – з півночі на південь і зі сходу на захід (це надає можливість спостерігати за рухом Сонця протягом круглого року). Концентратори застосовуються переважно в промислових установках, оскільки вони відрізняються високою вартістю, а пристрої, що стежать, вимагають безперервного рете-

льного догляду. В окремих сонячних побутових енергосистемах застосовуються параболічні концентратори (рисунок 1). Подібне обладнання використовується з метою забезпечення гарячого водопостачання, очищення води та опалення. У побутових системах використовуються переважно одновісні пристрої, що стежать, – вони простіші двоосних і набагато дешевші. Що стосується ціни на ці пристрої, то варто зауважити, що сонячні концентратори є більш вигідними з економічної точки зору, якщо порівнювати їх із звичайними сонячними батареями.



Рисунок 1 – Параболічний концентратор сонячної енергії

До недоліків сонячних концентраторів можна віднести значні за площею затінення землі, що зрештою стає причиною істотних змін рослинності, ґрунтових умов. Негативний екологічний вплив в області розміщення станції здатний викликати нагрівання повітря під час проходження крізь нього випромінювання Сонця, яке концентрується дзеркальними відбивачами. Надалі це може привести до зміни вологості, теплового балансу, напрямку вітрів, а також викликати загоряння і перегрів систем, які застосовують концентратори. Використання низькокиплячих рідин та їхній неминучий витік з енергетичних сонячних систем під час тривалої експлуатації є причиною істотного забруднення питної води. Найбільшу небезпеку становлять такі рідини, які містять нітрити і хромати, що представляють собою високотоксичні речовини.

## II. ОСНОВНА ЧАСТИНА

### Чутливість параболо-циліндричного сонячного нагрівача до орієнтації на Сонце

Чутливість параболо-циліндричного сонячного нагрівача до орієнтації на Сонце виражається часом ефективної роботи  $\tau$  в зафіксованому положенні без

коригування. Цей час відрізняється для різних варіантів параболо-циліндричних дзеркал і діаметра теплоприймача (порції продукту). Враховуючи поворот сонячного диска на  $15^\circ$  кожену годину, запишемо вираз:

$$\tau = \frac{\beta * 60}{15}, \quad (1)$$

де  $\beta$  – кут проходження відбитого від деякої точки поверхні параболі променя від початкової точки дотику до продукту до кінцевої за годину

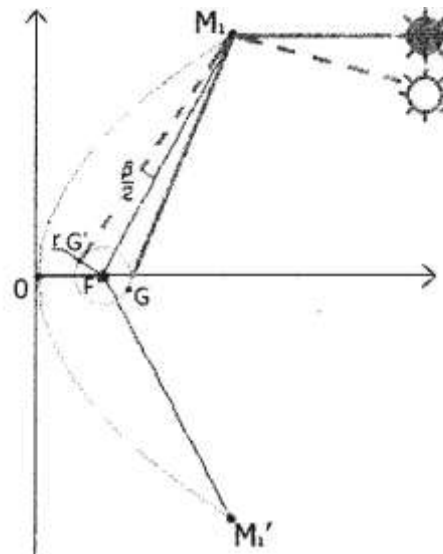


Рисунок 2 – Схема сонячного нагрівача з короткофокусним параболічним дзеркалом

3  $\Delta GM_1F$  знаходимо значення  $\beta$ :

$$\beta = 2 \arcsin \frac{r}{M_1F} \quad (2)$$

### Чутливість короткофокусного параболо-циліндричного сонячного нагрівача

Радіус порції продукту  $r = 20$  мм, довжина бокової фокусує спиці  $M_1F = 502$  мм; центральної -  $OF = 125,5$  мм. Максимальний час ефективної роботи ПСН виражається тривалістю торкання продукту променем, відбитим від точки на краю параболі.

Для крайньої точки за формулами:

$$\beta = 2 \cdot \arcsin \frac{20}{502} = 4,56^\circ$$

$$\tau = \frac{4,56 * 60}{15} = 18,24 \text{ хв}$$

Для центра:

$$\beta = 2 * \arcsin \frac{20}{125,5} = 18,34^\circ$$

$$\tau = \frac{18,34 * 60}{15} = 73,36 \text{ хв.}$$

У результаті, можна зробити висновок, що короткофокусні параболоциліндричні дзеркала менш чутливі до орієнтації на Сонце. У нашому випадку повноцінна робота всієї поверхні короткофокусного дзеркала може тривати 18,24 хв ( $r = 20$  мм), а довгофокусного – 13,92 хв. При цьому відношення знімаються енергій:

$$\frac{E_K}{E_D} = \frac{MM'_K * \tau_K}{MM'_D * \tau_D} = \frac{869,46 * 18,24}{1139,5 * 13,92} = 0,99 \quad (3)$$

Набір потужності за рахунок збільшення розмірів рефлектора призводить до скорочення часу ефективної роботи без зміни орієнтації. наприклад:

$$M_1 F = 500 \text{ мм}, r = 20 \text{ мм}, \beta = 4.6^\circ, \tau = 18 \text{ хв.},$$

$$M_1 F = 1000 \text{ мм}, r = 20 \text{ мм}, \beta = 2.3^\circ, \tau = 9 \text{ хв.}$$

Розмір порції продукту також впливає на  $\tau$  пропорційно квадрату діаметра (обсягом / масі циліндричного продукту). Так, якщо ми хочемо приготувати продукт з  $r = 10$  мм, тоді буде пропорційно зменшуватися. Отже, для кожного продукту можна знайти оптимальний діаметр, щоб він готувався за один захід без коригування орієнтації

## Технологія виробництва

1. *Рефлектор.* Виробництво ПСН починається з армування ПВХ-листа сталевими прутами шляхом склеювання їх з краями аркуша. Потім за розрахованими розмірами розкреслюють отвори під кріплення. Для жорсткості з'єднання на ці місця наклеюються шайби і тільки потім проробляються отвори. Наступний етап – це наклеювання на лист дзеркального покриття. Захисну плівку з дзеркала відразу знімати не варто, так як воно може подрпатися ще до закінчення виготовлення пристрою.

2. *Фокусують шайби.* Шайби служать напрямними для спиць. Разом вони складають фокусуючу систему. Таких шайб потрібно дві. Вони практично однакові і мають тільки одну відмінність (рис.3): у верхню шайбу вільно вставляється шампур, а нижня служить йому упором. Матеріалом для виготовлення фокусуючих шайб найкраще служить пластик. Він має невелику масу і його легко обробляти. Заготовки розкреслюють під п'ять спиць. З одного боку проробляються отвори до половини товщини шайби, утворюючи гнізда. Після висвердлювання, гнізда треба округлити шліфувальним бором для подальшої посадки туди кульок. Потім з іншого боку пропилюються напрямні жолобки такої глибини, що б спиця ставала чітко паралельно площині шайби. Посадочне місце висвердлюється з торця шайби у глибині жолобка. Воно має той же діаметр що і спиця. Ширина жолоб-

ка трохи менше товщини спиці, що забезпечує надійне замикання і фіксацію. У верхній шайбі по центру проробляється отвір під шампур, а в нижній - фіксує пази.

3. *Фокусують спиці.* У кожен шайбу вставляється п'ять спиць: дві бічні, дві додаткові та фокусна. Спиці, виготовлені з нержавіючої сталі, згинають лист, надаючи йому параболічну форму. За виробленими розрахунками відрізається потрібна довга спиця, один край якої загинається під певним кутом, розрахованим для перпендикулярного закріплення щодо дотичній до параболи в точці кріплення. Фокусна спиця залишається прямою, так як вона збігається з віссю симетрії параболи. На вигнутий край спиці, за допомогою нарізного сполучення, нагвинчується засувка. Прямий кінець спиці протягується через гніздо в шайбі. Потім на нього накручується пластиковий кульок, того ж діаметру що і гніздо в шайбі.

4. *Ніжки і штирі.* ПСН встановлюється на землі за допомогою: двох задніх ніжок, двох передніх і двох задніх штирів і основного штиря. Основний штир закручується в нижню шайбу і є опорним елементом несучої конструкції. Всі інші, крім опорної функції, служать для налаштування орієнтації на Сонце. Задні ніжки і все штирі мають той же діаметр що і прутки на ребрах рефлектора. Для рухливості з'єднань всі прутки скріплюються між собою кембриками. Щоб уникнути швидкого зношування вони посилені пружинками. Такий механізм забезпечує можливість складання пристрою. Аналогічно кріпляться передні і задні штирі, які встромляються в ґрунт.

5. *Розпірки.* Для забезпечення жорсткості конструкції (при зміні кута нахилу відносно горизонту) необхідно її підсилити декількома розпірками. Вони виготовлені з того ж матеріалу що і фокусують спиці. Фокусна розпірка 1 (рисунк 3) розташовується між шайбами на достатній відстані від шампура з продуктом. Коса розпірка 2 встановлюється по діагоналі між фокусними спицями, що виключає спотворення рефлектора від зсуву центру тяжіння.

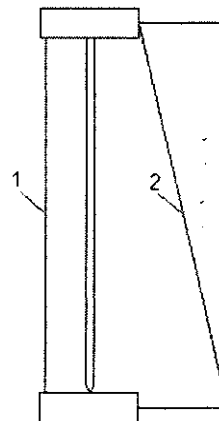


Рисунок 3 – Спрощений вид збоку:  
1 – фокусна розпірка, 2 – коса розпірка.

6. *Шампур*. Шампур повинен бути рівним і без верхнього вушка. Його можна переробити зі стандартного. У верхній частині шампура передбачена розкладна ручка для провертання і перенесення.

7. *Інше*. Після зняття захисної плівки з дзеркала воно стає чутливим до забруднень і найменшим частинкам, які можуть його подряпати. Це призводить до зменшення відбиває здатності рефлектора. Тому потрібно після кожного використання накривати дзеркало якийсь м'якою волокнистою матерією. Вона згортається разом з дзеркалом у рулон і так і зберігається. Для зберігання всіх елементів установки можна використовувати креслярський тубус або просто ганчірковий чохол.

### Проведення експерименту

Експеримент був проведений 20 квітня 2011 року в м. Одеса на березі Чорного моря.

Початкові заміри температури проведено о 12:10:

- Пісок – 14°C;
- Повітря – 19°C;
- Продукти – 20°C (сосиски на середньофокусному ПСН).

Через 3 хвилини сосиски прогрілися до 22°C (показання тестера). Потім періодично з інтервалом близько 3 хвилин температура падала на 1 градус до 18°C і через хвилину знову почала зростати. Причина тепловтрат – сильний вітер. Далі через 20 хвилин на середньофокусному ПСН зняли такі показання:

- I сосиска прогрілася до 46 градусів;
- II сосиска прогрілася до 46 градусів;
- III сосиска прогрілася до 32 градусів.

Через 10 хвилин:

- I сосиска прогрілася до 64 градусів;
- II сосиска прогрілася до 64 градусів;
- III сосиска прогрілася до 60 градусів.

У проміжку 12:30-12:40 годин на середньофокусний колектор поставили шампур з сардельками, вони прогрілися до 26°C. Через 12-15 хвилин сосиски прогрілися до 47 градусів, а з протилежного боку до 57 градусів. У той же час на великому короткофокусному ПСН сосиски прогрілися до 30 градусів, хліб до 40 градусів, банан до 24°C. За час 12:50-12:55 сосиски прогрілися від 40°C (зовнішня сторона) до 60°C (внутрішня сторона), банан до 50°C, товста сосиска – 63°C (внутрішня сторона) і 52°C зовнішня сторона, хліб до 50°C, сосиска до 64°C.

### ВИСНОВКИ

На підставі проведеного експерименту можна впевнене заявити, що даний пристрій придатний для розігріву продуктів (сосиски, хліб, фрукти і овочі). Але він поки не зарекомендував себе в якості засобу для приготування їжі, через великі конвективні втрати. З упевненістю можна заявити, що при більш теплій, спокійній погоді установка може видавати в два рази більше теплової потужності, а час розігріву (приготування) продуктів значно скоротиться.

### ЛІТЕРАТУРА

1. **Твайделл, Дж.** Відновлювані джерела енергії: Пер. з англ. / Дж. Твайделл, А. Уейр. // – М.: Енергоатоміздат, 1990 – 392 с.: іл.
2. Довідник з математики для інженерів і учнів ВТУ-Зів. Бронштейн І.М., Семендяев К.А. – М.: Наука. Головна редакція фізико-математичної літератури, 1981.
3. **Бекман У.** Розрахунок систем сонячного теплопостачання: Пер. з англ. / У. Бекман, С. Клейн, Дж. Даффі. – М.: Вища школа, 1982. – 80 с.
4. **SOLAR COOKERS** How to make, use and enjoy. 10<sup>th</sup> ed, 2004. [Електронний ресурс]. Режим доступу: <http://solarcookers.org>.
5. **Харченко Н. В.** Індивідуальні сонячні установки. / Н. В. Харченко. – М.: Вища школа, 1991. – 208 с.: іл.
6. **Клімачева Т. Н.** 2D-креслення в AutoCAD 2007-2010. Самовчитель. / Т. Н. Клімачева. – М.: ДМК Пресс, 2009. – 560 с.: іл.
7. **Соколова Т. Ю.** AutoCAD для студента. Самовчитель. / Т. Ю. Соколова. – СПб.: Пітер, 2008. – 384 с.: іл.
8. **Кузнєцов П. О.** Організаційна надійність управління ресурсним забезпеченням при перебудові аварійних об'єктів. / П. О. Кузнєцов // – Житлове будівництво. – 2006. – № 1. – С. 5-6.
9. **Осадчий Г. Б.** Нетрадиційні варіанти хладотеплонабження будівель / Г. Б. Осадчий // Технологія машинобудування. – 2004. – № 1. – С. 50-54.
10. **Осадчий Г. Б.** Сонячна енергія, її похідні та технології їх використання (Введення в енергетику ВДЕ). / Г. Б. Осадчий. – Омськ: ІПК Макшеевой Е.А., 2010. – 572 с.
11. **Копилов А. Є.** Економічні аспекти вибору системи підтримки використання поновлюваних джерел енергії в Росії / А. Є. Копилов. – Енергетик. – 2008. – № 1 – С. 7-10.

Отримана в редакції 07.06.2016, прийнята до друку 08.09.2016

**D. O. Pupkov**

Odessa National Academy of Food Technologies, 112 Kanatnaja str., Odessa, 65039, Ukraine

## THE PORTABLE PARABOLA-CYLINDRICAL SOLAR FOODSTUFFS HEATER. PART 2

*Development of a parabola-cylindrical solar heater designed for heating and cooking food using solar energy is presented in the study. The design consists of a reflector, as parabola-cylindrical lens and receiver as skewers for food. Reflector is made of flexible materials but also has an advantage - resistance to external influences. Simple mount design allows collecting the heater into the drawing tube, the weight of which doesn't exceed three kilograms, making the device convenient for transportation and in use. This is a special device due to which it is possible to concentrate solar radiation in the desired point and to reach the necessary temperatures suitable for heating and cooking of foodstuffs. The heater comfortable design has been shown and calculation features of basic geometric parameters of the parabola-cylindrical solar heater are given. The comparison with existing prototypes is given.*

**Keywords:** *Parabola-cylindrical Reflector; Aperture; Solar radiation; Short-focal; Medium-focal; Length-focal.*

### REFERENCES

1. **Twidell, G., Were, A.** (1990). Vidnovliuvani dzherela energii: Per. z angl., Moscow: Energoatomizdat, 392 p.
2. **Bronshtein, I. N., Semendyaev, K. A.** (1981). Handbook of mathematics for engineers and students of polytechnics. – Moscow, Science.
3. **Beckman, W., Klein, S., Daffi, J.** (1982). *Calculation of solar heating*. Per. z angl., Moscow, 80 p.
4. SOLAR COOKERS: How to make, use and enjoy. 10th ed, 2004. [Electronic source]. Available at: <http://solarcookers.org>. Date of access: 14.01.2016.
5. **Kharchenko, H. B.** (1991). Individualni soniachni ustanovki. Moscow, 208 p.
6. **Klimacheva, T. N.** (2009). 2D-kreslennya v AutoCAD 2007-2010. Samovchitel. Moscow: DMK Press, 560 p.
7. **Sokolova, T. Yu.** (2008). AutoCAD dlya studenta. Samovchitel., S.-Pb.: PIter, 384 p.
8. **Kuznetsov P. O.** (2006). Organizatsiina nadiynist upravlinnia resursnym zabezpechenniam pry perebudovi avariinikh obektiv. *Zhitlove budivnitstvo*. No 1, 5-6.
9. **Osadchiy G. B.** (2004). Netraditsiyni varianti khladoteplosnabzheniya budivel. *Tekhnologiia mashinobuduvannia*. No. 1, 50-54.
10. **Osadchiy G. B.** (2010). Soniachna energiya, ii pokhidni ta tekhnologii kih vykorystannia. (Vvedennya v energetiku VDE). Omsk: IPK Maksheievoi E. A., 572 p.
11. **Kopilov A. E.** (2008). Ekonomichni aspekty vyboru systemy pidtrymky vykorystannia ponovliuvanikh dzherel energii v Rosii. *Energetik*, No. 1, 7-10.

Received 07 June 2016

Approved 08 September 2016

Available in Internet 30 October 2016