

УДК 637.433.4

УСЛОВИЕ ОБЛУЧЕНИЯ НЕПОДВИЖНОГО ЭЛЛИпсоИДА ТОЧЕЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ

Миленин Д.Н., инженер,
Лисиченко Н.Л., д.т.н.

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенка

Тел.: (057) 712-50-56

Аннотация - в результате проведенных теоретических исследований определены граничные значения облученности точек на поверхности эллипсоида при различных условиях размещения точечного источника излучения.

Ключевые слова: когерентное оптическое излучение, облученность объекта, аппроксимация поверхности яйца в эллипсоид.

Постановка проблемы. Эффективность производства продукции птицеводства напрямую связана с качеством полученного молодняка птицы, которая поставляется на птицефабрики для последующего содержания [1]. Поэтому особенное внимание следует обратить на процесс инкубации, который зависит от качества обеззараживания поверхности скорлупы яйца перед закладкой в шкаф инкубатора [2].

Анализ последних исследований. Раньше было показано, что облучение поверхности скорлупы яйца когерентным оптическим (лазерным) излучением для активизации вредной микрофлоры значительно повышает эффективность последующего химического обеззараживания [3]. Но в процессе лазерной обработки необходимо учитывать условия поглощения излучения биологическими объектами (бактериями) [4] и обеспечить равномерное облучение всей поверхности скорлупы и выдержать необходимую дозу облученности, аппроксимированного в виде эллипсоида яйца [5]. Причем, необходимо определить месторасположение лазера над яйцом с учетом его высокой плотности потока излучения и изменения угла падения на поверхность эллипсоида [6, 7].

Основная часть. Пусть облучение происходит в соответствии со схемой представленной на рис.1. Обозначим: J_i – сила излучения ис-

точника $[Bm]$, E – облученность $[Bm/m^2]$. Как известно [8], приведенные величины связаны между собой зависимостью:

$$E = \frac{J_i \cos \gamma}{r_i^2} = \frac{J_i \cos \gamma}{PM^2}, \quad (1)$$

где r_i – расстояние от источника до облучаемого объекта.

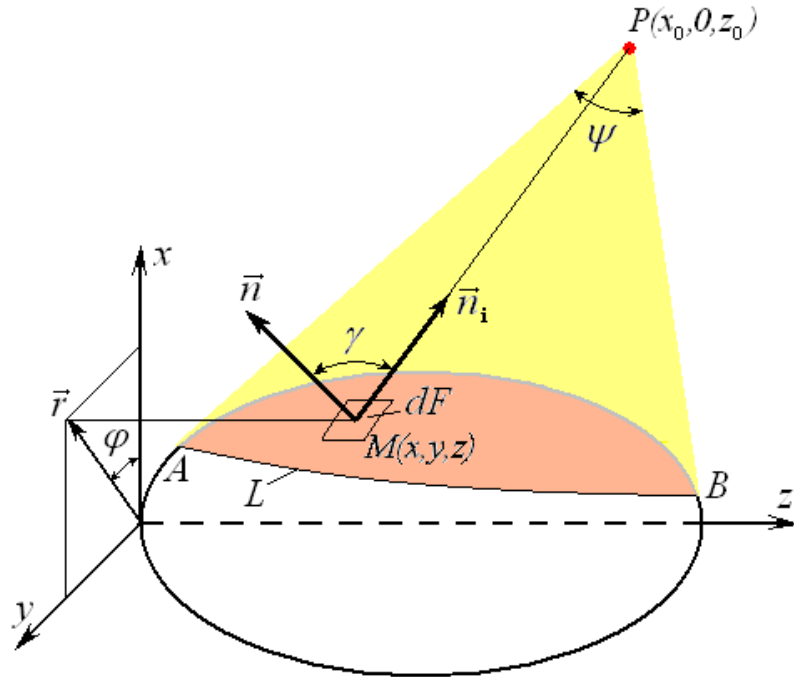


Рис. 1. Расчетная схема облучения поверхности скорлупы яйца.

Получим выражение для определения облученности точек поверхности неподвижного эллипсоида:

$$E(\varphi, z) = J_i \frac{x_0 \cos \varphi - r(z) - r'_z(z_0 - z)}{\sqrt{[1 + (r'_z)^2] [x_0^2 - 2x_0 r(z) \cos \varphi + r^2(z) + (z_0 - z)^2]^3}}. \quad (2)$$

Следует иметь в виду, что цилиндрические координаты φ , z в этом выражении должны соответствовать точкам внутренней области линии L (рис. 1). Можно также воспользоваться прямоугольными координатами y , z , для чего необходимо выполнить замену:

$$\cos \varphi = \frac{\sqrt{r^2(z) - y^2}}{r(z)}. \quad (3)$$

Тогда каждая выбранная точка поверхности эллипсоида, имеющая координаты y, z на горизонтальной плоскости yOz , должна попадать внутрь эллипса.

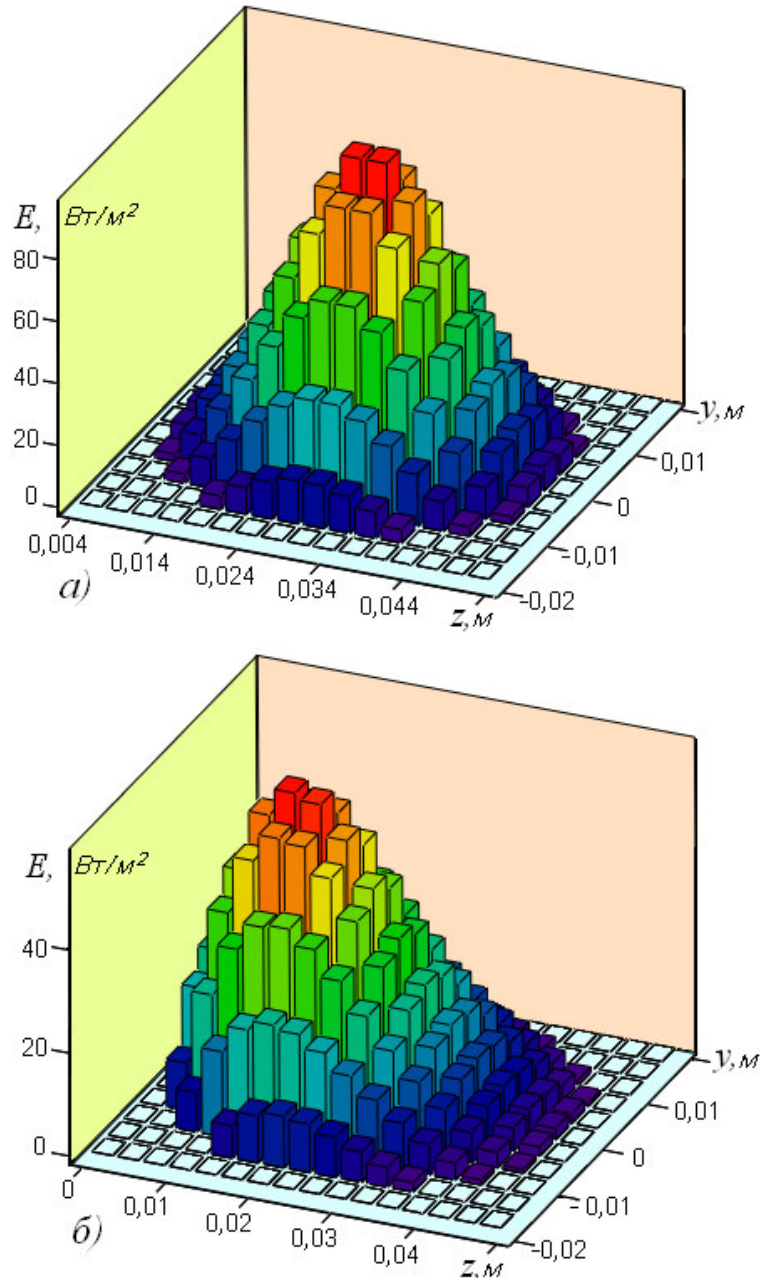


Рис. 2. Диаграммы облучения неподвижного эллипсоида, построенные на проекциях облучаемого пятна на плоскость yOz при: а) $z_0 = \tilde{n}$; б) $z_0 = 0$, а также $x_0 = 2b$, $b=0,0226$ м; $\tilde{n}=0,0293$ м; $J_i = 50$ Вт.

Некоторое представление о степени облученности поверхности эллипсоида дают столбчатые диаграммы на рис. 2. Они построены на эллипсах, как на плоской основе. Расчет облученности проводился лишь для тех клеток разбиения прямоугольника

$\tilde{z} - C \leq z \leq \tilde{z} + C$, $-B \leq y \leq B$ плоскості yOz , которые располагались внутри указанных эллипсов.

Диаграммы показывают симметричное распределение облученности относительно вертикальной плоскости xOz , наличие локальных максимумов и уменьшение облученности до нуля на границе области, что и следовало ожидать.

Большее значение локального максимума наблюдается при размещении источника над центральной частью эллипсоида (рис. 2 а). При смещении источника вдоль оси Oz (параллельно оси симметрии эллипсоида) экстремум смещается в ту же сторону, одновременно убывая (рис. 2 б).

Очевидно, что именно экстремумы имеют преимущественное значение при соблюдении допустимых доз облучения. Постольку же имеет место указанная выше симметрия, то функцию (2) целесообразно свести к одному аргументу – z , проведя ее усреднение по углу φ .

Чтобы отличить переменную подынтегральной функции и пределы интегрирования, обозначим значение угла φ на линии L буквой ϕ . Для угла ϕ будем иметь

$$\phi(z) = \arccos \frac{b[cz_0 + (c - z_0)z]}{cx_0 \sqrt{2cz - z^2}}. \quad (4)$$

Следовательно, угол φ изменяется в промежутке $-\phi(z) \leq \varphi \leq \phi(z)$. Однако, учитывая четность подынтегральной функции по φ , пределы интегрирования можно упростить

$$E(z) = \frac{1}{\phi(z)} \int_0^{\phi(z)} E(\varphi, z) d\varphi =$$

$$= \frac{J_1}{\phi(z)} \int_0^{\phi(z)} \frac{[x_0 \cos \varphi - r(z) - r'_z(z_0 - z)]}{\sqrt{[1 + (r'_z)^2][x_0^2 - 2x_0 r(z) \cos \varphi + r^2(z) + (z_0 - z)^2]^3}} d\varphi \quad (5)$$

Решение интеграла (5) проводилось в среде «Mathcad», в которой предлагается на выбор четыре численных алгоритма интегрирования: “Метод Ромберга” (Romberg) – для большинства функций, не содержащих особенностей; “Адаптивный метод” (Adaptive) – для функций, быстро меняющихся на интервале интегрирования; “Предел в бесконечности” (Infinite Limit) – для интегралов с бесконечными пределами; “Особая конечная точка” (Singular Endpoint) – для интегралов с сингулярностью на конце.

Третий метод по понятным причинам для нашего случая не подходит. Остальные дают одинаковые результаты, но адаптивный имеет некоторое преимущество в скорости. Он же предлагается и автовыбором системы, поэтому здесь и в дальнейшем (особенно для кратного интегрирования) будем использовать именно его.

На рис. 4 на основании расчета построены графики функции (5) при фиксированных положениях источника облучения, а на рис. 4 – зависимость максимального значения (E_{\max}) облученности от координаты расположения источника по горизонтальной оси Oz . Для вычисления указанного максимального значения использовалась встроенная функция «Mathcad» – “Maximize”.

Качественно графики на рис. 3 подтверждают результаты, полученные по рис. 2, но проводить количественный анализ по таким графикам существенно проще.

Зависимость на рис. 4 представляет собой линию локальных максимумов. В свою очередь эта линия тоже имеет максимум, который по определению следует считать глобальным. Как видим, он имеет место, когда источник излучения расположен над центром эллипсоида.

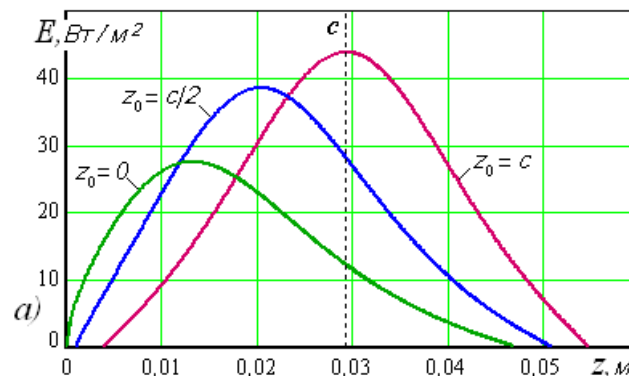


Рис.3. Изменение средней облученности по длине эллипсоида при:

$$b=0,0226 \text{ м}; \tilde{n}=0,0293 \text{ м} \quad J_i = 50 \text{ Вт} \quad x_0 = 2b$$

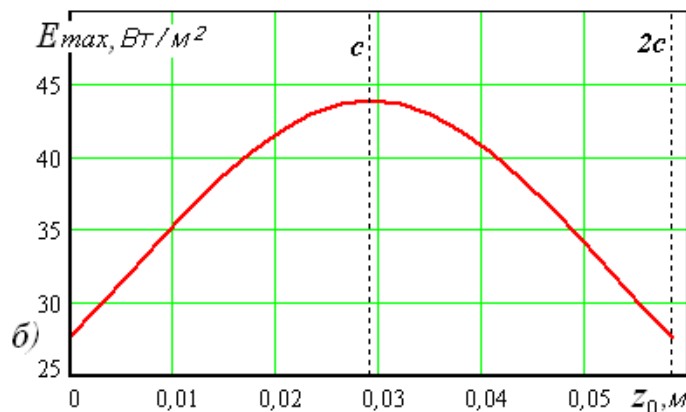


Рис.4. Изменение максимальной облученности эллипсоида в зависимости от горизонтальной координаты размещения источника

$$\text{при: } b=0,0226 \text{ м}; \tilde{n}=0,0293 \text{ м} \quad J_i = 50 \text{ Вт} \quad x_0 = 2b$$

Формулы (5) удобны для определения облученности отдельных участков эллипсоида. Но они не дают возможности оценить облученность, которую получает вся освещенная поверхность эллипсоида одновременно. В таких случаях в качестве оценки принято вводить среднее значения показателя. Для этого необходимо определить силу светового потока J , воспринимаемую всей поверхностью (пятном) облучения и разделить ее на площадь этой поверхности.

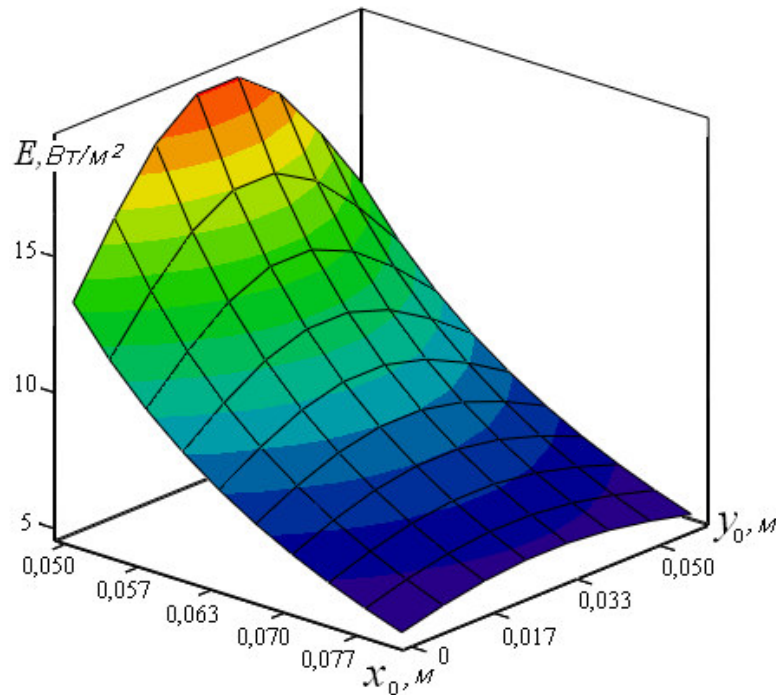


Рис.5. Изменение средней облученности эллипсоида в зависимости от расположения источника излучения при:

$$b=0,0226 \text{ м}; \tilde{n}=0,0293 \text{ м}; J_i = 50 \text{ Вт}.$$

Площадь элементарной площадки, выделенной на поверхности эллипсоида (рис. 1) равна

$$dF = \sqrt{1 + (r'_z)^2} r(z) d\phi dz. \quad (6)$$

Отсюда вытекает выражение для определения площади пятна облучения

$$S_n = 2 \int_{z_1}^{z_2} dz \int_0^{\phi(z)} \sqrt{1 + (r'_z)^2} r(z) d\phi. \quad (7)$$

Внутренний интеграл легко берется, так как подынтегральная функция не зависит от угла ϕ . В этой связи формулу (7) можно переписать в удобном для использования виде

$$S = 2 \frac{b}{c^2} \int_{z_1}^{z_2} \sqrt{(2cz - z^2)c^2 + (c - z)^2 b^2} \arccos \left[\frac{b}{c} \cdot \frac{cz_0 + (c - z_0)z}{x_0 \sqrt{2cz - z^2}} \right] dz. \quad (8)$$

Элементарная сила излучения dJ , приходящаяся на площадку dF очевидно равна $E(\varphi, z)dF$. Учитывая соотношения (2) и (6), для определения средней облученности эллипсоида окончательно получим

$$E = 2 \frac{J_i}{S} \int_{z_1}^{z_2} dz \int_0^{\phi(z)} \frac{[x_0 \cos \varphi - r(z) - r'_z(z)(z_0 - z)]r(z)}{[x_0^2 - 2x_0 r(z) \cos \varphi + r^2(z) + (z_0 - z)^2]^{\frac{3}{2}}} d\varphi \quad (9)$$

Выражение (9) показывает, что среднее значение облученности зависит от расположения источника излучения. Эта зависимость показана на рис. 5.

Выводы. Как видим, наиболее существенное влияние на облученность имеет удаление (x_0) источника от облучаемой поверхности: с его увеличением среднее значение облученности резко падает. Приближение источника к центральной части эллипсоида ($z_0 = c = 0,0293$) увеличивает облученность. Но эта особенность при удалении источника (возрастании координаты z_0) ослабевает.

Список использованной литературы.

1. *Алексеев Ф.Ф.* Промышленное птицеводство / *Ф.Ф. Алексеев, М.А. Асриян, Н.Б. Бельченко и др.* – М.: Агропромиздат, 1991. – 554 с.
2. *Буртов Ю.З.* Инкубация яиц. Справочник / *Ю.З. Буртов, Ю.С. Голдин, И.П. Кривошипин* – М.: Агропромиздат, 1990. – 239 с.
3. *Міленін Д. М.* Лазерна технологія знезаражування інкубаційних яєць / *Д. М. Міленін, М. Л. Лисиченко, О.В., Терещенко, О.Б. Артеменко* // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенко. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Харків: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 116. – С. 134 – 136
4. *Лисиченко Н.Л.* О поглощении низкоинтенсивного лазерного излучения молекулами в тканях биообъекта // Проблемы бионики. – 2001. №54. – С. 108-111
5. *Лисиченко М.Л.* Опромінювальні світлотехнічні установки з когерентними джерелами випромінювання // Вісник ХДТУСГ “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Харків: ХДТУСГ, 2003. – С. 265-273

6. Лисиченко М.Л. Низькоенергетичні лазерні електротехноогії в тваринництві: Автореф. дис. ...доктора техн. наук / Хар. нац. техн. ун-т с.г. – Харків: 2006. - 40 с.
7. Патент України на корисну модель No 72084. України М ПК (2012) А01К 45/00. Спосіб обробки інкубаційних яєць / Д.М. Міленін, М. Л. Лисиченко, О.В. Терещенко, О.Б. Артеменко (Україна). № u 2011 15208; Заявлено 22.12.2011; Опубл. 10.08.2012. Бюл.№19. – 4 с.
8. Бутиков Е.И. Оптика: учеб. пособ. [для студ. физ. спец. вузов] / Бутиков Е.И., Е.П.Бутиков, – М.: «Высшая школа», 1986. – 512 с.

УМОВИ ОПРОМІНЕННЯ РУХОМОГО ЕЛІПСОЇДА ТОЧКОВИХ ДЖЕРЕЛ

Миленин Д.М., Лисиченко М.Л.

Анотація - в результаті проведених теоретичних досліджень визначені граничні значення опроміненості точок на поверхні еліпсоїда при різних умовах розміщення точкового джерела випромінювання.

IRRADIATION CONDITIONS STILL ELLIPSOID POINT SOURCES

D. Milenin, M. Lysychenko

Summary

As a result of theoretical studies, investigations determined boundary values irradiance points on the surface of the ellipsoid under different conditions of placement of a point source of radiation