

## ДО РОЗРАХУНКУ ЕНЕРГЕТИЧНОЇ ОСВІТЛЕНОСТІ ХАРЧОВИХ ПРОДУКТІВ ПІД ЧАС ІЧ-НАГРІВАННЯ

**В.О. Захаренко, С.В. Сорокіна**

*Визначено методи розрахунку енергетичної освітленості, створюваної на плоскому об'єкті ІЧ-випромінювачем різної геометричної форми: плоска поверхня – «точковий» і «лінійний» випромінювачі, циліндрична поверхня – «точковий» і «лінійний» випромінювачі. Розглянуто різні варіанти поверхні (циліндрична або плоска), що освітлюються нагрівачами різних конструкцій (точковим або циліндричним). Отримані формули можуть бути використані для розрахунку теплових ІЧ-нагрівачів у харчовій технології.*

**Ключові слова:** енергетична освітленість, ІЧ-випромінювач, плоска поверхня, «точковий» та «лінійний» випромінювачі, ІЧ-нагрівання, опромінювана поверхня.

## К РАСЧЕТУ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОСВЕЩЕННОСТИ ПИЩЕВЫХ ПРОДУКТОВ ПРИ ИК-НАГРЕВЕ

**В.А. Захаренко, С.В. Сорокина**

*Определены методы расчета энергетической освещенности, создаваемой на плоском объекте ИК-излучателем разной геометрической формы: плоская поверхность – «точечный» и «линейный» излучатели, цилиндрическая поверхность – «точечный» и «линейный» излучатели. Рассмотрены различные варианты поверхности (цилиндрическая или плоская), которые освещаются нагревателями различных конструкций (точечным или цилиндрическим). Полученные формулы могут быть использованы для расчета тепловых ИК-нагревателей в пищевой технологии.*

**Ключевые слова:** энергетическая освещенность, ИК-излучатель, плоская поверхность, «точечный» и «линейный» излучатели, ИК-нагревание, облучаемая поверхность.

## TO THE CALCULATION OF ENERGETIC LUMINOSITY OF FOOD PRODUCTS AT IR-HEATING

**V. Zakharenko, S. Sorokina**

*Rational choice of IR-emitter for thermal processes in food technology related to integral and spectral descriptions of a product, temperature regime of the process, by means of heating equipment and by other properties of the product and, in addition, with the description of the emitter, which, is usually unknown.*

*During the vehicles construction with the use of IR-heating it is necessary to make preliminary calculations which allow determine its geometry, productivity, power source, etc. It is also necessary to be able to determine luminosity of food products, which is created by IR-heating of different construction.*

*In work the methods of calculating power luminosity are created for the flat object of IR-radiator of different geometrical form: flat surface – «point» and «linear» emitter, and cylindrical surface – «point» and «linear» emitter.*

*In the work the authors considered different variants of surfaces (cylindrical or flat) which lighted the heaters of different construction (point or cylindrical).*

*The obtained formulas can be used for the calculation of thermal IR-heaters in food technology.*

**Keywords:** *luminosity power, IR-emitter, flat surface, «point» and «linear» emitter, IR-heating, exposed to the surface radiation.*

**Постановка проблеми у загальному вигляді.** Створення рівномірного теплового потоку на поверхні продукту гарантує стабільність технологічного процесу і високу якість готової продукції. З огляду на це енергетичні характеристики інфрачервоних (ІЧ) випромінювачів мають першорядне значення.

Рациональний вибір ІЧ-випромінювача для термічних процесів у харчовій технології пов'язаний з інтегральними і спектральними характеристиками продукту, температурним режимом процесу, тепло технічними й іншими властивостями продукту і, крім того, з характеристикою власне випромінювача, що, як правило, невідома.

Під час конструювання апаратів із застосуванням ІЧ-нагрівання необхідно провести попередні розрахунки, що дозволяють задати його геометрію, продуктивність, потужність та ін. Слід також уміти визначати освітленість харчових продуктів, що створюється ІЧ-нагрівачами різних конструкцій. Розглянемо деякі особливості такого розрахунку.

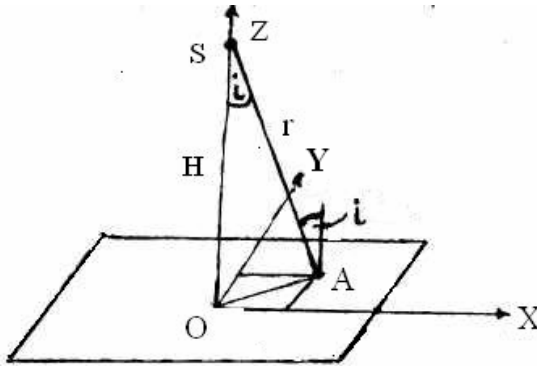
**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** У дослідженні [1] був викладений метод розрахунку густини променевого потоку (енергетичної освітленості)  $E$  (Вт/м<sup>2</sup>), що створюється на плоскому об'єкті ІЧ-випромінювачем, розміри якого досить великі порівняно з відстанню  $z$  від об'єкта. Метод засновано на представленні ІЧ-випромінювача зі складною геометричною формою випромінюючої поверхні «модельним» симетричним (круглим або квадратним) випромінювачем із силою світла  $I$  (Вт/ф) та ефективною площею  $S$ . Отримана формула для  $E$  має такий вигляд:

$$E = \frac{I}{Z^2 + S/\pi}, \quad (1)$$

причому параметри  $I$  і  $S$  були визначені в [1] для декількох типів випромінювачів.

**Мета статті.** У технології ІЧ-нагрівання можуть бути випадки, коли форма реального ІЧ-випромінювача відрізняється від указаної вище «модельної» (наприклад, для довгого циліндричного трубчастого випромінювача) або ж опромінювана поверхня не є плоскою (наприклад, шматок м'яса). У нашому дослідженні проведено розрахунок величини  $E$  для отримання аналітичного виразу, дійсного для всіх практично важливих випадків.

**Виклад основного матеріалу дослідження.** Розглянемо перший випадок. 1. *Плоска поверхня, «точковий» випромінювач* (рис. 1).



**Рис. 1.** Плоска поверхня, точковий випромінювач

Розрахунок енергетичної освітленості  $E$  довільно вибраної точки  $A$  плоскої поверхні об'єкта «точковим» (тобто видаленим) ІЧ-випромінювачем з енергетичною силою світла

$$I = \Phi/4\pi, \quad (2)$$

де  $\Phi$  – променевий потік (Вт),

є простою фотометричною задачею і здійснюється за такою формулою (рис. 1):

$$E = \frac{I \cos i}{r^2} = I \frac{h}{(x^2 + y^2 + h^2)^{3/2}}. \quad (3)$$

Ця формула приблизно витримується в разі застосування реального випромінювача, розміри якого досить малі порівнянно з

відстанню від нього до опромінюваної поверхні. Властивості такого випромінювача близькі до характеристик «сферичного» з  $I = \text{const}$  за всіма напрямками. В інших умовах формула (1) може дати лише грубо наближену оцінку.

2. *Плоска поверхня, лінійний випромінювач.* ПЧ-випромінювач типу розжареної ніхромової або вольфрамової спіралі можна подати у вигляді довгого циліндра завдовжки  $2l$  з діаметром  $d < 2l$ , тобто лінії, що світиться (рис. 2).

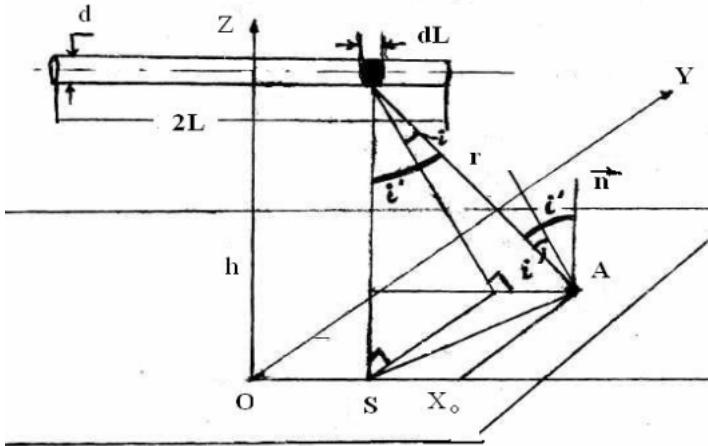


Рис. 2. Плоска поверхня, лінійний випромінювач

Такий випромінювач характеризується енергетичною яскравістю  $B$ , пов'язаною з енергетичною світністю  $K$  і силою світла  $I = I_0 \cos i$  (косинусний випромінювач), де  $I_0$  – сила світла в напрямку, перпендикулярному осі циліндра. У зв'язку з тим, що видимою випромінювальною поверхнею циліндра в цьому напрямку є осьовий перетин із площею  $S = 2ld$ , то для цього випромінювача  $I_0 = B2ld$ .

Виділимо малу ділянку випромінювача довжиною  $dl$  із площею видимої поверхні  $d \times dl$  у напрямку по нормалі до осі випромінювача; ця ділянка створює в точці  $A$  елементарну опромінєність

$$dE = \frac{B \cdot d \cdot dl \cdot \cos i \cdot \cos i'}{r^2}, \quad (4)$$

де  $\cos i = \frac{\sqrt{y^2 + h^2}}{r}$ ,  $\cos i' = \frac{z}{r}$ ,  $r = \sqrt{y^2 + h^2 + (x-s)^2}$ ,  $-1 \leq s \leq 1$ .

Увівши змінну інтеграції  $\omega = x-s$ , що змінюється від  $(x-1)$  до  $(x+1)$  і замінивши інтеграцію за  $s$  від  $-1$  до  $1$  інтеграцією за  $\omega$  від  $(\alpha-1)$  до

$(\alpha+1)$ , після всіх необхідних обчислень отримаємо для освітленості в точці  $A(xyz)$  вираз (з урахуванням  $B \cdot 2l \cdot d = I_0$ ):

$$E = \int \frac{B \cdot d \cdot \sqrt{y^2 + h^2} \cdot h \cdot ds}{[(x-s)^2 + y^2 + h^2]^2} = I_0 \frac{h\sqrt{y^2 + h^2}}{2a^2} \cdot \left\{ \frac{a^2 + l^2 - x^2}{[a^2 + (x+1)][a^2 + (x-1)^2]} + \frac{l}{2l\sqrt{y^2 + h^2}} \left( a \arctg \frac{x+l}{\sqrt{y^2 + h^2}} - \arctg \frac{x-l}{\sqrt{y^2 + h^2}} \right) \right\} \quad (5)$$

Важливі для практики випадки утворюються при  $y=0$  («смуга» безпосередньо під випромінювачем), при  $x=y=0$  в точці  $O$  (максимум освітленості), а також при  $h>l$  і  $h<l$ .

3. Циліндрична поверхня, «точковий» випромінювач. Розрахунок освітленості верхньої половини циліндричної поверхні радіуса  $r_0$  «точковим» джерелом на висоті  $h$  проводили в циліндричних координатах  $(\rho, \varphi, z)$  (рис. 3); при цьому координатами випромінювача  $S$  будуть  $(r_0, \varphi, z)$ .

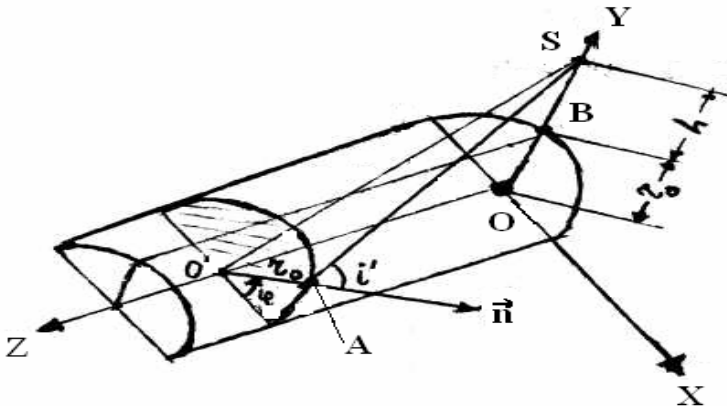


Рис. 3. Циліндрична поверхня, «точковий» випромінювач

Освітленість у точці  $A$  записується за формулою (3). Виражаючи  $r$  як відстань між точками  $A$  і  $S$  за відомими формулами аналітичної геометрії, а  $\cos i$  – з теореми косинусів для  $\Delta SAO^1$ , після деяких перетворень отримуємо формулу

$$E = I \frac{(r_0 + h) \sin \varphi - r_0}{[(r_0 + h)^2 - 2r_0(r_0 + h) \sin \varphi + r_0^2 + z^2]^{3/2}} \quad (6)$$

Із виразу для  $\cos i^l (\cos i^l = \frac{(r_o + h) \sin \varphi - r_i}{r})$  видно, що існує мінімальний кут

$$\varphi_{\min} = \arcsin \frac{r_o}{r_o + h} = \arcsin(1 + h/r_o)^{-1}, \quad (7)$$

який має таку властивість, що всі точки поверхні з  $\varphi < \varphi_{\min}$  знаходяться в «тіні» й не освітлюються. Кут  $\varphi_{\min}$  однаковий для всіх перетинів поверхні; йому відповідає кут падіння  $i = \pi/2$ . При великих  $h$  кут  $\varphi_{\min} \rightarrow 0$ , тобто «тінь» на поверхні зникає, проте загальна освітленість при цьому знижується; навпаки, при малих  $h$  освітленість частини поверхні з  $\varphi > \varphi_{\min}$  зростає, але збільшується і сам кут  $\varphi_{\min}$  (на практиці другий варіант є переважним).

4. Циліндрична поверхня, лінійний випромінювач. Методика розрахунку освітленості  $E$  в цьому випадку аналогічна викладеній вище (рис. 4).

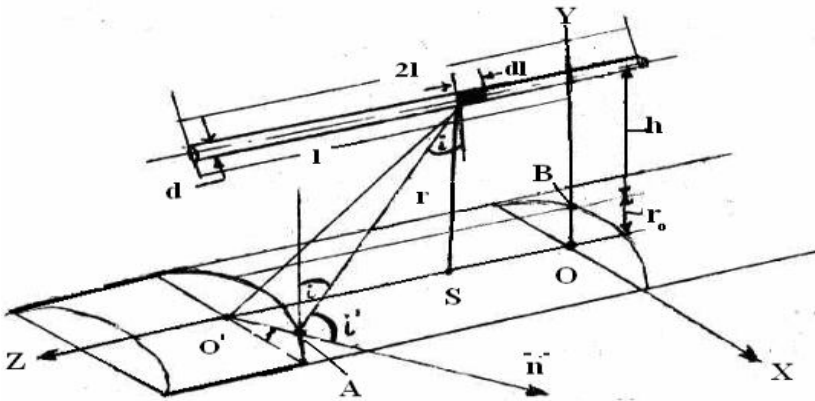


Рис. 4. Циліндрична поверхня, лінійний випромінювач

Мала ділянка випромінювача довжиною  $dl$  із площею видимої поверхні  $d \times dl$  у напрямку, нормальному до осі випромінювання, і з координатами  $(r_o + h, \pi/2; s)$  створює в точці  $A (r_o, \varphi, z)$  елементарну освітленість.

$$dE = \frac{B \cdot d \cdot dl \cdot \cos i \cdot \cos i^l}{r^2}. \quad (8)$$

Виразивши  $r$ ,  $\cos i$ ,  $\cos i^l$  через координати, перейшовши до змінної інтеграції  $\varphi = z-s$  і виконавши необхідні обчислення, отримаємо:

$$E = \int \frac{B \cdot d \cdot \cos i \cdot \cos i^l ds}{r^2} = I_0 \frac{(r_0 + h) \sin \varphi - r_0}{2a} \left\{ \frac{a^2 + l^2 - z^2}{[a^2 + (z+l)^2][a^2 + (z-l)^2]} + \frac{1}{2la} \left( \operatorname{arctg} \frac{z+l}{a} - \operatorname{arctg} \frac{z-l}{a} \right) \right\}, \quad (9)$$

$$\text{де } a = \sqrt{(r_0 + h)^2 - 2r_0(r_0 + h)\sin\varphi + r_0^2}.$$

Важливі для практики випадки отримуємо при  $\varphi = \pi/2$  («смуга» безпосередньо під випромінювачем), при  $\varphi = \pi/2$ ,  $z=0$  (максимум освітленості), а також при  $h > 1$  і  $h < K_l$ . Для практичного використання отриманих формул для  $E$  необхідно знати енергетичну силу світла  $I_0 = B \cdot d \cdot 2l$ , тобто яскравість  $B$ .

Для косинусного випромінювача  $B = K/\pi$ , де  $K$  – енергетична світність (променева енергія, що випускається випромінювачем в один бік, тобто в тілесний кут  $2\pi$ ), яка для ПЧ-випромінювача може бути виражена на основі законів теплового випромінювання або ж емпіричними формулами типу Гельгофта та ін., наведеними в спеціальній літературі. Для «сірого» випромінювача зі ступенем чорноти  $\epsilon$ , згідно з законом Стефана–Больцмана, маємо

$$K = \epsilon c_0 \left( \frac{T}{100} \right)^4, \quad (10)$$

де  $T$  – температура випромінювальної поверхні ( $K$ ).

Для ніхрому і вольфраму, якщо  $T > 1000$  К можна приблизно взяти  $\epsilon = 0,3$ ; тоді при  $T = 1200$  К маємо  $B = 1,1 \cdot 10^4$  Вт/м<sup>2</sup>. Отримані формули можуть бути використані для розрахунку теплових режимів ПЧ-нагрівання в харчовій технології, але це вже інша проблема, для окремого дослідження.

**Висновки.** У статті наведено методи розрахунку густини енергетичної освітленості, що створюється на плоскій або циліндричній поверхні ПЧ-випромінювачем, розміри якого є немаленькими порівняно з відстанню до поверхні, що нагрівається, або точкові, якщо розміри випромінювача малі порівняно з відстанню до поверхні, що опромінюється. Одержано аналітичні вирази для розрахунку освітленості залежно від складності початкових умов, типу

ПЧ-нагрівача (точковий чи лінійний), а також типу поверхні опромінення (пласка чи циліндрична).

### Список джерел інформації / References

1. Башмаков В. И. Аналитическое обобщение энергетических характеристик инфракрасных излучателей / В. И. Башмаков, П. Л. Пахомов, И. А. Рогов // Электронная обработка материалов. – 1971 – № 5 (41). – С. 83–88.

Bashmakov, V.I., Pakhomov, P.L., Rogov, I.A., (1971), «Analytical synthesis of power characteristics of infrared radiators», *Electronic processing of materials* [«Analitycheskoe obobshchenie energeticheskikh kharakteristik infrakrasnykh izluchatelei», *Elektronnaya obrabotka materialov*], No. 5 (41), Moscow, pp. 83–88.

2. Федоров Н. Е. Новые физические методы обработки пищевых продуктов / Н. Е. Федоров, И. А. Рогов, А. Е. Головкин // Новые технологии : сб. науч. тр. – М., 1967. – 235 с.

Fedorov, N.E., Rogov, I.A., Golovkin, A.E., (1967), «New physical methods of processing of foodstuff», *New Technologies* [«Novye fizicheskie metody obrabotki pishchevykh produktov», *Novye tekhnologii*], Moscow, 235 p.

3. Болгарских А. В. Термодинамика и теплопередача / А. В. Болгарских, Г. А. Мухачев, В. К. Щукин. – М. : Высшая школа, 1975. – 495 с.

Bolgarskikh, A.V., Mukhachev, G.A., Shchukin, V.K., (1975), «Thermodynamics and heatrepeating an examination», *The higher school* [«Termodinamika i teploperedacha», *Vysshaya shkola*], Moscow, 495 p.

4. Исаченко В. П. Теплопередача / В. П. Исаченко, В. А. Осипова, А. Л. Сухомел. – М. : Энергоиздат, 1981. – 416 с.

Isachenko, V.P., Osipova, V.A., Sukhomel, A.L., (1981), «Heat transfer», *Energoizdat* [«Teploperedacha», *Energoizdat*], Moscow, 416 p.

**Захаренко Віталій Олександрович**, д-р техн. наук, проф., факультет товарознавства і торговельного підприємництва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-60, 0974654693.

**Захаренко Виталий Александрович**, д-р техн. наук, проф., факультет товароведения и торгового предпринимательства, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Клочковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-60, 0974654693.

**Zakharenko Vitaly**, faculty of merchandizing and trade business, Dr. of technical sciences, Professor, Kharkov state university of feed and trade. Address: Klochkovska str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-60, 0974654693.

**Сорокіна Світлана Вікторівна**, канд. техн. наук, доц., факультет товарознавства і торговельного підприємництва, Харківський державний університет харчування та торгівлі. Адреса: вул. Клочківська, 333, м. Харків, Україна, 61051. Тел.: (057)349-45-60, 0502638075; e-mail: 19721980@mail.ru.



**Сорокина Светлана Викторовна**, канд. техн. наук, доц., факультет товароведения и торгового предпринимательства, Харьковский государственный университет питания и торговли. Адрес: ул. Ключковская, 333, г. Харьков, Украина, 61051. Тел.: (057)349-45-60, 0502638075; e-mail: 19721980@mail.ru.

**Sorokina Svetlana**, faculty of merchandizing and trade business, PhD. Sc. Associate Professor, Kharkov state university of feed and trade. Address: Klochkovska str., 333, Kharkov, Ukraine, 61051. Tel.: (057)349-45-60, 0502638075; e-mail: 19721980@mail.ru.

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

УДК 641.514.3:635.262

## **РОЗРОБКА РЕСУРСОЗБЕРІГАЛЬНОГО СПОСОБУ ОЧИЩЕННЯ ЧАСНИКУ ТА ПЕРСПЕКТИВНІ ШЛЯХИ РОЗРОБКИ ЙОГО АПАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕННЯ**

**О.Г. Терешкін, Д.В. Горелков, Н.О. Афукова, К.Г. Мельник**

*Проведено аналіз наукової літератури з дослідження способів та процесів очищення часнику, висвітлено проблемні питання, що виникають під час обробки часнику. Запропоновано процесні та конструктивні рішення реалізації питання механізації ресурсозберігаючого способу очищення часнику.*

***Ключові слова:** ресурсозбереження, процес очищення, часник, підсушування, коливальний рух.*

## **РАЗРАБОТКА РЕСУРСОБЕРЕГАЮЩЕГО СПОСОБА ОЧИСТКИ ЧЕСНОКА И ПЕРСПЕКТИВНЫЕ ПУТИ РАЗРАБОТКИ ЕГО АППАРАТУРНОГО ОФОРМЛЕНИЯ**

**О.Г. Терешкин, Д.В. Горелков, Н.А. Афукова, К.Г. Мельник**

*Проведен анализ научной литературы по исследованию способов и процессов очистки чеснока, отражены проблемные вопросы, возникающие при обработке чеснока. Предложены процессные и конструктивные решения реализации вопроса механизации ресурсосберегающего способа очистки чеснока.*

***Ключевые слова:** ресурсосбережение, процесс очистки, чеснок, подсушивание, колебательное движение.*

---

© Терешкін О.Г., Горелков Д.В., Афукова Н.О., Мельник К.Г., 2015