

## ВИЗНАЧЕННЯ ПРОФІЛІВ РЕФЛЕКТОРІВ СУШАРОК, ЯКІ ЗАБЕЗПЕЧУЮТЬ РІВНОМІРНЕ ОПРОМІНЮВАННЯ ПРОДУКТУ

Плевако В.П., д-р техн. наук, професор, Кіптела Л.В., д-р техн. наук, професор,  
Педорич І.П., ст. викладач, Загорулько А.М., аспірант  
Харківський державний університет харчування та торгівлі, м. Харків

*Розглянуто двовимірну задачу з визначення профілів рефлекторів сушарок, які забезпечують рівномірне опромінювання продукту. Для зменшення забруднення дзеркальних поверхонь відбивачі винесені в один бік від центра лотка за межі продукту й розташовуються над і під ним.*

*The two-dimensional task, as to the defining reflectors forms dryers that provide uniform irradiation of the product. To reduce contamination of mirror surfaces, reflectors made in one direction from the center of the tray outside the product and are located above and below it.*

Ключові слова: випромінювачі, рефлектори, приймачі, опромінювання, теплові потоки.

**Постановка проблеми та її зв'язок із найважливішими науковими та практичними завданнями.** Суттєвою вадою переважної більшості наявних сушарок є їхня неспроможність забезпечити рівномірне теплове опромінювання усіх точок поверхні продукту, який підлягає сушінню, а це, у свою чергу, призводить до погіршення якості кінцевої продукції та значних перевитрат енергії.

Розвідка присвячена такій проблемі: треба визначити профілі двох рефлекторів сушарки, які забезпечують однакове сумарне теплове опромінювання в усіх точках поверхні плоского приймача.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У працях [1-3] розглядалися теплові системи з одним випромінювачем та рефлектором. Було розв'язано низку так званих «обернених задач» із визначення можливих форм перетинів відбивачів теплових променів, які дозволяють отримати рівномірне опромінювання поверхні продукту. Розв'язання задач отриманих в двовірній постановці, заснованих на заміні реальних тривимірних схем розповсюдження інфрачервоних променів умовними двовимірними, коли промені поширюються в площинах, які нормальні до осей випромінювачів. Загальне обґрунтування допустимості такого підходу до розв'язання поставлених задач було зроблено в праці [4].

Під час досліджень довелося вирішувати й ще одну проблему, яка полягала в наступному: якщо рефлектор розташувати над робочою поверхнею, то він почне швидко забруднюватися випаровуваннями й вкриватися шаром суги, що значно погіршує якість роботи сушарки. Щоб уникнути цього, було запропоновано винести рефлектор за край приймача теплової енергії, але відразу ж виникла інша проблема – як показали розрахунки, чим далі виносився рефлектор вбік від центру робочої поверхні, тим більше він «стискувався» й за формою починав нагадувати латинську літеру U з наближеними один до одного кінцями.

Це твердження добре ілюструється на рис. 1, де цифрами 1 позначено лінійні випромінювачі, 2 – рефлектори, 3 – робоча поверхня.

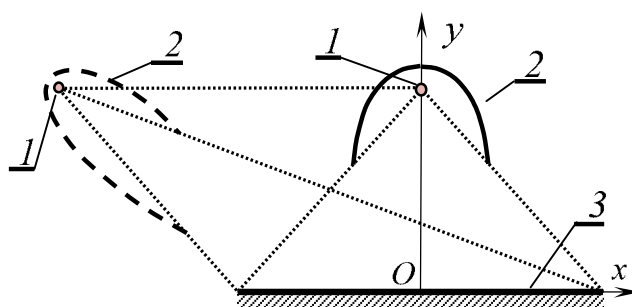


Рис. 1 – Зміна форми рефлектора за його зміщення від центру робочої поверхні

Зробити такий рефлектор можна, але він буде дуже чутливим до неточностей у формі, що неминуче виникають під час виготовлення, й картина розповсюдження теплових променів може суттєво спотворитися. Частково позбавитися такої вади можна, якщо встановити ще й додаткове дзеркало [5-6].

Теплова установка з одним випромінювачем має обмежену потужність, а, отже, не завжди може забезпечити потрібний тепловий потік, що потрапляє на робочу поверхню.

У праці [3] вивчалася робота теплової установки з двома випромінювачами й рефлекторами. Із наведених вище міркувань, рефлектори виносилися за краї робочої поверхні, що призводило до збільшення за шириною розмірів сушарки.

У цій розвідці вивчається робота двокамерної сушарки, схема якої наведена на рис.2 (корпус сушарки не показаний). На відміну від праці [3], випромінювачі 1 й рефлектори 2 винесені за межі робочої поверхні в один бік, а продукт, що підлягає сушінню, лежить на сітчастому лотку 3, тобто прогрівається згори й знизу.

Такий підхід виявився вельми ефективним – він дозволив піддати сушінню більш товстий шар продукту й одночасно призвів до зменшення розмірів конструкції.

Для пришвидшення процесу ще було запропоновано в нижню камеру підводити повітря, яке, після прогріву на нижній поверхні лотка, має проходити через продукт у горішню камеру й інтенсивно висушувати його, після чого виходити назовні.

**Викладення основного матеріалу.** Розглянемо обернену задачу з визначення профілів рефлекторів теплотехнічної установки, переріз якої наведено на рис. 2 (цифрові позначення елементів теплотехнічної установки збігаються з ужитими на рис. 1).

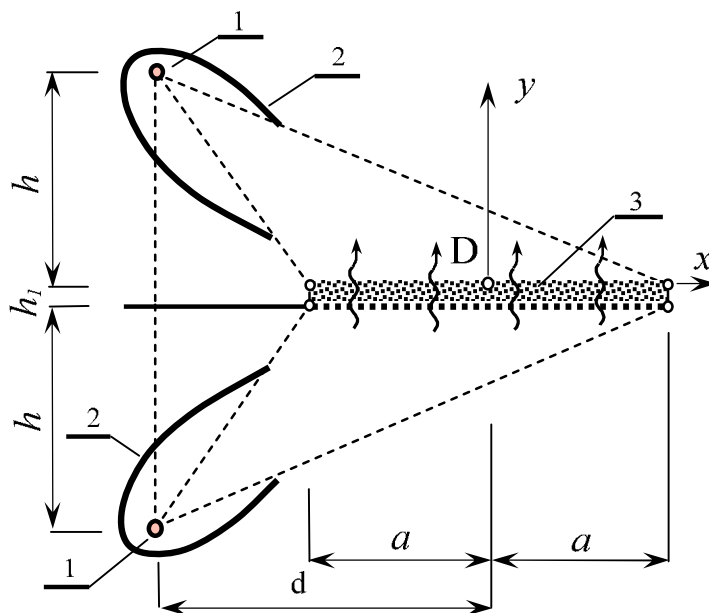


Рис. 2 – Розрахункова схема сушарки

Будемо вважати, що кожний із рефлекторів забезпечує однакове опромінювання або поверхні продукту, або низу лотка.

Введемо такі позначення:  $a$  – ширина лотка,  $h$  – висота розташування випромінювачів над поверхнею лотка з продуктом,  $h_1$  – товщина заповненого лотка,  $d$  – віддаль у поземному напрямі від середини лотка до випромінювачів.

Спираючись на висновки, які зроблено в праці [4], усі дослідження будемо вести в плоскій постановці, а втрати частини енергії теплових променів на шляху від випромінювачів до лотка нехтуватимемо – ці втрати мало впливають на форму рефлекторів (див. працю [7]).

Із сказаного випливає, що рефлектори повинні мати однаковий профіль і нам достатньо визначити параметри одного з них. Нехай це буде горішній рефлектор.

Для подальших досліджень проведемо осі  $O_1x$ ,  $O_1y$  так, як це показано на рис. 2.

Очевидно, що густина опромінювання робочої поверхні горішнім рефлектором  $q = \text{const}$  складається з двох величин:

$$q = q_1(x) + q_2(x), \quad (1)$$

де  $q_1(x)$  – густина опромінювання поверхні продукту променями, що приходять безпосередньо від випромінювача, оминаючи рефлектор;

$q_2(x)$  – густина опромінювання продукту променями, які віддзеркалилися від рефлектора.

Нехай один погонний метр випромінювача щосекунди випромінює  $Q$  одиниць теплової енергії. Тоді, якщо знехтувати втратами енергії на шляху від джерела до приймача, густина опромінювання робочої поверхні має дорівнювати:

$$q = \frac{Q}{2a}. \quad (2)$$

Згідно з працею [4]  $p, p_1(\xi), p_2(\xi)$  ( $\xi = x/a$ ),

$$q_1(x) = \frac{Qh}{2\pi[(x+a)^2 + h^2]}. \quad (3)$$

Як і в усіх цитованих працях, перейдемо від густин  $q, q_1(x), q_2(x)$  до безрозмірних величин  $p, p_1(\xi), p_2(\xi)$  ( $\xi = x/a$ ), які називатимемо «функціями опромінювання». Для цього покладемо

$$q = \frac{Q}{2a} \cdot p, \quad q_1(x) = \frac{Q}{2a} \cdot p_1(\xi), \quad q_2(x) = \frac{Q}{2a} \cdot p_2(\xi) \quad (4)$$

та введемо такі безрозмірні параметри:

$$k = \frac{h}{a}, \quad \delta = \frac{d}{a}. \quad (5)$$

Тоді з наведених залежностей випливає

$$p = 1, \quad p_1(\xi) = \frac{k}{\pi} \cdot \frac{1}{(\xi - \delta)^2 + k^2}, \quad p_2(\xi) = 1 - p_1(\xi) \quad (6)$$

Рисунок 3 ілюструє, як змінюються функції опромінювання за зміни  $\xi$  ( $-1 \leq \xi \leq 1$ ) у разі, коли  $\delta = 2$  й  $k = \sqrt{3}$

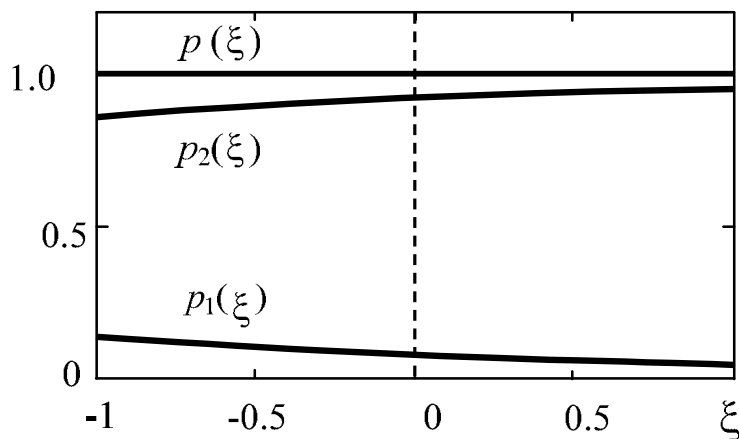


Рис. 3 – Характер зміни функцій опромінювання

Тепер, коли характер зміни функцій опромінювання відомий, можна перейти до визначення профілю рефлектора. Для цього розглянемо рух віддзеркалених променів і припустимо, що в довільну точку  $K$  поверхні продукту з відносною координатою  $\xi$  (див. рис. 4) потрапляє промінь, який відбився від точки  $M$  рефлектора.

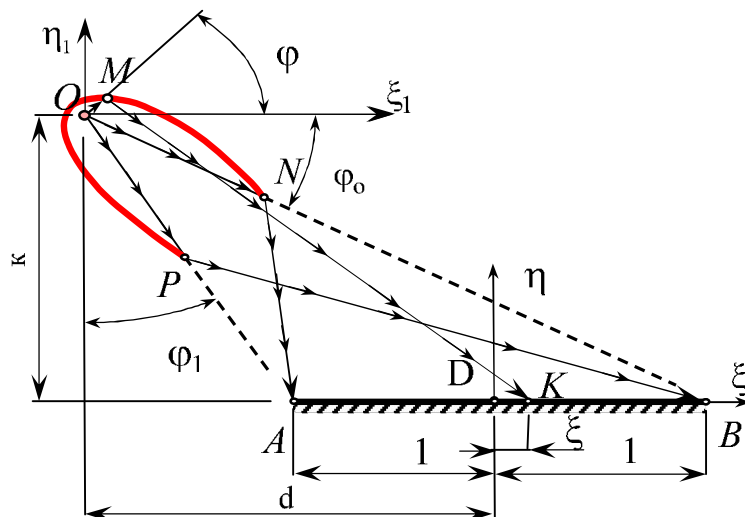


Рис. 4 – Схема руху віддзеркалених від рефлектора променів

Положення точки  $M$  можна характеризувати двома координатами –  $\rho$  і  $\varphi$ , де радіус  $\rho$  є безрозмірною величиною.

Змінні  $\rho, \varphi$  і  $\xi$  пов'язані між собою такою диференціальною залежністю [2]:

$$\frac{d\rho}{d\xi} = -\rho \frac{(\rho_1 - \rho) \cdot \cos \varphi + \xi + \delta}{(\rho_1 + \rho) \cdot \sin \varphi + k}, \quad (7)$$

де

$$\rho_1 = \sqrt{(\rho \cos \varphi - \xi)^2 + (\rho \sin \varphi + k)^2}, \quad \psi = \frac{d\varphi}{d\xi}.$$

Ця залежність може стати диференціальним рівнянням, якщо вдається встановити зв'язок між кутовою координатою « $\varphi$ » і лінійною « $\xi$ ».

Таким зв'язком можна просто задаватися. Тоді кожному вибраному способу потрапляння відбитих променів на робочу поверхню відповідатиме своя форма профілю рефлектора.

Розглянемо один із найпростіших. Для цього почнемо монотонно рухати точку  $M$  у бік збільшення  $\varphi$  (тобто проти ходу годинникової стрілки) так, щоб вона пробігла весь контур рефлектора від точки  $N$  і до  $P$ . При цьому будемо вважати, що точка  $K$  поверхні продукту, туди потрапляє відбитий промінь, теж буде рухатися монотонно, починаючи від  $A$  й до  $B$ .

Енергія, яка випромінюється за 1 секунду одним погонним метром випромінювача в кути  $\angle NOM$ , дорівнює:

$$\frac{Q}{2\pi} \cdot (\varphi + \varphi_0) = \frac{Q}{2\pi} \cdot (\varphi + \arctan \frac{k}{\delta + 1}). \quad (8)$$

Якщо втрат енергії на шляху до продукту нема, то вона вся потрапляє на ділянку  $AK$  і може бути обчислена так:

$$\int_a^x q_2(x) dx = \frac{Q}{2a} \cdot \int_{-1}^{\xi} p_2(\xi) d\xi, \quad (9)$$

де  $p_2(\xi)$  треба взяти з залежностей (6).

Прирівнюючи вирази (8) і (9) та беручи інтеграл від  $p_2(\xi)$ , остаточно знаходимо

$$\varphi(\xi) = \pi(\xi + 1) - \varphi_0 - \arctan \frac{k(\xi + 1)}{(\delta - 1) \cdot (\xi + \delta) + k^2} \quad (10)$$

$$\left( \varphi_0 = \text{ark tg } \frac{k}{\delta + 1} \right)$$

Рівняння (7) розв'язувалося методом Рунге-Кутта для випадку, коли  $\delta = 2$  та  $k = \sqrt{3}$ , та двох початкових значень  $\rho = \rho_N$ , а саме:

$$\rho_N = 1; \rho_N = 0,75$$

На рисунку 5 у відповідності до цих значень наведено можливі форми рефлекторів сушарки.

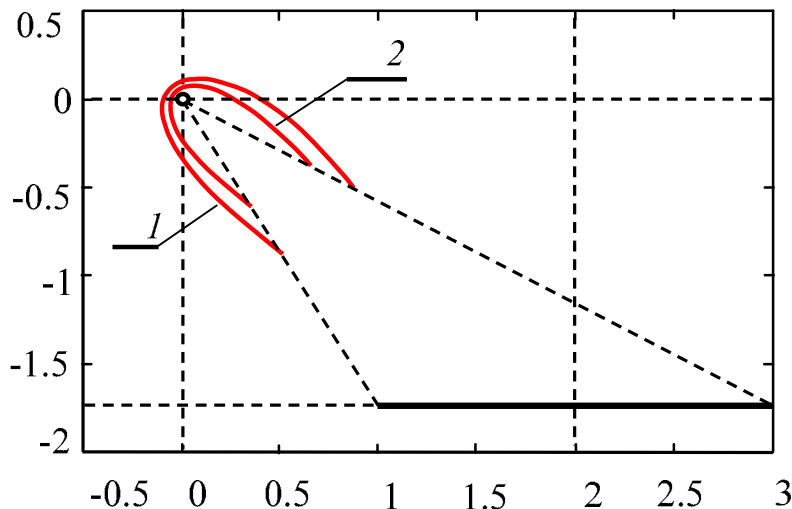


Рис. 5 – Можливі форми рефлекторів

Крива 1 відповідає випадку, коли  $\rho_N = 1$ , а  $2 - \rho_N = 0,75$  (вздовж осей координат відкладено відносні розміри).

На рисунку 6 представлена схема руху теплових променів у сушарці, що віддзеркалилися від рефлектора).

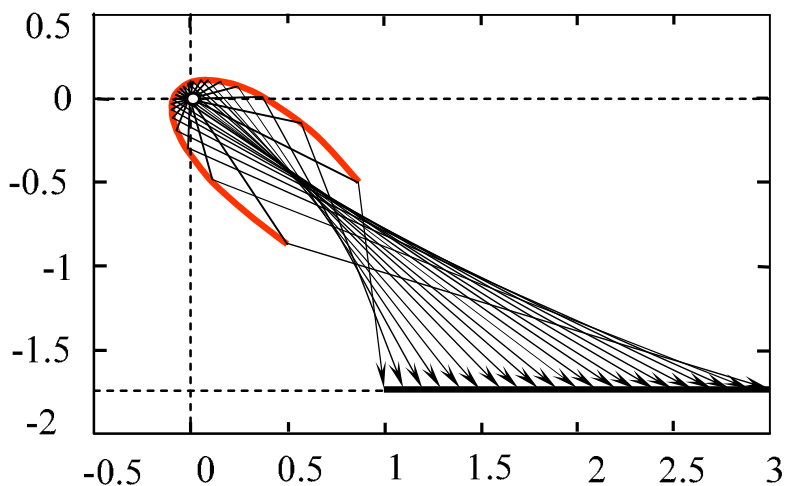


Рис. 6 – Схема руху теплових променів, що віддзеркалилися від рефлектора

На рисунку 7 наведено рух теплових променів, що потрапляють на робочу поверхню (лотік із продуктом), оминаючи рефлектор.

Отже, поставлену задачу розв'язано.

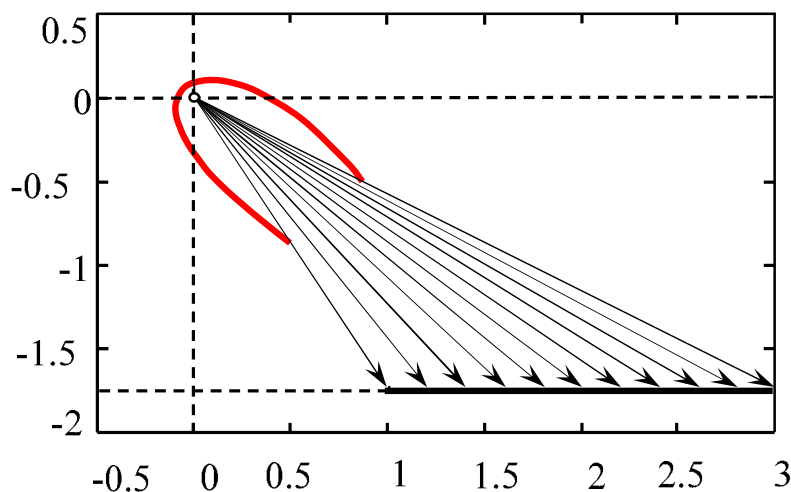


Рис. 7 – Схема руху теплових променів, що потрапляють на робочу поверхню, оминаючи рефлектор

**Висновки.** Розроблено методику визначення профілів рефлекторів сушарок, які забезпечують рівномірне опромінювання продукту сушіння. На відміну від конструкцій, які вивчалися раніше, у запропонованій експериментальній ІЧ-сушарці встановлено два рефлектори: один над лотком з продуктом, а другий – під. Для зменшення забруднення дзеркальних поверхонь сугою рефлектори винесено в один бік поза межі простору над і під лотком.

**Перспектива подальших досліджень.** У подальшому планується розробити алгоритм визначення профілів рефлекторів сушарок, за умови втрат частини теплової енергії на поглинання з подальшим випромінюванням її частини в довкілля.

#### Література

1. Плевако В.П. Визначення форми рефлектора для рівномірного обігрівання плоскої поверхні [Текст] / В.П. Плевако, С.Ю. Саенко // Сучасні проблеми геометричного моделювання: [матеріали]: між нар. наук.-прак. конф. 20-23 жовтня. – Львів, 2003. – С. 191–194.
2. Плевако В.П. Визначення форм рефлекторів теплотехнічних установок, які забезпечують заданий розподіл тепла на приймачах довільних перерізів [Текст] / В.П. Плевако, С.Ю. Саенко // Геометричне та комп'ютерне моделювання: зб. наук. праць. – Харків, 2007. – Вип. 17. – С. 75–90.
3. Плевако В.П. Визначення форм рефлекторів теплотехнічних установок [Текст] / В.П. Плевако, І.П. Педорич // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць. Донецький нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк, 2009. – Вип. 22. – С. 273–281.
4. Плевако В.П. Доведення доцільності розрахунку теплотехнічних систем у плоскій постановці [Текст] / В.П. Плевако, С.Ю. Саенко // Геометричне та комп'ютерне моделювання: зб. наук. праць. – Харків, 2008. – Вип. 21. – С. 20–29.
5. Плевако В.П. Визначення профілю рефлектора теплотехнічної установки, яка має додаткову відбивальну поверхню [Текст] / В.П. Плевако, В.А. Куценко, І.П. Педорич // Прогресивні техніка та технології харчових виробництв ресторанного господарства і торгівлі: зб. наук. пр. Харк. держ. ун-та харчування та торгівлі; – Харків, 2011. – Вип. 1 (13). – С. 116–123.
6. Плевако В.П. Алгоритм визначення раціональних форм рефлекторів сушарок [Текст] / В.П. Плевако, В.А. Куценко, І.П. Педорич // Обладнання та технології харчових виробництв: темат. зб. наук. праць. Донецький нац. ун-т економіки і торгівлі ім. М. Туган-Барановського. – Донецьк, 2012. – Вип. 29. – С. 100–107.
7. Плевако В.П. «Геометричне моделювання поверхні рефлектора з урахуванням втрат теплоти. Геометрія та інженерна графіка» / Плевако В.П., Костенко С.М., Педорич І.П. Праці таврійський державний агротехнічний університет. – Мелітополь: ТДАТУ, 2010. – Вип. 4, Т. 47. – С. 51–60.
8. Плевако В.П. Визначення форми відбивача ІЧ установки з урахуванням випромінювання частини енергії в довкілля [Текст] / В.П. Плевако, С.Ю. Саенко // Геометричне та комп'ютерне моделювання: зб. наук. праць. – Харків, 2004. – Вип. 6. – С. 23–32.