

УДК 637.433.4

Міленін Дмитро Миколайович, аспірант
Лисиченко Микола Леонідович, професор
Завгородній Олексій Іванович, професор

Харківський національний технічний університет сільського господарства ім. П. Василенка, Україна, Харків.
 Вул. Артема, 44, Харків, Україна, 61000, +38(066)18-16-879, milenin@fromru.com

ГЕОМЕТРИЯ ОБЛАСТИ ЕЛЛІПСОЇДА, ОСВІТЛЮЕМОГО ТОЧКОВИМ ДЖЕРЕЛОМ

На основі теоретичних досліджень встановлено умови опромінення поверхні шкаралупи яйця від точкового джерела когерентного монохроматичного випромінювання.

Ключові слова: монохроматичне оптичне випромінювання, опромінення поверхні еліпсоїда, координатний метод розрахунку рівня опроміненості.

Миленин Дмитрий Николаевич, аспирант
Лисиченко Николай Леонидович, профессор
Завгородний Алексей Иванович, профессор

Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства им. П. Василенко, Харьков, Украина. Ул. Артема, 44, Харьков, Украина, , 61000, +38(066) 18-16-879, milenin@fromru.com

ГЕОМЕТРИЯ ОБЛАСТИ ЭЛЛИпсоИДА, ОСВЕЩАЕМОЙ ТОЧЕЧНЫМ ИСТОЧНИКОМ

На основании теоретических исследований определены условия облучения поверхности скорлупы яйца от точечного источника когерентного монохроматического излучения.

Ключевые слова: монохроматическое излучение, облучение поверхности эллипсоида, координатный метод расчета уровня облученности.

Milenin Dmytro Nikolaevich, graduate student

Lysychenko Mikola Leonidovich, professor

Zavgorodnii Oleksiy Ivanovich, professor

Kharkiv National Technical University of Agriculture name of Petro Vasilenko, Kharkiv, Ukraine. Artema, 44, 61002, +38(066) 18-16-879, milenin@fromru.com

GEOMETRY OF THE DOMAIN ELLIPSOID POINT SOURCE LIGHTING

On the basis of theoretical studies determined irradiation conditions the surface of the egg shell from a point source of coherent monochromatic radiation.

Operative words: monochromatic optical radiation exposure of the surface of the ellipsoid, coordinate method of calculating the level of exposure.

Постановка проблеми

Сучасна птахоферма уявляє собою комплекс приміщень зібраних на невеликій території, які об'єднують батьківське стадо, інкубаторій, промислове стадо, цех виробництва кормів, забійний цех та інші. Така сукупність поголів'я сприяє збільшенню кількості мікроорганізмів та зростанню їх патогенності. Самою слабою ланкою на птахофабриці з точку зору бактеріальної стійкості є інкубаторій, тому що при потраплянні до інкубаційної шафи (+38 °С; 80 % вологості) бактерії починають інтенсивно розмножуватись. При проникненні їх крізь шкаралупу яйця шкідливі бактерії вражають ембріон, що підвищує його загибель у перші дні розвитку та значно знижує загальну виводимість [1, 2].

Аналіз останніх досліджень

Важливу роль у процесі вирощування здорового молодняка птиці мають санітарно-гігієнічні заходи та економічно безпечні технології для підвищення ефективності дезінфекційних заходів [3, 4].

Відомі лазерні технології у птахівництві, які ґрунтуються на активізації процесу розвитку зародку при інкубації. Передбачається опромінення когерентним монохроматичним (лазерним) випромінюванням інкубаційних яєць перед закладанням їх у шафу, що дозволяє активізувати біохімічні процеси в клітина зародку, а в подальшому забезпечує синхронність виводу та підвищення життєдіяльності отриманого молодняка [5].

Попередні експериментальні дослідження по активізації мікрофлори на поверхні яйця перед подальшим хімічним знезараженням у парах формальдегіду показали високу ефективність. Так, ефективність знезараження збільшується майже на 14% [6]. Однак загальна ефективність залежить від рівномірності лазерного опромінення поверхні шкарлупи яйця.

Формулювання мети статті

Провести теоретичне дослідження умов опромінення поверхні шкарлупи яйця монохроматичним когерентним випромінюванням – лазером.

Основна частина

Задача дослідження – вплив світлового потоку на шкідливу мікрофлору яйця відбувається на поверхні шкарлупи яйця, доступної для освітлення. Тому, для виявлення ефекту опромінення важливо враховувати геометричні параметри освітлюваної області. Зазначена область повністю визначається замкнутої кривої L , яка лежить на поверхні еліпсоїда і розділяє освітлену і неосвітлену його частини. В подальшому ми будемо розглядати особливості зазначеної кривої.

Розрахункова схема опромінення яйця представлена на рис. 1. Положення еліпсоїда визначається просторовою системою координат xuz (як описано вище), де вісь Oz поєднана з віссю його симетрії. Джерело випромінювання поміщений в точку $P(x_0, 0, z_0)$, тобто вважається, що він постійно знаходиться в xOz ($y = 0$). Так як фігурою опромінення є еліпсоїд обертання і площина xOz проходить через вісь симетрії (вісь обертання), то спільність досліджень при цьому не порушується.

Виділимо на освітленій поверхні малу площадку dF , що містить точку $M(x,y,z)$. Нехай \vec{n}_1 – одиничний вектор, проведений з точки M нормально до майданчика dF а \vec{n}_2 – одиничний вектор, проведений з тієї ж точки колінеарності вектору \overline{MP} (спрямований з точки M в бік джерела). Кут між векторами \vec{n}_1 і \vec{n}_2 позначимо літерою γ .

Природним для фігури обертання є застосування циліндричних координат r, φ, z (рис. 1). При переході до циліндричних координат і назад використовуються співвідношення [7]:

$$\begin{cases} x = r \cos \varphi, \\ y = r \sin \varphi, \\ z = z, \end{cases} \quad (1)$$

$$r = \sqrt{x^2 + y^2}, \operatorname{tg} \varphi = \frac{y}{x}, \quad (2)$$

З урахуванням цього з формули (1) для еліпсоїда значення r послідовно отримуємо:

$$r(z) = \frac{b}{c} \sqrt{c^2 - (z - c)^2} = \frac{b}{c} \sqrt{2cz - z^2}. \quad (3)$$

Використовуючи рівняння (3), для одиничного вектора \vec{n}_1 , як нормальний до обертання, можна записати:

$$\vec{n}_1 = \frac{1}{\sqrt{1 + (r'_z)^2}} (\cos \varphi, \sin \varphi, -r'_z), \quad (4)$$

$$\text{де } r'_z = \frac{dr}{dz} = \frac{b(c - z)}{c\sqrt{2cz - z^2}}. \quad (5)$$

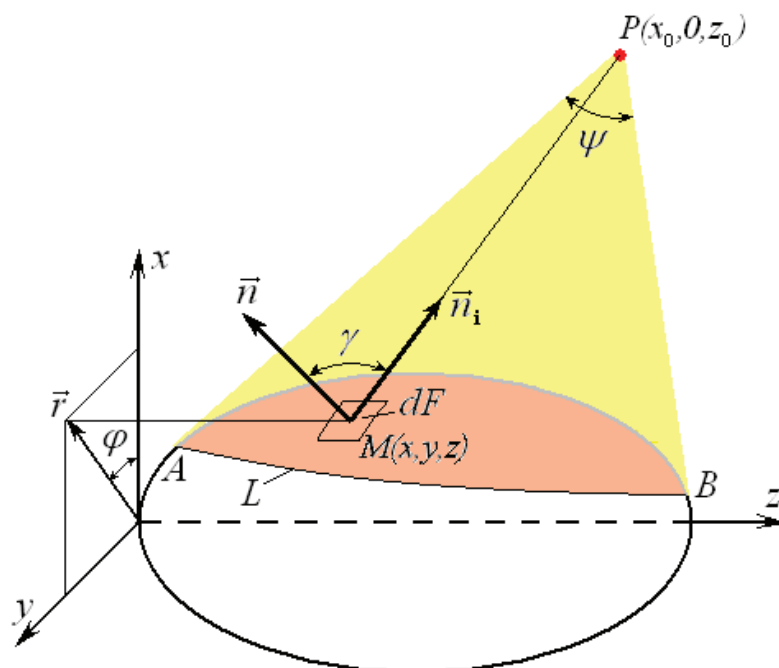


Рис. 1. Розрахункова схема процесу опромінення яйця лазером

Щоб знайти одиничний вектор \vec{n}_i , запишемо спочатку вектор \overline{MP} , вважаючи координати його кінців відомими.

$$\overline{MP} = (x_0 - x, -y, z_0 - z) = (x_0 - r(z) \cos \varphi, -r(z) \sin \varphi, z_0 - z). \quad (6)$$

Тут замість прямокутних координат x, y, z введені циліндричні - r, φ, z . Щоб отримати шуканий вектор залишилося провести нормування вектора \overline{MP} :

$$\vec{n}_i = \frac{\overline{MP}}{|\overline{MP}|} = \frac{(x_0 - r(z) \cos \varphi, -r(z) \sin \varphi, z_0 - z)}{\sqrt{(x_0 - r(z) \cos \varphi)^2 + r^2(z) \sin^2 \varphi + (z_0 - z)^2}}. \quad (7)$$

Косинус кута γ між векторами \vec{n} і \vec{n}_i знайдемо як скалярний добуток цих векторів:

$$\cos \gamma = \frac{x_0 \cos \varphi - r(z) - r'_z(z_0 - z)}{\sqrt{1 + (r'_z)^2} \sqrt{(x_0 - r(z) \cos \varphi)^2 + r^2(z) \sin^2 \varphi + (z_0 - z)^2}} \quad (8)$$

На граничній лінії L плями опромінення промінь джерела проходить по дотичній до поверхні еліпсоїда, внаслідок чого вектори \vec{n} , \vec{n}_i , перпендикулярні та $\cos \gamma = 0$. З цієї умови отримуємо:

$$\cos \varphi = \frac{1}{x_0} [r(z) - r'_z(z_0 - z)] = \frac{b[cz_0 + (c - z_0)z]}{cx_0 \sqrt{2cz - z^2}}, \quad (9)$$

де враховано співвідношення (3) і (5).

Якщо врахувати відоме тригонометричне співвідношення $\sin \varphi = \pm \sqrt{1 - \cos^2 \varphi}$, то відповідно до рівняннями (1) для лінії L можна записати:

$$\begin{cases} x(z) = \frac{b}{c} \sqrt{2cz - z^2} \cdot \frac{b[cz_0 + (c - z_0)z]}{cx_0 \sqrt{2cz - z^2}} \\ y(z) = \pm \frac{b}{c} \sqrt{2cz - z^2} \cdot \sqrt{1 - \frac{b^2[cz_0 + (c - z_0)z]^2}{(cx_0)^2 \sqrt{2cz - z^2}}} \end{cases} \quad (10)$$

а після спрощення та відповідних перетворень:

$$\begin{cases} x(z) = \frac{b^2}{x_0 c^2} [cz_0 + (c - z_0)z] \\ y(z) = \pm \frac{b}{x_0 c^2} \sqrt{(x_0 c)^2 (2c - z)z - b^2 [cz_0 + (c - z_0)z]^2} \end{cases} \quad (11)$$

Щоб використовувати систему (11) для опису кривої L , необхідно ще вказати в яких межах $z \in [z_1, z_2]$ повинен змінюватися аргумент. Тобто, необхідно визначити значення аплікати z в крайніх точках A і B кривої L (рис. 1). Але ці точки лежать в площині симетрії xOz , де $y(z) = 0$. Таким чином, прирівнюючи до нуля праву частину (підкореневий вираз) другого рівняння системи (11), отримаємо квадратне рівняння, щодо величини, яка визначається. Після нескладних перетворень, рішення цього рівняння має вигляд:

$$z_{1,2} = \frac{c^3 x_0^2 - cb^2 (c - z_0) z_0 \pm \sqrt{[c^3 x_0^2 - cb^2 (c - z_0) z_0]^2 - [b^2 (c - z_0)^2 + c^2 x_0^2] (bcz_0)^2}}{b^2 (c - z_0)^2 + c^2 x_0^2} \quad (12)$$

Систему (11) можна трактувати, як складається з проекцій лінії L на дві площини. Верхнє рівняння дає проекцію лінії L на вертикальну площину (xOz), а нижня – на горизонтальну (yOz). Щоб розпізнати вид проекції лінії L на горизонтальну площину запишемо рівняння цієї проекції в канонічному вигляді. Причому, приймемо обмеження, спочатку, що $z_0 = c$ – джерело випромінювання знаходиться над середньою частиною еліпсоїда, тоді система (11) істотно спрощується і може бути представлена, як:

$$\begin{cases} x = \frac{b^2}{x_0} \\ \frac{y^2}{(bv)^2} + \frac{(z - c)^2}{(cv)^2} = 1, \end{cases} \quad (13)$$

де $v = \sqrt{1 - (b/x_0)^2}$; $z_{1,2} = c(1 \pm v)$. (14)

З записаного випливає, що в цьому випадку граничними лініями плями опромінення є еліпси з півосями bv і cv , розташовані в горизонтальних площинах $x = b^2/x_0$. Причому, з видаленням джерела випромінювання ($x_0 \rightarrow \infty$) величина v буде наближатися до одиниці, а гранична лінія - до площини yOz ($x = 0$), займаючи місце найбільшого перетину еліпсоїда з півосями b і c . Таким чином, з видаленням джерела опромінення поширюється тільки на половину еліпсоїда.

У загальному випадку, коли $z_0 \neq c$, нижня частина з рівнянь системи (11) елементарними перетвореннями приводиться до вигляду:

$$\frac{y^2}{B^2} + \frac{(z - \tilde{z})^2}{C^2} = 1, \quad (15)$$

де

$$\tilde{z} = \frac{cb^2(z_0 - c)z_0 + c^3x_0^2}{c^2x_0^2 + b^2(z_0 - c)^2}, \quad (16)$$

$$B = \frac{b}{x_0c} \sqrt{\frac{[b^2(c - z_0)z_0 - c^2x_0^2]^2 - b^2z_0^2[c^2x_0^2 + b^2(c - z_0)^2]}{c^2x_0^2 + b^2(c - z_0)^2}}, \quad (17)$$

$$C = \frac{c \sqrt{[b^2(c - z_0)z_0 - c^2x_0^2]^2 - b^2z_0^2[c^2x_0^2 + b^2(c - z_0)^2]}}{c^2x_0^2 + b^2(c - z_0)^2}. \quad (18)$$

Тобто, проєкціями лінії L на горизонтальну площину yOz також є еліпси, піввісі яких рівні B та C . Оскільки ж проєкції ліній L на площину xOz - прямі, задані першим рівнянням системи (16), то самі лінії L можуть бути отримані перетинами еліпсоїда похилими площинами, перпендикулярними вертикальній площині xOz . Кут нахилу цих (січних) площин по відношенню до горизонталі легко знаходяться з першого рівняння системи (11):

$$\operatorname{tg} \alpha = b^2(c - z_0)/(c^2x_0) \quad (19)$$

З наведеного вище зрозуміло, що в натуральну величину лінії L будуть розташовуватися, як на самому еліпсоїді, так і одночасно у зазначених січних площинах. Причому, вони будуть теж еліпси, які порівняно з еліпсами на горизонтальній площині мають одну витягнуту піввісь. Рівняння еліпсів легко отримати із співвідношення (15) збільшенням у ньому піввісі C до значення $C/\cos \alpha$.

За виразами (13), (16-19) легко бачити, що з видаленням джерела опромінення ($x_0 \rightarrow \infty$) стають справедливими співвідношення:

$$\lim_{x_0 \rightarrow \infty} x = 0, \quad \lim_{x_0 \rightarrow \infty} \tilde{z} = c, \quad \lim_{x_0 \rightarrow \infty} B = b, \quad \lim_{x_0 \rightarrow \infty} C = c, \quad \lim_{x_0 \rightarrow \infty} \alpha = 0 \quad (20)$$

Тобто, гранична лінія плями опромінення (незалежно від значення горизонтальної координати z_0) з видаленням джерела збільшується до максимального розміру – еліпса з піввісьями b, c , що збігається з перетином еліпсоїда горизонтальною площиною yOz . При цьому опроміненню піддається половина поверхні еліпсоїда, як показано на графіках на рис. 2.3 (крапкою відзначена проєкція місця розміщення джерела випромінювання на горизонтальну площину).

Проєкції граничних ліній плями опромінення на площину yOz побудовані на підставі розрахунку за формулами (15-18) (рис.2), а для просторового зображення граничних ліній (рис. 3) використані їх параметричні рівняння, легко випливають з наведеної вище системи (11):

$$\begin{cases} x(t) = \frac{b^2}{x_0c^2} [cz_0 + (c - z_0)t] \\ y(t) = \pm \frac{b^2}{x_0c^2} \sqrt{(x_0c)^2(2c - t)t - b^2[cz_0 + (c - z_0)t]^2}; \\ z(t) = t, \end{cases} \quad (21)$$

Тут параметр t повинен змінюватися в межах $t \in [z_1, z_2]$, що очевидно.

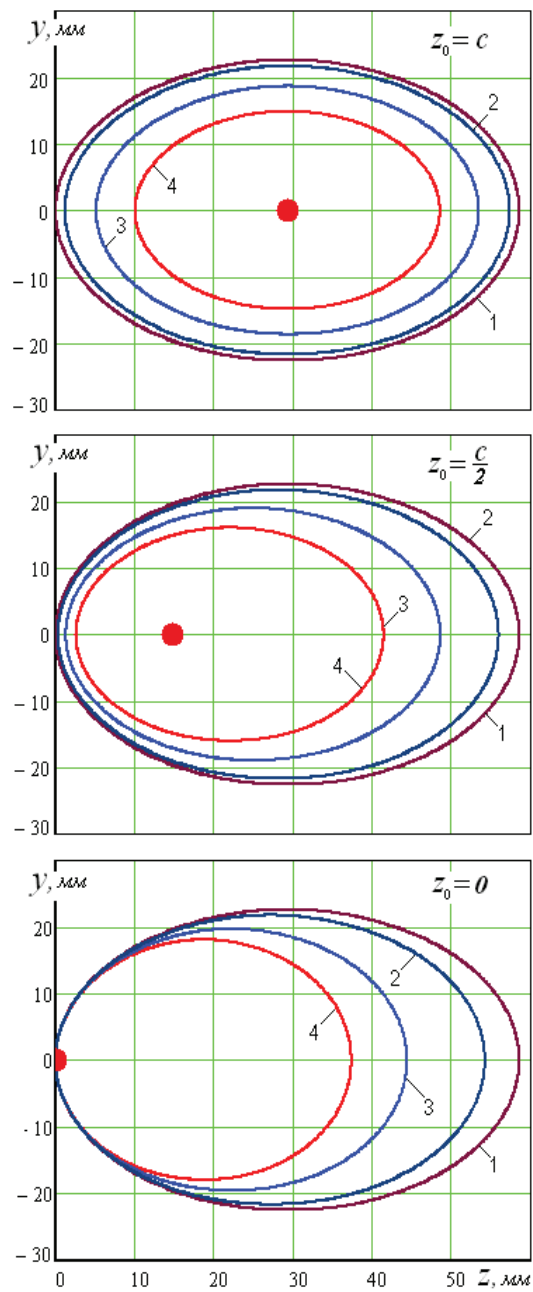


Рис. 2. Проекції граничних ліній плями опромінення на площину yOz при видаленні джерела на:
 1) $x_0 \rightarrow \infty$; 2) $x_0 = 80i$; 3) $x_0 = 40i$; 4) $x_0 = 30i$
 видаленні джерела на: 1) 2) 3) 4)

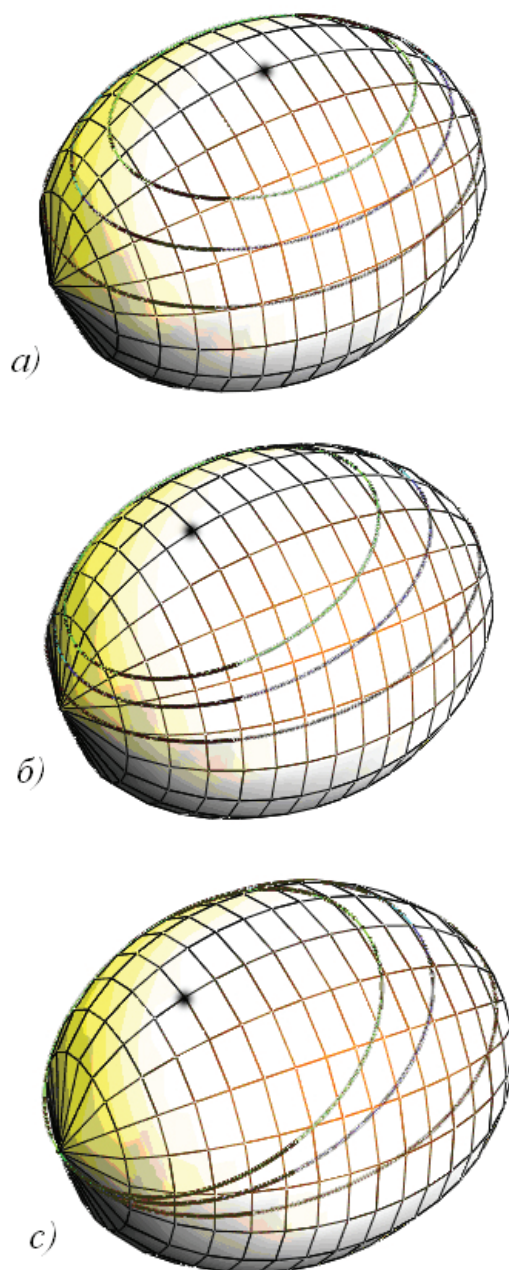


Рис. 3. Граничні лінії плями опромінення при різному розміщенні джерела:

а) $z_0 = c$; б) $z_0 = c/2$; в) $z_0 = 0$

На рис. 3 передбачається, що верхні граничні лінії відповідають відстані до джерела, рівного $x_0 = 30i$, нижні – віддалі $x_0 = 80i$, а проміжні – віддалі $x_0 = 40i$. Для можливості зіставлення результатів на рис. 2.5 обрані ті ж дані, що і на рис. 2.

Рівняння (13, 14) є наслідками рівнянь (15–16) при $z_0 = c$, тому їх можна було не приводити. Але рівняння (15–18) істотно поступаються їм у простоті. Отже, при $z_0 = c$ переваги все ж залишаються за рівняннями (13, 14).

Висновки

1. Отримано вирази для визначення рівня опроміненості в будь-якій точці поверхні шкаралупи яйця, а також середньої опроміненості уздовж плями і по всій плямі опромінення нерухомого еліпсоїда.

2. Проведений з їх допомогою аналіз показав наявність максимумів опроміненості, які зміщені в бік видалення джерела від центральної частини еліпсоїда у напрямку його вісі.

3. Глобальний максимум спостерігається при розміщенні джерела над центральною частиною еліпсоїда, а найбільш істотний вплив на середню опроміненість надає видалення джерела від поверхні.

Список використаної літератури:

1. Высоцкий А. Э. Сравнительная биоцидная активность дезинфектанта «Сандим-Д» / А. Э. Высоцкий // Труды Всерос. научн. – исслед. ин-та ветеринарной санитарии, гигиены и экологии – М.: ВНИИВСГиЭ, 2005. – Т. 117. – С. 17–181.
2. Wesienska E. Effect of concentrated field on bacteria reduction and physical properties of egg white /E. Wesienska, T. Trziszka// Mejd/ weten. 2007. – Vol 63, – P. 421–424.
3. Забудский Ю. И. Повышение адаптации бройлеров и интенсивному охлаждению инкубационных яиц с прогрессивно увеличивающейся экспозицией / Ю. И. Забудский // Сельскохозяйственная биология. – 1993. – № 4. – С. 69.
4. Кочиш И. И., Экологически безопасные способы стимуляции роста и развития бройлеров в онтогенезе/ И. И. Кочиш, М. С. Найденский, Е. С. Елизаров, О. И. Кочеш – М.: ФГОУ ВПО МГАВМиБ им. Сирябина, ОНО ППЗ «Конкурений», 2007. – 104 с.
5. Лисиченко М. Л. Вплив форми лазерного світлового пучка на ефективність опромінення яйця // Вісник ХДТУСГ «Питання електрифікації сільського господарства»// Харків: ХДТУСГ, 2000. – С. 193–198.
6. Міленін Д. М. Підвищення ефективності знезаражування 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 им. В.Н. Каразина, 2011. – С. 139–140.
7. Баврин И. И. Высшая математика: учебник [для студ. пед. вузов] / И. И. Баврин – М.: Высшая школа, 2001. – 612 с.

References:

1. Vysotsky A. E. (2005) Comparison of disinfectant biocide activity "Sandy D [Comparison of disinfectant biocide activity "Sandy D"], VNIIVSGE, Moscow, P. 176–181.
2. Wesienska E., T. Trziszka (2007) Effect of concentrated field on bacteria reduction and physical properties of egg white [Effect of concentrated field on bacteria reduction and physical properties of egg white] // – Vol 63, – P. 421–424.
3. Zabudskii I. I. (1993) Raising and adaptation of broiler hatching eggs intensive cooling with progressively increasing exposure [Povyshenie adaptacii brojlerov i intensivnomu ohlazhdeniju inkubacionnyh jaic s progressivno uvelichivajushhejsja jekspoziciej] Agricultural Biology, № 4. – P.69.
4. Kocsis I. I., Naydensky M. S., Elizarov E. S., Kochesh O. I. (2007) An environmentally safe way stimulate the growth and development of broilers in ontogenez. [Jekologicheski bezopasnye sposoby stimuljacji rosta i razvitija brojlerov v ontogenezе] Moscow.: FSEIHPE MGAVMiB im. Siryabina, IT HAG "Konkureny", 104 p.
5. Lisichenko M. L. (2000) Influence of the form of laser beam irradiation on the effectiveness of eggs. [Vpliv formi lazernogo svitlovogo puchka na efektnist' oprominennja jajcja] Bulletin HDTUSH "Issues of Electrification of Agriculture" - Kharkiv: KNTUA – P. 193–198.
6. Milenin D.M., Lisichenko M.L., Tereshchenko O.V., Artemenko O.B. (2011) Improved disinfection of hatching eggs Mater. XXXVI scientific. Practical. Conf. "Application of Lasers in Medicine and Biology" (5-8 October 2011) - [Pidvishhennja efektnosti znezarazhennja inkubacijnih jaec' mater. XXXVI nach. – prakt. konf. «Primenenie lazerov v medicinie i biologii» (5-8 oktjabrja 2011 g.)], Sudak: KNU name of V.N. Karazin, P. 139–140.
7. Bavrin I. I. Higher Mathematics: Textbook for students. Pedagogical universities [Vysshaja matematika: uchebnik dlja stud. ped. vuzov Moscow: Higher School, 612 p.

Поступила в редакцию 25.10 2015 г.