

ОПРОМІНЕННЯ ЕЛІПСОЇДА ДВОМА ТОЧКОВИМИ ДЖЕРЕЛАМИ

Міленін Д. М., Лисиченко М. Л.

Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка

Запропоновано методику розрахунку опроміненості поверхні шкаралупи яйця в процесі лазерної обробки інкубаційного яйця, при використанні двох точкових джерел випромінювання для забезпечення якісної активізації мікрофлори.

Постановка проблеми. В умовах сучасної та стрімко розвинутої конкуренції на ринку птахівництва висуваються високі вимоги до якості добового молодняку птиці. Головною запорукою отримання здорового та життєздатного молодняку є якісне проведення дезінфекції інкубаційного матеріалу. [1, 2].

Попередні дослідження продемонстрували високу потребу в знезараженні поверхні шкаралупи яєць перед закладкою до шафи інкубатора [3].

В попередніх дослідженнях було розраховано оптимальне розташування джерела лазерного випромінювання для забезпечення повного опромінення поверхні шкаралупи [4].

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Сучасна інкубація – є високотехнологічним процесом, який реалізує найсучасніші досягнення науки і техніки та дозволяє зародку реалізувати закладанні генетично параметри птиці [5]. Розвиток лазерних технологій в сільському господарстві дозволяє суттєво підвищити ефективність вказаного процесу [6, 7].

Мета статті. Розробити методику розрахунку опроміненості поверхні шкаралупи яйця розфокусованим лазерним променем та необхідної дози при обертанні поверхні на конвеєрі в процесі обробки.

Основні матеріали дослідження. Опромінення одним точковим джерелом через істотну нерівномірність опромінення уздовж поздовжньої вісі еліпсоїда, може призводити до небажаного наслідку - зниження дози опромінення. Цей недолік можна усунути за рахунок застосування в технологічній схемі опромінення одночасно двох точкових джерел.

Для дослідження процесу опромінення одним джерелом виявилось достатнім ввести в розгляд тільки частина "лінії раціонального розміщення", що лежить безпосередньо над еліпсоїдом ($z < 0 < 2c$). Тепер, щоб підвищити рівень опромінення торців еліпсоїда, ми будемо розміщувати на вказаній лінії: один з джерел ліворуч лівого торця, а інший - праворуч від правого, тобто розглянемо ті її ділянки ($z < 0$ і $z > 2c$), які раніше не вивчалися. Технічні характеристики обох джерел (силу випромінювання - J_i , кут поширення променів - ψ) природно прийняти однаковими. Тоді з міркувань симетрії схеми опромінення зрозуміло, що оптимальним буде таке розміщення джерел, при якому дотримується симетрія щодо вертикальної площини $z = c$, яка проходить через центр еліпсоїда. У зв'язку з цим має сенс розглядати тільки таке (синхронне) переміщення джерел, при якому зазначена симетрія зберігається.

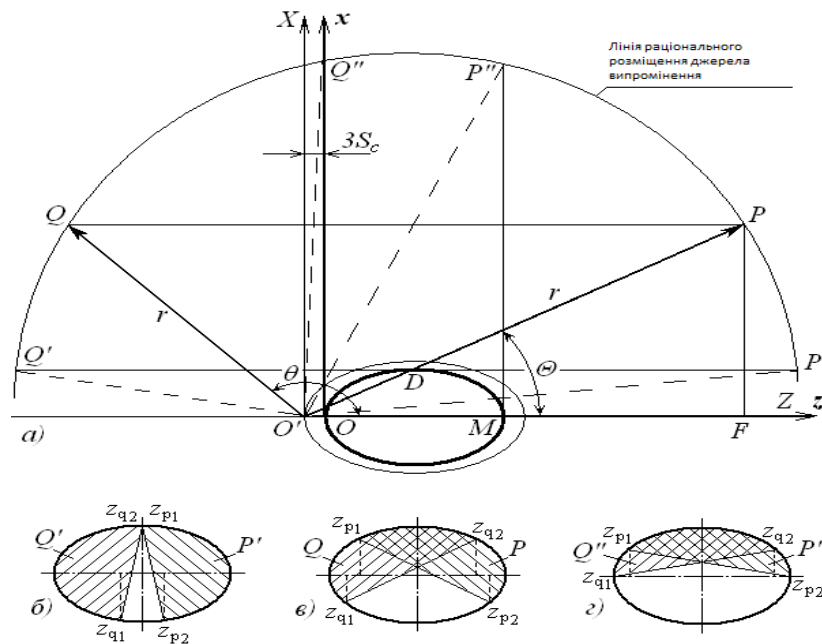


Рисунок 1. – Розрахункова схема опромінення еліпсоїда двома джерелами

Лінія раціонального розміщення джерел випромінювання має вигляд замкнутої кривої, розташованої в площині xOz (рис. 2) і, як зрозуміло з вищевикладеного, будується навколо еліпса з піввісями C і B . Крайні ділянки цієї лінії практично вертикальні, що викликає труднощі при використанні чисельних методів спільно з прямокутними і координатами. Тому для зручності обчислень, пов'язаних із зазначеною лінією, перейдемо до полярної системи координат. Нехай радіус-вектор r , довільної точки шуканої кривої має нахил θ . Маємо співвідношення:

$$X = r \sin \theta, \quad Z = r \cos \theta. \quad (1)$$

Координатами точки на шуканій кривій відповідають координати двох точок $K_1(X_1, Z_1), K_2(X_2, Z_2)$, торкання еліпсоїда променями джерела:

$$Z_{1,2}(r, \theta) = \frac{C^3(r \sin \theta)^2 - C \cdot B^2(r \cos \theta)(C - r \cos \theta) \pm \sqrt{D(r, \theta)}}{B^2(C - r \cos \theta)^2 + C^2(r \sin \theta)^2}, \quad (2)$$

$$X_1(r, \theta) = \frac{B}{C} \sqrt{C^2 - (Z_1(r, \theta) - C)^2} \operatorname{sign}(r \cos \theta), \quad (3)$$

$$X_2(r, \theta) = \frac{B}{C} \sqrt{C^2 - (Z_2(r, \theta) - C)^2} \operatorname{sign}(2C - r \cos \theta), \quad (4)$$

$$\text{де } D(r, \theta) = \left[C^3(r \sin \theta)^2 - C \cdot B^2(r \cos \theta)(C - r \cos \theta) \right]^2 - \left[B^2(C - r \cos \theta)^2 + C^2(r \sin \theta)^2 \right] B^2 C^2 (r \cos \theta)^2$$

З урахуванням записаних співвідношень рівняння кривої в полярних координатах можна представити у вигляді

$$F_p(r, \theta) = \frac{1}{L_1(r, \theta)L_2(r, \theta)} \left[(X_1(r, \theta) - r \sin \theta)(X_2(r, \theta) - r \sin \theta) + (Z_1(r, \theta) - r \cos \theta)(Z_2(r, \theta) - r \cos \theta) \right] - \cos \psi, \quad (5)$$

де:

$$L_1(r, \theta) = \sqrt{(X_1(r, \theta) - r \sin \theta)^2 + (Z_1(r, \theta) - r \cos \theta)^2}, \quad (6)$$

$$L_2(r, \theta) = \sqrt{(X_2(r, \theta) - r \sin \theta)^2 + (Z_2(r, \theta) - r \cos \theta)^2}. \quad (7)$$

Зв'язок між кутом θ і значенням радіуса-вектора r знаходимо чисельно засобами «Mathcad» наступним чином:

$$\begin{aligned} r &:= 0.12 \\ R(\theta) &:= \operatorname{root}(F_p(r, \theta), r) \end{aligned} \quad (8)$$

Тут 0,12 - початкове значення для чисельного пошуку параметра r .

Функція "root" отримує значення кута θ , записаного в дужках лівої частини рівності, вирішує рівня-

ня $F_p(r, \theta) = 0$ щодо величини r і привласнює це значення виразу $R(\theta)$. Наприклад: $R(1.57) = 0.1698$. Таким чином, вираз (8) за змістом можна сприймати, як рівняння шуканої лінії.

Для визначення дози опромінення крім координат точок випромінювання необхідно також мати координати точок дотику еліпсоїда променями у вертикальній площині $y = 0$. Врахуємо ще, що розрахунок оптимальних параметрів процесу опромінення слід проводити за еліпсоїдом, який має середні розміри c, b , причому $c = C - 3S_c$. На схемі (рис. 1) цей еліпсоїд розташований концентрично всередині більшого еліпсоїда з півосями C, B . Отже, необхідно перейти до системи координат xOz , яка зміщена щодо системи $xO'Z$ на величину $3S_c$ вздовж осі $O'Z$.

Нехай один з джерел знаходиться в точці Q і пов'язаний з системою координат $xO'Z$ радіусом-вектором під нахилом θ . При переході до системи xOz , уникаючи плутанини в позначеннях, домовимося як і раніше координати джерел випромінювання позначати великими літерами X, Z , але візьмемо до уваги зазначене зміщення осей. Таким чином, прямокутними координатами джерела Q в системі осей xOz будуть:

$$X(\theta) = R(\theta) \sin \theta, \quad Z(\theta) = R(\theta) \cos \theta - 3S_c. \quad (9)$$

Нехай тепер становище іншого джерела P визначається радіусом-вектором, що має нахил θ (рис. 1). Виходячи з умов симетрії, кут θ належить вибрати так, щоб точки P і Q знаходилися на одній горизонталі. Знайдемо його з трикутника OPF , катети якого при дотриманні зазначеної симетрії рівні: $PF = X(\theta)$, $OF = 2C - Z(\theta) - 3S_c$. Зрозуміло, що шуканий кут можна визначити із залежності:

$$\theta(\theta) = \operatorname{arctg} \left(\frac{PF}{OF} \right) = \operatorname{arctg} \left(\frac{X(\theta)}{2C - Z(\theta) - 3S_c} \right). \quad (10)$$

При відомому куті θ координати точок дотику еліпсоїда променями, що виходять з другого джерела P визначаються з тих же залежностей (10) - (13) при заміні в них кута θ на кут $\theta(\theta)$:

$$z_{p1,2}(\theta) = z_{q1,2}(\theta(\theta)), \quad x_{p1,2}(\theta) = x_{q1,2}(\theta(\theta)) \quad (11)$$

Те ж стосується прямокутних координат самого джерела P , для визначення яких слід використовувати співвідношення (9), замінивши в них кут θ кутом $\theta(\theta)$.

Визначимо розподіл дози опромінення по довжині $z \in [0; 2c]$ еліпсоїда при установці джерел випромінювання в різних точках лінії раціонального розміщення з дотриманням симетрії. Перетворимо підінтегральної функції так, щоб при переході через точки $z = 0$ і

$z = 2c$ виключити розподіл на нуль. Цей ефект виникає через наявність у зазначеній функції похідною $r'(z)$, яка містить в знаменнику вираз $\sqrt{2cz-z^2}$. Помножимо чисельник і знаменник підінтегральної функції на наведене вираз і запишемо отриманий результат для лівого джерела Q :

$$f(z, \varphi, \theta) = \left(c\sqrt{2cz-z^2} (X(\theta)\cos\varphi - r(z)) - b(c-z)(Z(\theta)-z) \right) / \left(\sqrt{[c^2(2cz-z^2)+b^2(c-z)^2]} \right) \cdot \sqrt{[X^2(\theta) - 2X(\theta)r(z)\cos\varphi + r^2(z) + (Z(\theta)-z)^2]} \quad (12)$$

Верхньою межею інтегрування є залежність, яку для того ж джерела Q можна записати так:

$$\phi(z, \theta) = \begin{cases} \arccos \frac{b[cZ(\theta)+(c-Z(\theta))z]}{cX(\theta)\sqrt{2cz-z^2}} & \text{при } z \neq 0; \\ \frac{\pi}{2} & \text{при } z=0. \end{cases} \quad (13)$$

Ця залежність використовується далі на проміжку, що не перевищує $z \in [0; 2c]$, тому додаткові умови, наводити не обов'язково.

Доза опромінення визначається інтеграцією функції (16). Запишемо цей інтеграл для джерела Q і поширимо його на всю довжину еліпсоїда $z \in [0; 2c]$. Для цього звернемося до схеми на рис. 1 в, з якої випливає, що на відрізку $z \in [0; z_{q1}]$ лівий торець еліпсоїда опромінюється повністю і для кута φ можна прийняти межі зміни: $0 \leq \varphi \leq \pi$. На проміжку $z \in (z_{q1}, z_{q2})$ межами, як і раніше, будуть: $0 \leq \varphi \leq \phi(z, \theta)$. На проміжку $z \in (z_{q2}, 2c)$ опромінення еліпсоїда джерелом Q не відбувається, тому для функції (16), як і інтеграла від неї, можна прийняти нульове значення. Виходячи з цього, запишемо:

$$EQ(z, \theta) = \begin{cases} \int_0^\pi f(z, \varphi, \theta) d\varphi & \text{при } z \in [0; z_{q1}(\theta)], \\ \int_0^{\phi(z, \theta)} f(z, \varphi, \theta) d\varphi & \text{при } z \in (z_{q1}(\theta); z_{q2}(\theta)), \\ 0 & \text{при } z \in [z_{q2}(\theta); 2c]. \end{cases} \quad (14)$$

Для джерела P позначимо $F(z, \varphi, \theta), \Phi(z, \theta)$ - функції відповідні вже знайденим: (16), (17). Вони легко виходять з виразів (16), (17) заміною в них кута θ кутом $\Theta(\theta)$:

$$F(z, \varphi, \theta) = f(z, \varphi, \Theta(\theta)); \quad \Phi(z, \theta) = \phi(z, \Theta(\theta)). \quad (15)$$

Щоб записати для джерела P функцію, аналогічну (18), необхідно знову звернутися до схеми (рис. 1 в). Беручи до уваги співвідношення (15), запишемо:

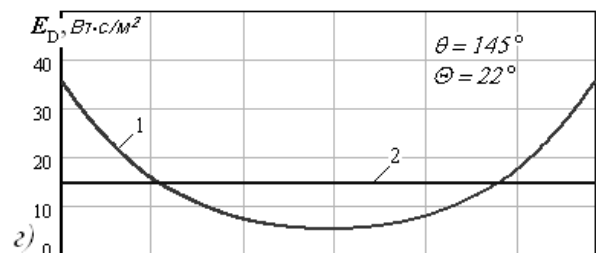
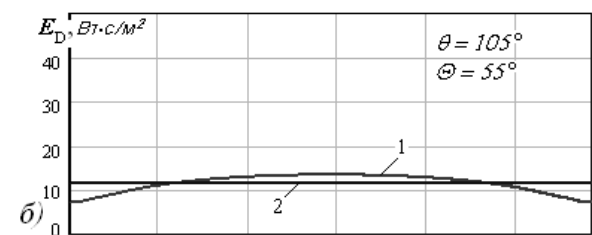
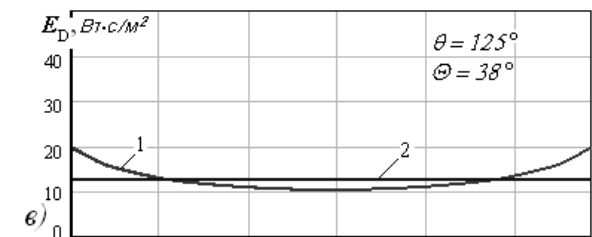
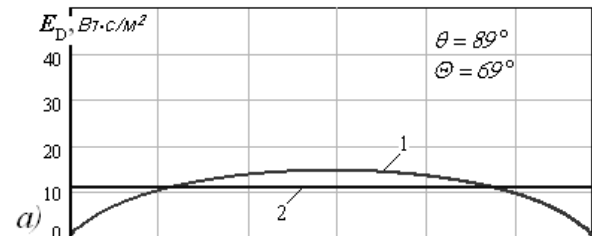
$$EP(z, \theta) = \begin{cases} 0 & \text{при } z \in [0; z_{p1}(\theta)], \\ \int_0^{\phi(z, \theta)} F(z, \varphi, \theta) d\varphi & \text{при } z \in (z_{p1}(\theta); z_{p2}(\theta)), \\ \int_0^\pi F(z, \varphi, \theta) d\varphi & \text{при } z \in [z_{p2}(\theta); 2c]. \end{cases} \quad (16)$$

Таким чином, доза опромінення за довжиною еліпсоїда двома симетрично розташованими джерелами дорівнює:

$$E_D(z, \theta) = \frac{2J_1}{\omega} [EQ(z, \theta) + EP(z, \theta)]. \quad (17)$$

На підставі отриманої рівності можна визначити середнє значення дози опромінення поверхні еліпсоїда:

$$E_D(\theta) = \frac{1}{c} \int_0^c E_D(z, \theta) dz = \frac{2J_1}{\omega c} \int_0^c [EQ(z, \theta) + EP(z, \theta)] dz \quad (18)$$



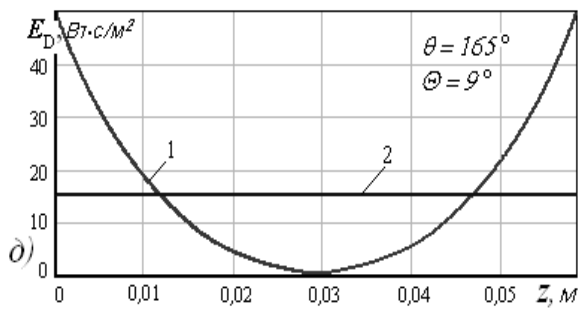


Рисунок 2 – Поточна (1) і середня (2) дози опромінення в залежності від положення джерел при:

$$c = 0,029\text{м}; S_c = 0,0014\text{м}; \varepsilon = 0,634; \psi = 22^\circ;$$

$$J_i = 0,05\text{ВТ}; \omega = 0,5\text{с}^{-1}$$

Розглянемо випадок, коли ліве і праве джерела знаходяться, відповідно, в точках Q' і P' (рис. 1 а). Тоді промені від обох джерел будуть приходити в точку D поперечного перерізу еліпсоїда під кутом $\gamma = 90^\circ$, в результаті чого його середня частина залишиться не опромінена. Найкраще в цьому випадку будуть опромінені торці еліпсоїда (рис. 1 б). При заданих розмірах $c = 0,0293\text{м}$, $b = 0,0227\text{м}$ піввісей описаної ситуації відповідають кути $\theta = 165^\circ$, $\phi = 9^\circ$. Очевидно, що збільшення кута θ понад 165° і зменшення кута ϕ нижче 9° тільки погіршить опромінення. Якщо джерела будуть перебувати в точках Q'' і P'' ($\theta = 89^\circ$, $\phi = 69^\circ$), то аналогічна ситуація виникне у торців O і M еліпсоїда, які не будуть опромінені, а найбільше опромінення отримає середня частина еліпсоїда (рис. 1 г). зменшувати кут θ (збільшувати ϕ) недоцільно з тієї ж причини.

Висновки. Таким чином, очікувати якісне (рівномірний) опромінення слід в межах зміни кутів: $89^\circ < \theta < 165^\circ$, $9^\circ < \phi < 69^\circ$.

На рис. 2 на підставі розрахунку за формулами (2.95), (2.96) більш загострені графіки поточної дози опромінення (разом із середнім значенням) в п'яти точках розміщення джерел з наведеного діапазону кутів. Позиції (а), (д) малюнка відповідають крайніх точках діапазону. Як бачимо, при $\theta = 89^\circ$ найбільш опромінюється є центральна частина еліпсоїда, а з наближенням до його торців доза опромінення зменшується до нуля, що відповідає схемі на рис. 2. При $\theta = 165^\circ$ маємо протилежний ефект: доза опромінення зменшується до нуля в центральній частині еліпсоїда і максимальна на його кінцях (рис. 2 б). Причому в цьому випадку спостерігається найбільший розкид дози (від 0 до $50\text{Вт}\cdot\text{с}/\text{м}^2$). Це пояснюється тим, що в цьому положенні джерел еліпсоїд розгорнуто до них вузькою частиною і знаходиться ближче до джерел, ніж це має місце при менших кутах θ . Рисунок також показує, що середнє значення дози зі зміною положення джерел змінюється незначно, але відхилення дози від середнього істотно залежить від кута θ .

Список використаних джерел

1. Internationale DLG – Fachavstellung fun Tierhaltung und Management / Euro Tier – Neuheitung - Magazin: 11-14 No – Vember 2008 MessegeLand Hannover – Max –Eyth – Veriag Frankfurt, 2008/ - S. 24.
2. Кочеш И. И. Птацеводство / И. И. Кочеш, М. Г. Петраш, С. Б. Смигунов – М.: Колос, 2004. – 407 с.
3. Міленін Д. М. Лазерна обробка інкубаційних яєць / Д. М. Міленін // Матер. XXXV науч.-практ. конф. "Применение лазеров в медицине и биологии" (25-28 мая 2011 г.) – Харьков: ХНУ ім. В. Н. Каразіна, 2011.- С. 235-236.
4. Міленін Д. М. Визначення оптимального місця розміщення джерела лазерного випромінювання / Д. М. Міленін // Журнал "Енергетика та комп'ютерно-інтегровані технології в АПК" – Харків: ХНТУСГ, 2016. – Вип. 1 (4). – С. 52 – 55.
5. Тагиров М. Т. Инкубация яиц сельскохозяйственной птицы: метод. рек. / М. Т. Тагиров, Н. В. Шомина, А. Б. Артеменко, ін. – Харків: ПНААН, 2009. – 132 с.
6. Міленін Д. М. Підвищення ефективності знезараження інкубаційних яєць / Д. М. Міленін, М. Л. Лисиченко, О. В. Терещенко, О. Б. Артеменко // матер. XXXVI науч. – практ. конф. "Применение лазеров в медицине и биологии" (5-8 октября 2011 г.) Судак: ХНУ ім. Каразіна, 2011. – С. 139-140.
7. Міленін Д. М. Ефективність лазерної обробки інкубаційних яєць/ Д. М. Міленін, М. Л. Лисиченко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенко. Технічні науки. "Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України" – Харків: ХНТУСГ, 2012. – Вип. 129. – С. 84 – 87

Аннотация

ОБЛУЧЕНИЕ ЭЛИПСА ДВУМЯ ТОЧЕЧНЫМИ ИСТОЧНИКАМИ

Миленин Д. Н., Лисиченко Н. Л.

Предложена методика расчета облученности поверхности скорлупы яйца в процессе лазерной обработки инкубационного яйца, при использовании двух точечных источников излучения для обеспечения качественной активации микрофлоры.

Abstract

EXPOSURE TO STILL ELLIPSOID POINT SOURCES

D. Milenin, N. Lysychenko

The method for calculating the irradiated surface of the shell eggs in the process of laser processing of hatching eggs, with the use two point radiation sources to ensure quality of activation of micro flora.