

УДК 621.311.243

О.В. АНДРОНОВА, В.В. КУРАК
Херсонський національний технічний університет**СОЛЯЧНА ПІЧ НА ОСНОВІ ПАРАБОЛОЇДНОГО КОНЦЕНТРАТОРА**

Розроблено сонячну піч з параболоїдним рефлектором. Теоретично та експериментально досліджено параметри концентратора сонячної енергії та сонячної печі на його основі. Показано, що сонячна піч з параболоїдним рефлектором в кліматичних умовах півдня України має параметри не гірші, ніж у аналогів, що використовуються в країнах тропічного і субтропічного поясів. Наведено оцінки економії традиційного палива при експлуатації сонячної печі за сезон з травня по вересень.

Ключові слова: сонячна піч, параболоїдний рефлектор, концентратор, сонячна радіація.

Е.В. АНДРОНОВА, В.В. КУРАК
Херсонский национальный технический университет**СОЛНЕЧНАЯ ПЕЧЬ НА ОСНОВЕ ПАРАБОЛОИДНОГО КОНЦЕНТРАТОРА**

Разработана солнечная печь с параболоидным рефлектором. Теоретически и экспериментально исследованы параметры концентратора солнечной энергии и солнечной печи на его основе. Показано, что солнечная печь с параболоидным рефлектором в климатических условиях юга Украины имеет параметры не хуже аналогов, используемых в странах тропического и субтропического поясов. Представлены оценки экономии традиционного топлива при эксплуатации солнечной печи в течение сезона с мая по сентябрь.

Ключевые слова: солнечная печь, параболоидный рефлектор, концентратор, солнечная радиация.

E.V. ANDRONOVA, V.V. KURAK
Kherson National Technical University**SOLAR COOKER BASED ON THE PARABOLIC CONCENTRATOR**

The solar cooker with a parabolic reflector is developed. Theoretical and experimental investigations of concentrator and solar cooker parameters are carried out. It is shown, that in climatic conditions of the south of Ukraine the solar cooker with a parabolic reflector has parameters comparable with analogues used in the countries of tropical and subtropical zones. Estimation data on traditional fuel economy for the solar cooker operation period from May to September are pointed out.

Keywords: solar cooker, parabolic reflector, concentrator, solar radiation.

Постановка проблеми

Останнім часом на фоні підвищення вартості традиційних енергоносіїв спостерігається стійка тенденція до зниження собівартості „зеленої” енергії, яку отримують від поновлюваних джерел, що зумовлює зростання темпів впровадження установок нетрадиційної енергетики.

Одним зі шляхів зменшення собівартості енергії, отриманої шляхом перетворення сонячного випромінювання, є застосування оптичних концентраторів. Так, у випадку теплового перетворення сонячної енергії, використання концентраторів дозволяє підвищити температуру робочого тіла і тим самим збільшити термодинамічний к.к.д. В разі фотоелектричного перетворення сонячного випромінювання застосування концентраторів дозволяє не тільки підвищити ефективність, але й знизити вартість установки за рахунок зменшення площі сонячних елементів [1].

Застосування концентраторів поширене переважно на потужних сонячних теплових та електричних станціях. В той же час установки малої потужності зазвичай працюють з неконцентрованим сонячним випромінюванням, хоча є перспективи використання концентраторів і для побутових перетворювачів, зокрема в сонячних печах [2].

Аналіз останніх досліджень і публікацій

Сонячна піч являє собою параболоїдний рефлектор і підставку для посуду, розташовану у фокусі печі. Параболоїд відноситься до високопотенційних концентраторів зі ступенем концентрації вище 10^4 крат, що дає можливість досягнення високих температур у фокальній площині. Ідеальний параболоїдний концентратор фокусує паралельний пучок променів у точку, що відповідає безкінечно великому ступеню концентрації. Врахування кутового розміру Сонця приводить до зміни моделі роботи ідеального концентратора, при якій відбиті від поверхні рефлектора промені збираються у фокальну пляму у вигляді еліпса. При цьому середній коефіцієнт концентрації у фокальній площині становить

11300 крат. Реальні параболоїдні концентратори забезпечують менші значення коефіцієнту концентрації через наявність локальних геометричних неточностей дзеркал [3, 4].

Параболоїдний рефлектор виготовляють з листової сталі, полірованого алюмінію, дзеркального пластику або з безлічі маленьких плоских дзеркал, прикріплених до внутрішньої поверхні параболоїда. Залежно від фокусної відстані, яка для сонячних печей становить від 0,3 до 5 м, рефлектор може мати заглиблену форму, в яку повністю занурюється ємність з їжею (посуд захищений від вітру) (рис.1, а) або більш плоску, якщо ємність встановлюється на певній відстані від рефлектора (рис.1, б, в).

Діаметр параболоїдного концентратора розраховується виходячи з необхідної потужності сонячної печі та наявної кількості сонячної радіації. Для сучасних конструкцій він становить від 0,5 м до 8 м [5, 6].

Площа поверхні рефлектора для сонячних печей індивідуального використання зазвичай становить від 1 до 2 м² та залежить від кількості сонячної радіації, що надходить, тобто від широти місцевості, де використовується дана піч. Крім того, площа рефлектора визначає потужність сонячної печі, а отже, і час приготування їжі. Наприклад, для печі площею 1 м² на широті 40 - 45 ° пн. ш. для приготування порції на чотирьох осіб потрібно 15 - 20 хв. на приготування омлету, 45 - 60 хв. на варіння рису, 1,5 - 2 год. для приготування смаженого м'яса [7].

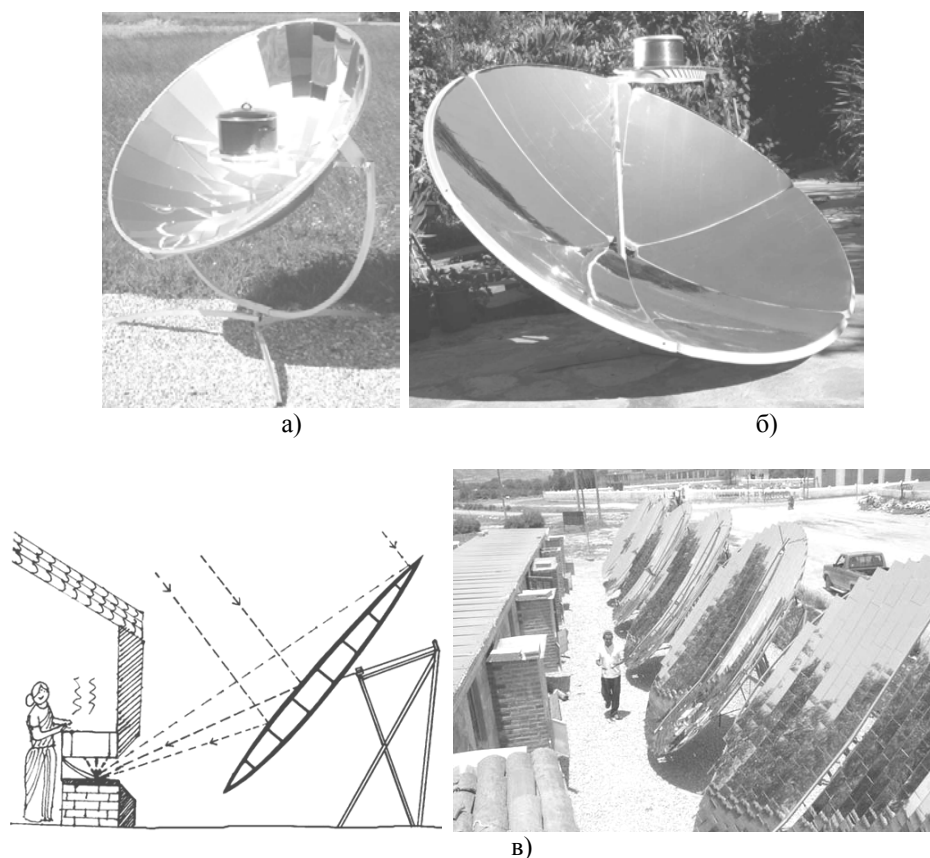


Рис. 1. Конструкції сонячних печей з параболоїдним рефлектором: а) з малою фокусною відстанню; б) з довгою фокусною відстанню для індивідуального використання; в) з довгою фокусною відстанню для громадського використання

Максимальна температура приймача сонячної печі коливається від 200°C для індивідуальних установок до 650°C для сонячних печей громадського використання. Середня температура відповідно становить 150 °C та 450 °C [5]. Цього достатньо для розігрівання, варіння, смаження їжі, а також для випічки.

Теплова потужність сонячної печі визначається кількістю сонячної радіації, що надходить на поверхню рефлектора, а також тепловим к.к.д. печі. Підраховано, що до 20% тепла витрачається на прогрівання їжі до температури закипання, до 35% тепла – на випаровування води, а конвекційні втрати становлять до 45%. Тому тепловий к.к.д. сучасних сонячних печей знаходиться в межах від 20 до 50%, а теплова потужність для індивідуальних установок не перевищує 600Вт [5, 8].

Особливості використання даних печей пов'язані з тим, що сонячні печі на основі концентратора використовують пряму складову сонячного випромінювання і для забезпечення ефективної експлуатації

повинні постійно повертатися за Сонцем. Рекомендовано проводити корегування положення печі кожні 15 хв.

Найбільш поширене використання сонячних печей на основі концентраторів у країнах тропічного і субтропічного поясів, де на протязі року переважають ясні сонячні дні [8]. Для помірних широт використання зазвичай обмежено теплим періодом року з максимальним надходженням прямої сонячної радіації.

Формулювання мети дослідження

Метою даної роботи є оцінка можливості використання сонячних печей концентраторного типу в умовах півдня України.

Викладення основного матеріалу дослідження

Середня інтенсивність прямої сонячної радіації в напрямку потоку для умов м. Херсон і періоду експлуатації з травня по вересень становить 335 Вт/м^2 [9]. В якості вхідних параметрів до розрахунку конструкції рефлектора сонячної печі було задано питому потужність печі 250 Вт/м^2 та час закипання 1 л води 20хв. На основі цих параметрів обчислено необхідну площу сонцесприймаючої поверхні, яка становить $0,78 \text{ м}^2$, відповідно діаметр - 1м.

При розрахунку форми утворюючої рефлектора обрано коротку фокусну відстань 22см, яка дозволяє зменшити конвекційні втрати з поверхні посуду завдяки вітровому затіненню корпусом концентратора. Регулювання кута нахилу сонцесприймаючої поверхні рефлектора реалізовано за рахунок зміни кута встановлення тильного опорного елементу. Утримувач посуду виконано у вигляді окремої конструкції не пов'язаної з корпусом рефлектора (рис. 2). Це дозволило змінювати розташування ємності відносно фокальної плями і, таким чином, регулювати температуру приготування їжі.

В якості відбиваючої поверхні концентратора використано дзеркальну плівку Oqacal 351, що розрахована на зовнішні умови експлуатації в робочому інтервалі температур від $-40 \text{ }^\circ\text{C}$ до $120 \text{ }^\circ\text{C}$. Визначення коефіцієнту відбиття плівки в видимому та ближньому інфрачервоному діапазоні проводилося за допомогою фотометра відбиття ФО-1. Інтегральний коефіцієнт відбиття плівки Oqacal 351 в діапазоні довжин хвиль від 400 до 927 мкм становив 83,5%.

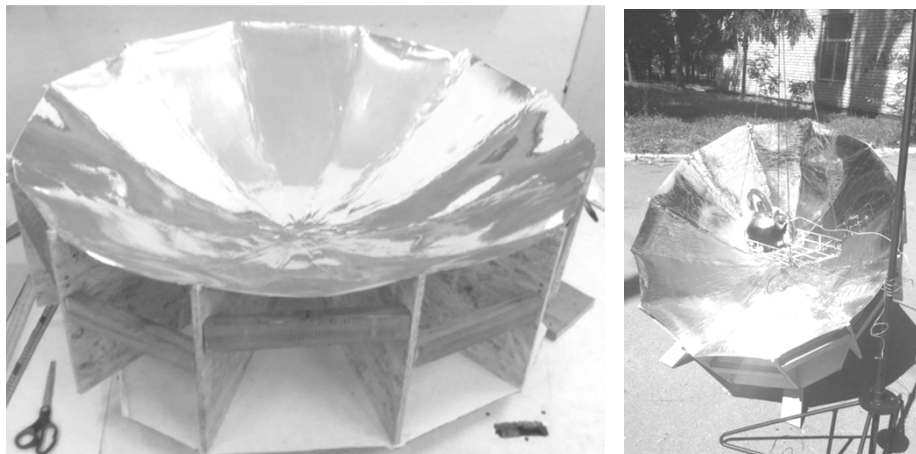


Рис. 2. Сонячна піч концентраторного типу

Визначено теоретичні та експериментальні параметри параболоїдного рефлектора та сонячної печі на його основі. Випробування проводили 10 червня 2015 р. в умовах безхмарного неба при середній швидкості вітру 1 м/с. Розміри фокальної плями вимірювали пропалюванням дерев'яної пластини, а параметри сонячної печі визначали, виходячи з часу закипання 1л води.

Теоретичне значення площі фокальної плями концентратора $1 \cdot 10^{-4} \text{ м}^2$ відрізняється від експериментально отриманого $3,2 \cdot 10^{-3} \text{ м}^2$, що пояснюється геометричними неточностями відбиваючої поверхні. Неточність відтворення форми утворюючої також призводить до зменшення реального геометричного коефіцієнта концентрації до 244 крат, середнього коефіцієнта концентрації до 143, а також до зменшення реального к.к.д. рефлектора до 0,59 проти теоретичного значення 0,80 (табл.1).

Таблиця 1

Параметри рефлектора

Фокусна відстань, м	0,22
Площа приймальної поверхні, м^2	0,78
Велика напіввісь фокальної плями, м	0,04

Продовження таблиці 1

Мала напіввісь фокальної плями, м	0,03
Площа фокальної плями, м ²	$3,2 \cdot 10^{-3}$
Геометричний коефіцієнт концентрації	244
Коефіцієнт концентрації	143
к.к.д.	0,59

Параметри сонячної печі на основі розробленого рефлектора визначались за результатами випробувань в натурних умовах. Під час випробувань вимірювали час закипання 1 л води в різні часові проміжки з 9.00 до 16.00. Надходження сонячної радіації розраховувалось на основі даних, наведених в [9]. Отримані з аналізу експериментальних даних значення питомої потужності та теплового к.к.д. сонячної печі представлено в табл. 2.

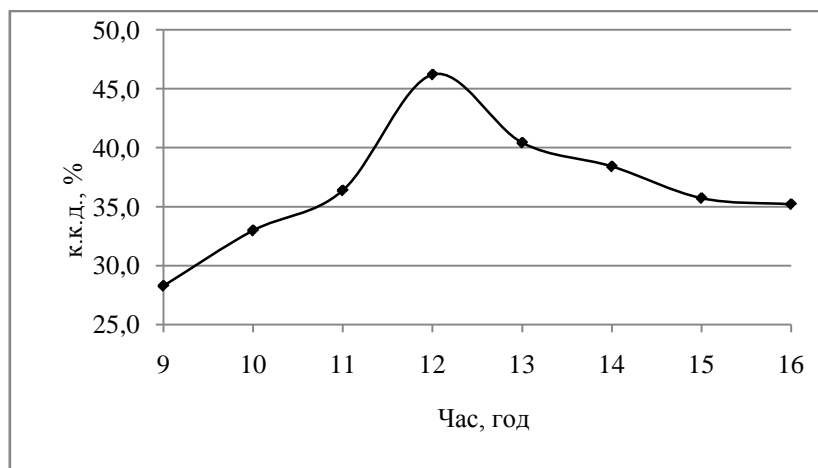
Таблиця 2

Характеристики сонячної печі (червень)

Час доби	9.00	10.00	11.00	12.00	13.00	14.00	15.00	16.00
Час закипання, хв.	39	30	26	20	23	26	31	38
Питома потужність, Вт/м ²	126	163	191	247	211	189	157	130
Потужність, Вт	99	128	150	194	166	148	123	102
Тепловий к.к.д., %	28	33	36	46	40	38	36	35

Як видно з даних табл. 2 середній час закипання 1 л води становить близько 30 хв., а середня питома потужність сонячної печі складає 176,7 Вт/м². Тепловий к.к.д. сонячної печі змінюється від 28% до 46%, і в середньому складає 36%.

На рис. 3 наведено залежність теплового к.к.д. сонячної печі від часу доби, яка демонструє чітко виражену асиметрію відносно максимуму, що припадає на 12.00. Це пояснюється підвищенням температури оточуючого середовища у другій половині світлового дня та, як наслідок, зменшенням теплових втрат з поверхні ємності з закипаючою рідиною.

**Рис. 3. Залежність к.к.д. сонячної печі від часу доби**

Проведено оцінку характеристик сонячної печі для періоду експлуатації з травня по вересень для кліматичних умов м. Херсон. Показано, що за вказаний період середньомісячне значення питомої потужності складає понад 160 Вт/м² (рис. 4). Середнє значення питомої потужності за сезон експлуатації становить 179 Вт/м².

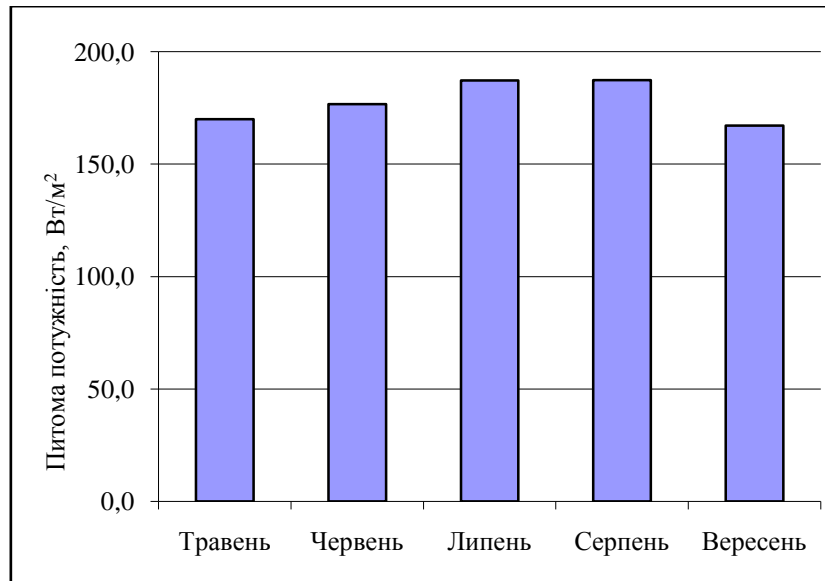


Рис. 4. Прогнозована питома потужність сонячної печі впродовж сезону експлуатації

Розраховано заміщення традиційного палива при експлуатації розробленої сонячної печі впродовж періоду з травня по вересень в кліматичних умовах м. Херсона. У випадку, коли сонячна піч використовується замість традиційної дров'яної, що має середній к.к.д. 25%, економія деревинного палива становить 157 кг за сезон, а у випадку заміщення газової плити з к.к.д. 50÷70% - понад 28 м³ природного газу.

Висновки

Розроблено конструкцію параболоїдного рефлектора сонячної печі з відбиваючою поверхнею на основі плівки Oracal 351 з інтегральним коефіцієнтом відбиття 0,835. Дослідження сонячної печі на основі розробленого параболоїдного концентратора в кліматичних умовах м. Херсона показали наступні параметри:

- фокусна відстань концентратора - 22 см;
- площа приймальної поверхні концентратора - 0,78 м²;
- площа фокальної плями - $3,2 \cdot 10^{-3}$ м²;
- геометричний коефіцієнт концентрації - 244;
- середній коефіцієнт концентрації - 143;
- к.к.д. концентратора фактичний - 0,59, теоретичний - 0,80;
- середній час закипання 1 л води ~ 30хв.;
- середня питома потужність сонячної печі за сезон - 179 Вт/м²;
- максимальна питома потужність печі ~ 247 Вт/м²;
- середній тепловий к.к.д. сонячної печі 0,36.

Значення середнього теплового к.к.д. розробленої сонячної печі корелює з даними, наведеними в літературних джерелах, згідно з якими коефіцієнт корисної дії для сонячних печей знаходиться в межах 20÷50%. Це дозволяє зробити висновок, що в кліматичних умовах півдня України експлуатація сонячних печей концентраторного типу є доцільною. Використання таких печей дозволить заощадити близько 157 кг деревинного палива та 28 м³ природного газу за сезон.

Подальше підвищення ефективності сонячної печі можливе за рахунок збільшення точності у виготовленні утворюючої відбивальної поверхні параболоїдного концентратора.

Список використаної літератури

1. Базарова Е.Г. Повышение эффективности использования солнечной энергии в энергетических установках с концентраторами: автореф. дис. ... канд. техн. наук : 05.14.08 / Елена Геннадьевна Базарова. — Москва, 2008. — 29 с.
2. Stine W.B. Power From The Sun / W.B. Stine, M. Geyer [Електронний ресурс] // Power From The Sun [сайт]. — Режим доступу: <http://www.powerfromthesun.net/book.html> (06.02.2013). — Назва з екрану.
3. Андреев В.М. Фотоэлектрическое преобразование концентрированного солнечного излучения / В.М. Андреев, В.А. Грилихес, В.Д. Румянцев. — Л.: Наука, 1989. — 310 с.
4. Стребков Д.С. Концентраторы солнечного излучения / Д.С. Стребков, Э.В. Тверьянович. — М.: ГНУ ВИЭСХ, 2007. — 316 с.

5. Solar cooking technology. Why solar cookers are needed high cost or unavailability of commercial fuels – kerosene, coal, gas, electricity deforestation [Електронний ресурс] // SlidePlayer.com Inc. [сайт]. – Режим доступу: <http://slideplayer.com/slide/4299265/>. — Назва з екрану.
6. German entrepreneur brings solar ovens to the Mexican countryside to produce emissions-free tortillas [Електронний ресурс] // Inhabitat -green design, innovation, architecture, green building [сайт]. – Режим доступу: <http://inhabitat.com/german-entrepreneur-brings-solar-ovens-to-the-mexican-countryside-to-produce-emissions-free-tortillas/>(12.06.2012). — Назва з екрану.
7. Харченко Н.В. Индивидуальные солнечные установки / Н.В. Харченко. – М: Энергоатомиздат, 1991. – 208с.
8. Солнечные печи [Електронний ресурс] // Energy-bio.ru. Альтернативные источники энергии [сайт]. – Режим доступу: <http://energy-bio.ru/suncoll9.htm>. — Назва з екрану.
9. NASA surface meteorology and solar energy - location [Електронний ресурс] // Atmospheric science data center [сайт]. – Режим доступу: <https://eosweb.larc.nasa.gov/cgi-bin/sse/grid.cgi?email=skip@larc.nasa.gov>. — Назва з екрану.