

Technology and Trade. Address: str. Klochkivska, 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. E-mail: potapov@bigmir.net.

**Якушенко Євген Миколайович**, канд. техн. наук, доц., кафедра холодильної та торговельної техніки, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: papelats@ukr.net.

**Якушенко Евгений Николаевич**, канд. техн. наук, доц., кафедра холодильной и торговой техники, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. E-mail: papelats@ukr.net.

**Yakushenko Evgen**, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.) Associate Professor, Refrigeration and Trade Equipment Department, Kharkiv State University of Food Technology and Trade. Address: str. Klochkivska, 333, Kharkiv, Ukraine, 61051. E-mail: papelats@ukr.net.

*Рекомендовано до публікації д-ром техн. наук, проф. В.М. Михайловим.  
Отримано 15.03.2015. ХДУХТ, Харків.*

УДК 514.8:66-976

## МОДЕЛЮВАННЯ РОЗПОВСЮДЖЕННЯ ТЕПЛОВИХ ПРОМЕНІВ ВІД СЕГМЕНТНИХ РЕФЛЕКТОРІВ

**Ю.М. Тормосов, С.Ю. Саєнко**

*Досліджено розподіл теплоти на приймачеві від спрощення відбивальної поверхні рефлекторів у інфрачервоних апаратах харчової промисловості завдяки заміні криволінійної форми рефлектора на сегментовану у вигляді прямолінійних відрізків.*

**Ключові слова:** *рефлектор, випромінювач, відбивання, інфрачервоне випромінювання.*

## МОДЕЛИРОВАНИЕ РАСПРОСТРАНЕНИЯ ТЕПЛОВЫХ ЛУЧЕЙ ОТ СЕГМЕНТНОГО РЕФЛЕКТОРА

**Ю.М. Тормосов, С.Ю. Саєнко**

*Исследовано распределение теплоты на приемнике от упрощения отражательной поверхности рефлекторов в инфракрасных аппаратах*

---

© Тормосов Ю.М., Саєнко С.Ю., 2015

пищевой промышленности благодаря замене криволинейной формы рефлектора сегментированной в виде прямолинейных отрезков.

**Ключевые слова:** рефлектор, излучатель, отражение, инфракрасное излучение.

## SIMULATION OF THE PROPAGATION OF HEAT RAYS OF SEGMENT REFLECTOR

Y. Tormosov, S. Saenko

The possibility of replacing the curved shape of the reflective surface of the reflector in the food industry machines utilizing infrared heating elements, in the form of segments of straight lines. The study carried out by the example forms reflector provides uniform distribution of heat flow on a flat surface of the cylindrical reflector. Simulation of thermal distribution is carried out by constructing a three-dimensional model of the camera with the appointment of surface properties. The process of assessing the distribution of the heat flow is investigated by computer simulation program in TracePro. The program allows to simulate the rays' path in the chamber, as well as to evaluate the heat flux density on the receiving surface. The simulation is carried out with some simplifications: only the radiant component of heat flux is taken into account, while convection is not considered as its component is negligible.

**Keywords:** reflector, emitter, reflection.

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Метою дослідження є вдосконалення теорії отримання профілів відбивальних поверхонь в інфрачервоних апаратах (ІЧ) харчової промисловості, а також отримання низки форм відбивачів для рівномірного розподілу теплоти на приймальних поверхнях.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У попередніх працях [1] розроблено метод отримання рефлектора для забезпечення заданого розподілу теплоти на заданій поверхні. Вся зазначена теорія спирається на схему наведену на рис. 1.

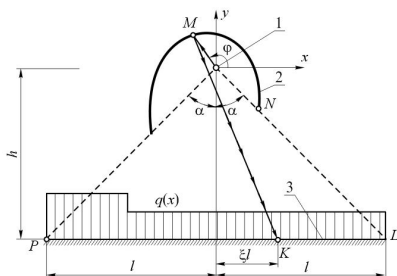


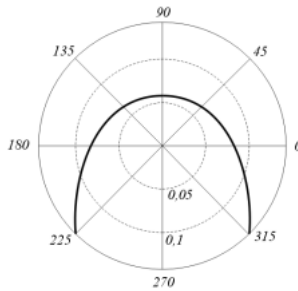
Рис. 1. Схема теплотехнічної установки

За зазначеною схемою було складено диференціальне рівняння для отримання форми рефлектора, яке має вигляд:

$$\frac{d\rho}{d\xi} = -\rho \frac{(\rho_1 - \rho) \cos \varphi + \xi + \delta}{(\rho_1 + \rho) \sin \varphi - g(\xi)} \varphi'(\xi),$$

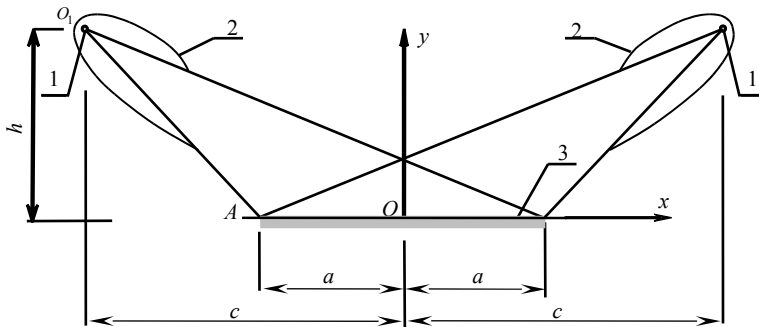
де  $\varphi'(\xi) = \alpha - \frac{\pi}{2} + \pi \int_{\xi}^1 [p(\xi) - p_1(\xi)] \sqrt{1 + g'^2} d\xi.$

Розв'язком диференціального рівняння є крива, що описує форму відбивальної поверхні. Одну з отриманих форм показано на рис. 2.



**Рис. 2. Форма рефлектора в разі рівномірного опромінювання робочої поверхні**

Крім того, була розглянута ще одна задача [2], схему якої показано на рис. 3.



**Рис. 3. Схема освітлення поверхні**

Для цього випадку отримаємо відповідну форму відбивача для рівномірного освітлення поверхні від двох джерел світла. Для спрощення розрахунку системи можна розглянути її половину, установивши вертикальну відбивальну поверхню вздовж осі  $y$ , як показано на рис. 4.

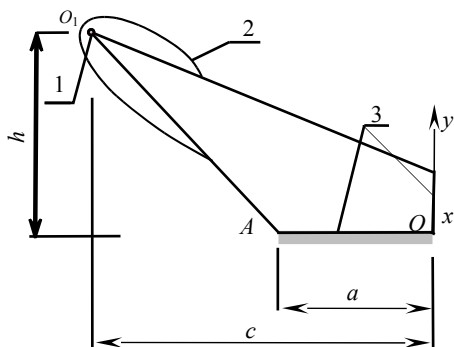


Рис. 4. Спрощена схема опромінення

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Для підтвердження теорії, а саме вірність диференціального рівняння змодельємо процес, що відбувається в ІЧ-апараті. Щоб зробити це, скористаємось комп'ютерною програмою TracePro. Її використовують для моделювання процесів, які описуються законами оптики зокрема тих, що ґрунтуються на твердженні: кут падіння променя дорівнює куту віддзеркалення. Для моделювання слід створити тривимірну модель апарата (рис. 5), а потім зазначити властивості всіх поверхонь апарата, тобто які з них відбивають теплові промені, а які поглинають.

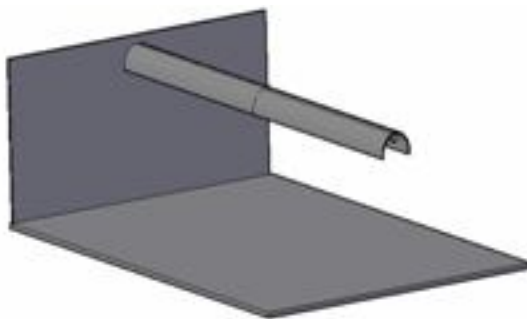
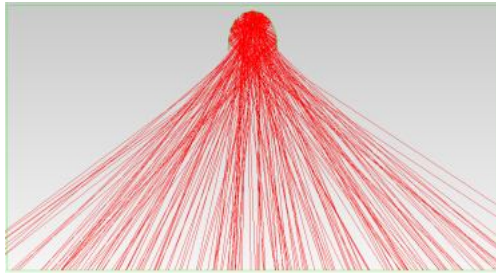


Рис. 5. Тривимірна модель апарата

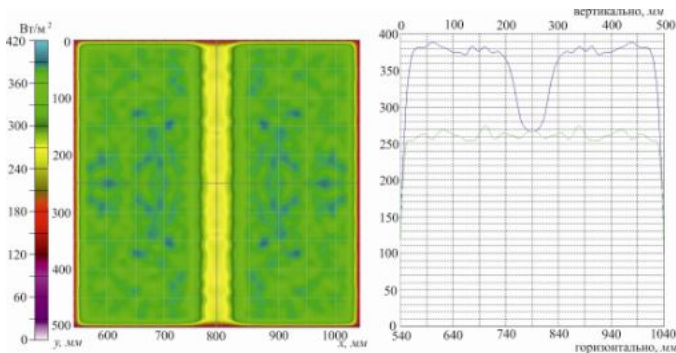
Програма дозволяє спостерігати за рухом променів у робочій камері, як показано на рис. 6.



**Рис. 6. Рух променів у робочій камері (проекція променів)**

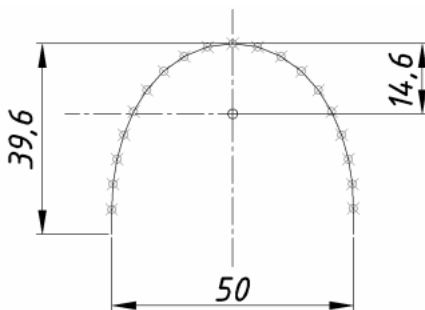
Геометрія руху збігається з теоретичною, але заданої кількості променів явно не вистачає для визначення з прийнятною точністю характеру опромінювання робочої поверхні. Для отримання задовільної картини довелося поступово збільшувати кількість променів, що задавалися величинами 10000, 100000, 500000. Лише коли кількість дійшла до одного мільйона, комп'ютер побудував більш реалістичні картини функції розподілу теплоти на приймачеві, що подано на рис. 7.

Зауважимо, що мінімально необхідну кількість променів ми встановили методом підбору, знаючи точний аналітичний розв'язок задачі. Отже, при користуванні програмою TracePro для розв'язання прямих задач треба бути дуже уважним: якщо вибрана кількість променів буде недостатня, то під час досліджень можна отримати невірний числовий розв'язок і зробити хибні висновки.



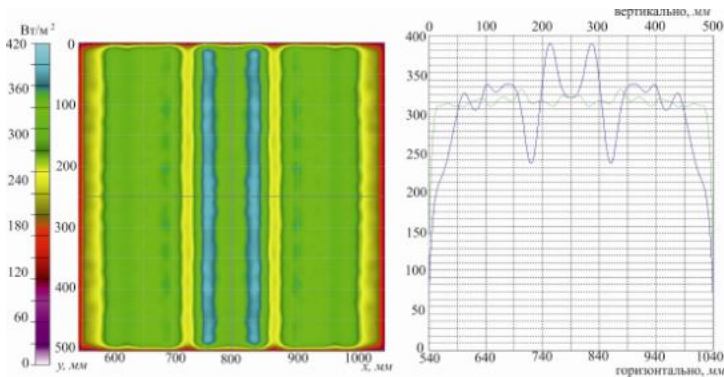
**Рис. 7. Розподіл теплоти на робочій поверхні**

Розглянемо рефлектор, що показаний на рис. 2 та розіб'ємо його на сегменти. Спочатку розглянемо розбиття на 10 сегментів. Промодельюємо отриманий рефлектор у TracePro та проаналізуємо отримані результати. Після аналізу отриманих даних можна зробити висновок, що картина опромінювання змінилась і не відповідає рівномірній. Наступним кроком розіб'ємо рефлектор на 20 сегментів (рис. 8).



**Рис. 8. Сегментований рефлектор**

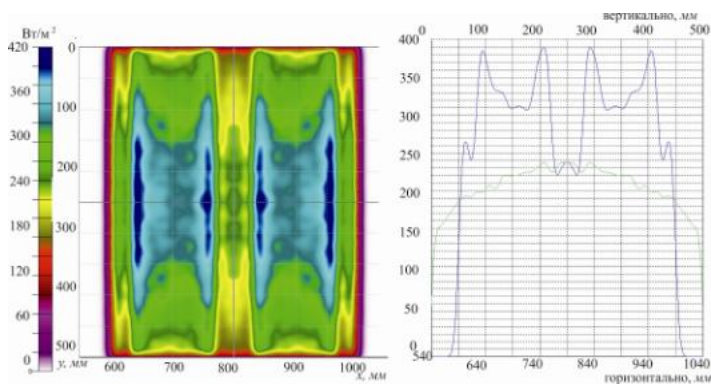
Отримуємо опромінення показане на рис. 9.



**Рис. 9. Опромінення робочої поверхні від сегментованого рефлектора**

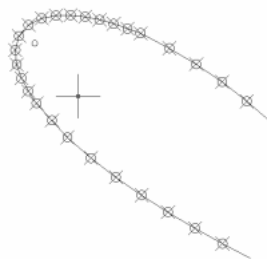
Аналізуючи отримані результати видно, що на поверхні присутні нерівномірності, але вони незначні порівняно із загальною картиною. Відповідно до встановлених похибок отриманий результат є прийнятним.

Розглянемо випадки, що показані на рис. 3 та 4. Розіб'ємо рефлектор на 10 сегментів і проаналізуємо отримані результати з опромінення поверхні. Моделювання будемо проводити від двох випромінювачів за схемою наведеною на рис. 3. Отримані результати показано на рис. 10.

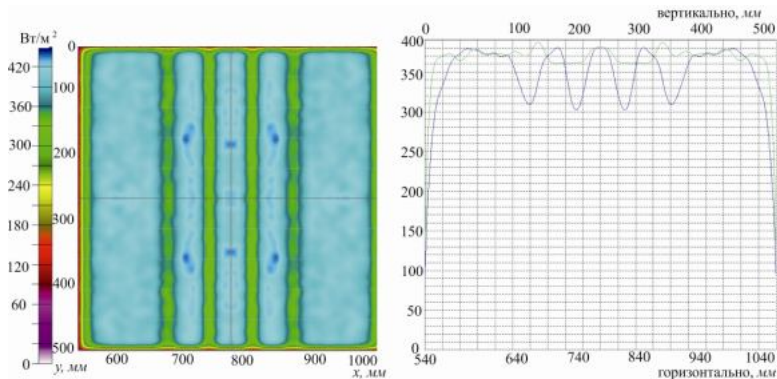


**Рис. 10. Освітлення робочої поверхні від двох випромінювачів**

За отриманими результатами можна зробити висновок, що такої кількості сегментів недостатньо для забезпечення рівномірного освітлення. Результати дослідження з відбивачем із кількістю сегментів 20, показали, що картина опромінення майже не відрізняється від тієї, що показано на рис. 10. Для забезпечення більш рівномірного розподілу пропонується розбити рефлектор нерівномірним кроком як показано на рис. 11. Розподіл освітлення на поверхні від рефлектора, що наведено на рис. 11, показано на рис. 12.



**Рис. 11. Розбиття рефлектора на сегменти**



**Рис. 12. Розподіл світла на поверхні**

Як видно з рисунку освітлення не є ідеально рівномірним но наближається до нього.

**Висновки.** Узагальнивши вищенаведені результати, можна зробити висновок, що заміна криволінійної форми на сегментну вплинула на кінцеві результати, але зміна розподілу несуттєва і перебуває в межах допустимої похибки. Тобто для спрощення виготовлення рефлекторів можна замінити криволінійну форму на сегментну у вигляді прямолінійних відрізків із попереднім розрахунком кількості сегментів.

#### **Список джерел інформації / References**

1. Плевако В. П. Визначення форми рефлектора сушарки, яка забезпечує заданий розподіл тепла на робочій поверхні / В. П. Плевако, С. Ю. Саєнко, Ю. М. Тормосов // Геометричне та комп'ютерне моделювання: зб. наук пр. – Х. : ХДУХТ, 2006. – Вип. 15. – С. 11–18.

Plevako, V.P., Sayenko, S.Yu., Tormosov, Yu.M. (2006), “Definition form reflector dryers, which ensures the distribution of heat on the working surface”, *Geometric and Computational Modelling* [“Vy`znachennya formy` reflektora susharky`, yaka zabezpechuye zadany` rozpodil tepla na robochij poverkni”, *Geometry`chne ta komp'yuterne modelyuvannya*], KhDUKhT, Kharkiv, Vol. 15. pp. 11-18.

2. Плевако В. П. Визначення раціональної форми рефлекторів сушарок / В. П. Плевако І. П. Педорич, С. Ю. Саєнко // Прикладна геометрія та інженерна графіка : зб. наук. пр. – Мелітополь: ТДАТУ, 2012. – Вип. 4, т. 54. – С. 117–125.

Plevako, V.P., Sayenko, S.Yu., Pedory`ch, IP. (2012), “Definition of rational form reflectors dryers”, *Applied Geometry and Engineering Graphics*



["Vy`znachennya racional`noyi formy` reflektoriv susharok", *Pry`kladna geometriya ta inzhenerna grafika*], TDATU, Melitopol`, Issue. 4, Vol. 54. pp. 117–125.

3. Плевако В. П. Моделювання розповсюдження теплових променів у ІЧ-апаратах харчової промисловості засобами TracePro / В. П. Плевако, С. Ю. Саенко // Геометричне та комп'ютерне моделювання : зб. наук. пр. – Х. : ХДУХТ, 2009. – № 25. – С. 57–62.

Plevako, V.P., Sayenko, S.Yu. (2009), "Modeling of thermal radiation in the infrared devices food industry means TracePro", *Geometric and Computational Modelling* ["Modelyuvannya rozpovsyudzhennya teplovy`x promeniv u ICh-aparatax xarchovoyi promy`slovosti zasobamy"], *Geometry`chne ta kompyuterne modelyuvannya*], KhDUKhT, Kharkiv, Vol. 25, pp. 57-62.

**Тормосов Юрій Михайлович**, д-р техн. наук, проф., кафедра механіки та графіки, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: tormosov@ukr.net.

**Тормосов Юрий Михайлович**, д-р техн. наук, проф., кафедра механіки та графіки, Харьковський державний університет харчування та торгівлі. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. E-mail: tormosov@ukr.net.

**Tormosov Yuri**, Doctor of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.), Department of Mechanics and Graphics, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovsky str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. E-mail: tormosov@ukr.net.

**Саенко Сергій Юрійович**, канд. техн. наук, доц., кафедра механіки та графіки, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. E-mail: saeserg@mail.ru.

**Саенко Сергей Юрьевич**, канд. техн. наук, доц., кафедра механіки та графіки, Харьковський державний університет харчування та торгівлі. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. E-mail: saeserg@mail.ru.

**Saenko Sergey**, Candidate of Sciences (comparable to the academic degree of Doctor of Philosophy, Ph.D.), Department of Mechanics and Graphics, Kharkov State University of Food Technology and Trade. Address: Klochkovsky str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. E-mail: saeserg@mail.ru.

*Рекомендовано до публікації канд. техн. наук В.М. Михайловим.*

*Отримано 15.03.2015. ХДУХТ, Харків.*