

Міністерство освіти і науки України

Харківський національний технічний університет сільського господарства
імені Петра Василенка

МІЛЕНІН Дмитро Миколайович

УДК 621.372.826:637.43

**ОБҐРУНТУВАННЯ ПАРАМЕТРІВ ЕЛЕКТРОТЕХНІЧНОГО
КОМПЛЕКСУ ЛАЗЕРНОЇ ОБРОБКИ ІНКУБАЦІЙНИХ ЯЄЦЬ ПЕРЕД
ЗНЕЗАРАЖУВАННЯМ**

05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2021

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана на кафедрі автоматизованих електромеханічних систем Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка Міністерства освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Лисиченко Микола Леонідович,
Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка, перший проректор, професор кафедри автоматизованих електромеханічних систем.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Червінський Леонід Степанович,
Національний університет біоресурсів і природокористування України, професор кафедри електротехніки, електромеханіки і електротехнологій.

доктор технічних наук, професор
Гриб Олег Герасимович
Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут», завідувач кафедри автоматизації та кібербезпеки енергосистем.

Захист дисертації відбудеться «06» травня 2021 р. о 10:00 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.832.01 в Харківському національному технічному університеті сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002, конференцзал.

З дисертацією можна ознайомитись у бібліотеці Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка за адресою: вул. Алчевських, 44, м. Харків, 61002.

Автореферат розісланий «05» квітня 2021 р.

Вчений секретар спеціалізованої
вченої ради Д 64.832.01
д.т.н., проф.

О.М. Мороз

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. В останні роки сільське господарство України досягло стабільної позитивної динаміки і все більше нарощує виробництво сільськогосподарської продукції. Практично завершилося формування структури виробництва та системи його організації в процесі земельної та аграрної реформи. Подальший розвиток галузі, що є на сьогодні однією з важливих в економіці країни, потребує якісних перетворень, які можуть підвищити конкурентоспроможність сільськогосподарської продукції і забезпечити продовольчу безпеку населення. Так, відповідно Стратегії розвитку птахівництва планується збільшення поголів'я м'ясо-яєчних курей до 64 % від загальної чисельності, а поголів'я курей-несучок вітчизняної селекції збільшення на 27 %. Поступово буде нарощуватись батьківське стадо м'ясних курей порівняно з 2015 р. у 2,1 рази, а збільшення валового виробництва інкубаційних курячих яєць у 1,3 рази.

Птахівництво єдина підгалузь тваринництва, яка здатна нарощувати обсяги виробництва та збільшувати чисельність наявного поголів'я, що пов'язано, насамперед, з біологічними властивостями птиці – короткий термін відгодівлі, можливість утримувати значну кількість поголів'я на обмеженій площі та високий рівень автоматизації технологічних процесів. Однак, фактична технічна оснащеність птахівництва основними засобами виробництва поступається закордонним аналогам, що значно знижує конкурентну спроможність виробництва. Тому, основною задачею є пошук та розробка енергоефективних технологій і технічних засобів для їх реалізації, які побудовані на принципово нових підходах, способах та методах реалізації технологічних операцій.

В різні періоди розробки новітніх технологій та електротехнічних приладів, комплексів та систем впливу на біологічні об'єкти заснованих на використанні електромагнітного випромінювання стали предметом досліджень відомих вчених, серед яких, слід виділити Девяткова Н.Д., Червінського Л.С., Щура І.З., Куценка Ю.М., Назаренка І.П., Кіпенського А.В., Черенкова О.Д., Косуліної Н.Г., Кунденка М.П., ін.

Реалізація сформульованих задач пов'язана із удосконаленням процесу інкубації яєць та отриманням якісного добового молодняка на основі використання лазерних технологій та побудованого на їх основі електротехнічного комплексу.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Основний зміст роботи становлять результати досліджень, проведені автором упродовж 2010-2020 рр. Дисертаційна робота виконувалась у відповідності до: Закону України «Про пріоритетні напрями розвитку науки і техніки», зокрема п.6 ст.7 «Новітні технології та ресурсозберігаючі технології в енергетиці, промисловості та агропромисловому комплексі», Постанови Кабінету Міністрів України №556 від 23.08.2016 р. «Перелік пріоритетних напрямків наукових досліджень і науково-технічних розробок до 2020 р.» та спрямованості тематики науково-дослідних робіт кафедри автоматизованих

електромеханічних систем ХНТУСГ, та у межах НДР «Науково-обґрунтована схема корекції виводимості та пост вакцинального імунітету курчат лазерним випромінюванням і сполуками триазолінового ряду» (№ ДР 0117U004840) разом з Луганським національним аграрним університетом.

Мета і задачі дослідження. Метою дисертаційної роботи є створення електротехнічного комплексу лазерної обробки інкубаційних яєць перед знезаражуванням, що дозволяє підвищити ефективність знезаражування, і як наслідок, збільшити виводимість молодняку птиці.

Для досягнення сформульованої мети необхідно вирішити наступні задачі:

- провести аналіз стану та напрямків розвитку процесу інкубації яєць та способів знезаражування, та електротехнічних приладів і систем;
- провести теоретичні дослідження процесу опромінювання поверхні яйця точковим джерелом випромінювання;
- розробити математичні моделі елементів електротехнічного комплексу опромінювання поверхні об'єкту еліпсоїдної форми;
- розробити дослідний зразок електротехнічного комплексу для лазерної обробки поверхні яйця;
- розробити стабілізований блок живлення для підтримання параметрів напівпровідникових лазерів;
- провести експериментальні дослідження розробленого електротехнічного комплексу для лазерної обробки поверхні яйця у виробничих умовах інкубатора.

Об'єкт дослідження – процес опромінювання поверхні шкаралупи яйця точковим джерелом оптичного випромінювання.

Предмет дослідження – технічні засоби і системи для забезпечення рівномірного опромінювання поверхні шкаралупи яйця .

Методи дослідження. Основні теоретичні положення дисертації базуються на методах статистичного аналізу, законах геометричної оптики для аналізу умов розповсюдження лазерного променя по поверхні еліпсоїда, чисельні методи дослідження функцій на екстремум, методах математичного аналізу та кубічної інтерполяції для розрахунку дози опромінювання в процесі лазерної обробки яйця при його обертанні.

Наукова новизна отриманих результатів полягає у наступному:

- вперше обґрунтована необхідність лазерної обробки яєць перед їх подальшим знезаражуванням та інкубацією;
- вперше отримані теоретичні залежності, які дозволяють розраховувати середні значення опромінення точковим джерелом рухомої нерівної поверхні;
- отримала подальший розвиток теорія розрахунку дози опромінювання рухомих об'єктів від точкових джерел випромінювання, яка дозволила визначити швидкість обертання об'єкта і місце розміщення джерела лазерного випромінювання;

– отримала подальший розвиток математична модель опромінювання нерівної поверхні двома точковими джерелами випромінювання при їх взаємному синхронному русі відносно об'єкту опромінювання.

Практичне значення отриманих результатів полягає в:

- обґрунтуванні параметрів лазерної обробки поверхні інкубаційного яйця;
- розробці способів обробки інкубаційних яєць (патент на корисну модель №72084, 128699), способу знезаражування інкубаційних яєць (патент на корисну модель №124247);
- розробці способу лазерної обробки для активізації мікрофлори на поверхні яйця та одночасної активізації розвитку зародку з умови узгодження частоти обертання яйця і дози опромінювання;
- розробці структурної схеми стабілізованого блока живлення з контролем за параметрами випромінювання напівпровідникового лазера;
- розробці генератора змінюваних імпульсів для забезпечення імпульсного режиму роботи напівпровідникового лазера;
- розробці методичних рекомендацій «Технологічні операції передінкубаційної обробки яєць сільськогосподарської птиці».

Результати роботи та розроблений діючий макетний зразок електротехнічного комплексу для лазерної обробки інкубаційних яєць пройшли промислові випробування в інкубаторії дослідного господарства «Бірки» Інституту птахівництва НААН України (зараз Державна дослідна станція птахівництва НААН України), ТОВ СТ «Івашківський інкубатор» та впроваджені на інкубаторі ТОВ «НВФ Біотехнологі» (м. Харків) і ПСП «Решетилівський інкубатор» (Полтавська обл.). Результати теоретичних та експериментальних досліджень використовуються при викладанні дисципліни «Технологія виробництва продукції птахівництва» на кафедрі технології тваринництва та птахівництва Харківської державної зооветеринарної академії, при викладанні дисциплін «Електротехнології та електроосвітлення» і «Інноваційні технології на підприємствах АПВ» на кафедрі інтегрованих електротехнологій та процесів Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка.

Особистий внесок здобувача.

Основні положення і результати, які виносяться на захист дисертаційної роботи, отримані особисто здобувачем. Серед них в наукових роботах, написаних у співавторстві, внесок здобувача полягає в наступному: розроблена конструкція та визначені електротехнічні пристрою для лазерної обробки інкубаційних яєць у потоці [1]; виготовлено дослідний зразок конвеєрної стрічки для лазерної обробки поверхні яйця та проведено експериментальні дослідження на виробництві і розраховано техніко-економічні показники процесу [2]; розроблена розрахункова схема опромінення поверхні нерухомого яйця, апроксимованого до еліпсоїда та отримані графічні залежності параметрів опромінювання [3]; запропоновано методику визначення опромінення поверхні еліпсоїда з урахуванням місця розміщення точкового джерела випромінювання [4]; запропоновано оптимальне місце розміщення точкового джерела

випромінювання [5]; запропоновано застосувати два точкових джерела випромінювання для опромінювання поверхні еліпсоїда [6]; запропоновано умови оптимального взаємного розміщення лазера і яйця та проведено розрахунки часу опромінювання поверхні яйця [7]; запропоновано розрахункову схему та проведено теоретичні розрахунки визначення опромінення яйця двома джерелами випромінювання та з урахуванням частоти обертання яйця [8,9]; виготовлено експериментальний зразок приладу для лазерної обробки яйця і проведено техніко-економічні розрахунки [10]; теоретично обґрунтовано параметри лазерної обробки інкубаційних яєць [11]; виготовлено експериментальний прилад і запропоновано схему експерименту [12]; запропоновано спосіб лазерної обробки інкубаційних яєць [13, 14]; розроблено експериментальний прилад для лазерної обробки і запропонована схема експерименту [15, 16, 17]; розроблено електротехнічний комплекс для лазерної обробки поверхні яйця [18]; розроблено схему експерименту та прилад для лазерної обробки поверхні яйця [19]; запропоновано застосувати імпульсні напівпровідникові лазери для знезаражування поверхні яйця [20]; визначена послідовність виконання технологічних операцій при підготовці яйця до закладання в інкубаційну шафу [21]; запропоновано способи лазерної обробки інкубаційного яйця та обґрунтовані параметри електротехнічного комплексу для їх реалізації [22].

Апробація результатів дисертації. Основні результати досліджень доповідались та обговорювались на наступних наукових конференціях: Міжнародних науково-практичних конференціях «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» (Харків, 20-21 жовтня 2011 р., 1-2 листопада 2012 р., 12-13 листопада 2015 р., 3-4 листопада 2016 р., 1-2 листопада 2018 р.); Международной научно-практической конференции «Применение лазеров в медицине и биологии» (Судак, 5-8 октября 2011 г., Харьков, 28-31 мая 2014 г.); Міжнародній науково-технічній конференції «Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК» (Київ, 6-7 листопада 2013 р.); VI Міжнародна науково-технічна конференція присвячена пам'яті академіка І.І. Мартиненка «Енергозабезпечення технологічних процесів в АПК України» (Мелітополь, 14 травня 2015 р.); V Міжнародної науково-технічної конференції «Світлотехніка й електроенергетика: історія, проблеми, перспективи» (Тернопіль, 23-27 лютого 2015 р.); III, IV Міжнародній науково-практичній конференції «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК» (Київ, 17-18 грудня 2015 р., 21-22 листопада 2016 р.); XVII Міжнародній науковій конференції присвяченій 116-річчю академіка П.М. Василенка «Сучасні проблеми землеробської механіки» (Суми, 17-18 жовтня 2016 р.); The Eighth Scientific Agricultural Conference ESAC-2018 (Karak, Jordan, 15-17 October 2018); II Міжнародній науково-практичній конференції «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування» (Харків, 6-7 грудня 2018 р.).

Публікації. Основний зміст дисертаційної роботи викладено в 22 наукових публікаціях, з них: 8 – у наукових фахових виданнях, 2 – у закордонних виданнях, 3 – патентах України на корисну модель, 8 – у матеріалах конференціях, 1 – методичній рекомендації.

Структура та обсяг дисертації. Дисертація складається зі вступу, чотирьох розділів, висновків, списку використаних джерел та трьох додатків на 30 сторінках. Загальний обсяг дисертації становить 197 сторінок тексту та списку використаних джерел, який налічує 136 найменувань на 14 сторінках. Основний текст містить – 16 таблиць, з них 6 на 3 окремих сторінках, 41 рисунок, з них 11 на 8 окремих сторінках.

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обґрунтовано актуальність теми досліджень, сформульовано мету та основні завдання дослідження, наведено відомості щодо зв'язку роботи з науковими програмами, стисло викладено отримані результати, висвітлено наукову новизну, практичне значення отриманих результатів, відзначено методи досліджень, особистий внесок здобувача у спільних публікаціях, висвітлено кількість опублікованих наукових праць, структуру та обсяг дисертації.

У першому розділі «Аналіз стану і напрямків розвитку процесу інкубації яєць та способів знезаражування з використанням електротехнічного комплексу» приведено огляд літератури з напрямку розвитку птахівництва, як складової загальної Стратегії розвитку сільського господарства в напрямку гарантування продовольчої безпеки держави. Тобто для реалізації вказаних планів по збільшенню виробництва м'яса птиці повинні значно зрости і обсяги забезпечення птахоферм добовим молодняком через систему спеціалізованих інкубаторно-птахівничих підприємств. Тому, будь яке покращення технології інкубації є актуальною задачею, яка потребує постійного пошуку та досліджень. Відповідно плану розвитку птахівництва на період до 2030 р. планується збільшити виробництво м'яса птиці: курчат-бройлерів – 1,7 рази; качок – 1,5 рази; індиків – 2,0 рази; курей – 1,1 рази; гусей – 1,4 рази.

Досягнення наведених вище обсягів виробництва продукції птахівництва потребує освоєння новітніх енерго- і ресурсощадних технологій, науково обґрунтованої системи годівлі птиці, сучасних технологій інкубації та ін.

З проведеного огляду літератури зроблено висновок про доцільність досліджень та розробки більш ефективного способу знезаражування поверхні шкаралупи інкубаційного яйця, який би забезпечував надійне знищення шкідливої мікрофлори, та розробки нового електротехнічного комплексу (ЕТК) для їх реалізації. В основу технічної реалізації нових технологій запропоновано покласти раніше отримані дані результатів досліджень, які показують високу ефективність дії лазерного випромінювання на біологічні об'єкти.

У другому розділі «Теоретичні дослідження процесу опромінювання поверхні яйця» розглядаються питання щодо апроксимації форми яйця еліпсоїдом обертання при цьому на основі статистичної вибірки визначено коефіцієнт форми – ексцентриситет еліпсу. Запропонована схема для

дослідження взаємодії променя точкового джерела випромінювання із поверхнею яйця апроксимованої еліпсоїдом обертання (рис. 1). Положення еліпсоїда визначається просторовою системою координат xuz , де вісь Oz співпадає сполучена з віссю його симетрії. Джерело випромінювання поміщене в точку $P(x_0, 0, z_0)$, тобто вважається, що воно постійно знаходиться в площині xOz ($y=0$). Оскільки 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 площу dF , яка містить точку $M(x, y, z)$. Нехай \vec{n} – одиничний вектор, проведений з точки M нормально до площі dF , а \vec{n}_1 – одиничний вектор, проведений з тієї ж точки, колінеарний вектору \vec{MP} (спрямований з точки M в бік джерела). Кут між векторами \vec{n} і \vec{n}_1 позначимо літерою γ .

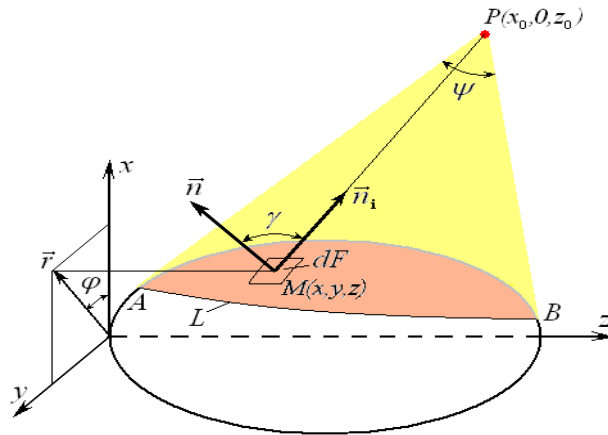


Рисунок 1 – Розрахункова схема для аналізу процесу опромінювання яйця точковим джерелом випромінювання

Щоб знайти значення одиничного вектору \vec{n} доцільно замість прямокутних координат x, y, z увести циліндричні – r, φ, z , тоді косинус кута γ між векторами \vec{n} і \vec{n}_1 знайдемо як скалярний добуток цих векторів:

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

На граничній лінії L плями опромінення промінь джерела проходить за дотичною до поверхні еліпсоїда, внаслідок чого вектори \vec{n} , \vec{n}_1 , перпендикулярні і $\cos \gamma = 0$. За цієї умови отримуємо:

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

де b – мала піввісь еліпсоїда, мм; c – велика піввісь еліпсоїда, мм.

Виходячи з записаної залежності і співвідношень (3,4) після нескладних перетворень отримуємо вираз (5) для визначення рівня опромінювання точок поверхні нерухомого еліпсоїда (рис.2):

$$\overline{MP} = (x_0 - x, -y, z_0 - z) = (x_0 - r(z) \cos \varphi, -r(z) \sin \varphi, z_0 - z) \quad (3)$$

$$\vec{n}_i = \frac{\overline{MP}}{|\overline{MP}|} = \frac{(x_0 - r(z) \cos \varphi, -r(z) \sin \varphi, z_0 - z)}{\sqrt{(x_0 - r(z) \cos \varphi)^2 + r^2(z) \sin^2 \varphi + (z_0 - z)^2}} \quad (4)$$

$$E(\varphi, z) = J_i \frac{x_0 \cos \varphi - r(z) - r'_z(z_0 - z)}{\sqrt{[1 + (r'_z)^2] [x_0^2 - 2x_0 r(z) \cos \varphi + r^2(z) + (z_0 - z)^2]^3}} \quad (5)$$

де J_i – сила випромінювання джерела лазерного випромінювання, $Вт$.

E – рівень опромінювання, $Вт/м^2$.

Формула (5) зручна для визначення опромінювання окремих ділянок еліпсоїда але вона не дає можливості оцінити сукупний його рівень, що отримує вся освітлена поверхня еліпсоїда одночасно. У таких випадках в якості оцінки прийнято вводити середнє значення показника опромінювання (рис.3).

При обертанні еліпсоїда формула (6) для визначення рівня опромінювання точки в довільний момент часу змінюється, тобто повну дозу опромінювання за час t_{ob} можна знайти інтегруванням наведеного виразу. Знайдемо її, як подвоєну половинну дозу і врахуємо належною розстановкою меж інтегрування, для цього вводимо змінні $\omega t = \varphi$, $dt = d\varphi/\omega$, та знаходимо:

$$E_D(z) = \frac{2J_i}{\omega} \int_0^{\varphi(z)} \frac{x_0 \cos \varphi - r(z) - r'_z(z_0 - z)}{\sqrt{[1 + (r'_z)^2] [x_0^2 - 2x_0 r(z) \cos \varphi + r^2(z) + (z_0 - z)^2]^3}} d\varphi. \quad (6)$$

де ω – частота обертання, c^{-1} .

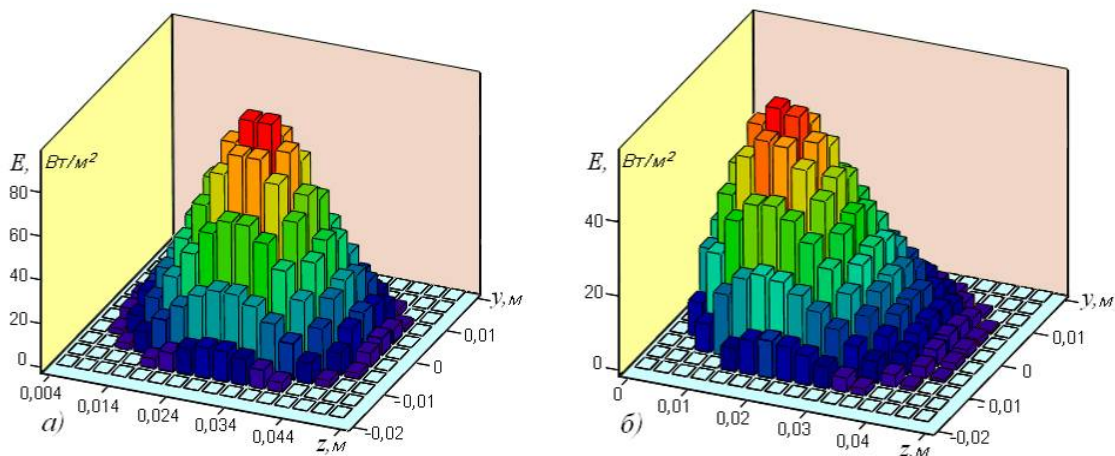


Рисунок 2 – Розрахункова діаграма зміни рівня опромінювання поверхні яйця на проекціях плями в залежності від місця розміщення джерела випромінювання

Далі для зручності введемо поняття:

$$INT_{[E]}(z) = \int_0^{\varphi(z)} \frac{x_0 \cos \varphi - r(z) - r'_z(z_0 - z)}{\sqrt{[1 + (r'_z)^2] [x_0^2 - 2x_0 r(z) \cos \varphi + r^2(z) + (z_0 - z)^2]^3}} d\varphi. \quad (7)$$

тоді значення середнього опромінювання буде розраховуватись, за виразом (8) (рис.3), а знаючи рівень інтенсивності променю лазера можливо розрахувати необхідний час опромінювання яйця в залежності від координат розміщення лазера (9) (рис.4):

$$E_D(z) = \frac{2J_i}{\omega} INT_{[E]}(z). \quad (8)$$

$$T_N = \frac{\pi(z_2 - z_1) [E_D^N]}{J_i \cdot INT_{[EN]}} \quad (9)$$

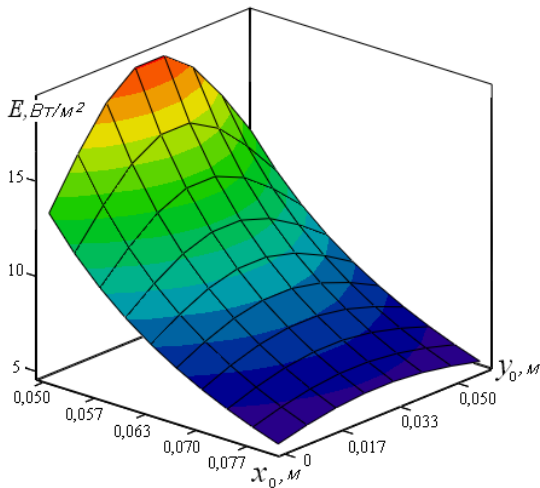


Рисунок 3 – Зміна значення середнього опромінювання еліпсоїда в залежності від розташування джерела випромінювання при: $b = 0,0226 \text{ м}$; $c = 0,0293 \text{ м}$; $J_i = 50 \text{ мВт}$.

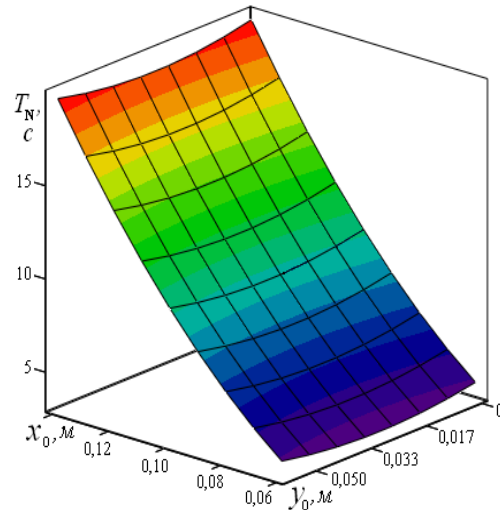


Рисунок 4 – Час опромінювання поверхні еліпсоїда в залежності від координат розміщення джерела при: $b = 0,023 \text{ м}$; $c = 0,029 \text{ м}$; $J_i = 0,05 \text{ Вт}$; $[E_D^N] = 12,9 \text{ Вт} \cdot \text{с} / \text{м}^2$.

У третьому розділі «Математичні моделі елементів електротехнічного комплексу опромінювання поверхні об'єкту еліпсоїдної форми» опромінювання одним точковим джерелом через істотну його нерівномірність уздовж поздовжньої осі еліпсоїда, як показано вище, може призводити до небажаного наслідку – зниження дози опромінювання з метою підтримки її величини, яка менша за гранично допустиму на всіх ділянках. Показано, що цей недолік можна усунути за рахунок застосування в технологічній схемі опромінювання одночасно двох точкових джерел.

Лінія раціонального розміщення джерел випромінювання має вигляд замкнутої кривої, розташованої в площині $XO'Z$ (рис. 5) і 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:

$$X = r \sin \theta, \quad Z = r \cos \theta. \quad (10)$$

Координатами точки на шуканій кривій торкання еліпсоїда променями джерела (рис.5).

$$Z_{1,2}(r, \theta) = \frac{C^3 (r \sin \theta)^2 - C \cdot B^2 (r \cos \theta) (C - r \cos \theta) \pm \sqrt{D(r, \theta)}}{B^2 (C - r \cos \theta)^2 + C^2 (r \sin \theta)^2}, \quad (11)$$

$$X_1(r, \theta) = \frac{B}{C} \sqrt{C^2 - (Z_1(r, \theta) - C)^2} \operatorname{sign}(r \cos \theta), \quad (12)$$

$$X_2(r, \theta) = \frac{B}{C} \sqrt{C^2 - (Z_2(r, \theta) - C)^2} \operatorname{sign}(2C - r \cos \theta), \quad (13)$$

де
$$D(r, \theta) = \left[C^3 (r \sin \theta)^2 - C \cdot B^2 (r \cos \theta) (C - r \cos \theta) \right]^2 - \left[B^2 (C - r \cos \theta)^2 + C^2 (r \sin \theta)^2 \right] B^2 C^2 (r \cos \theta)^2 \quad (14)$$

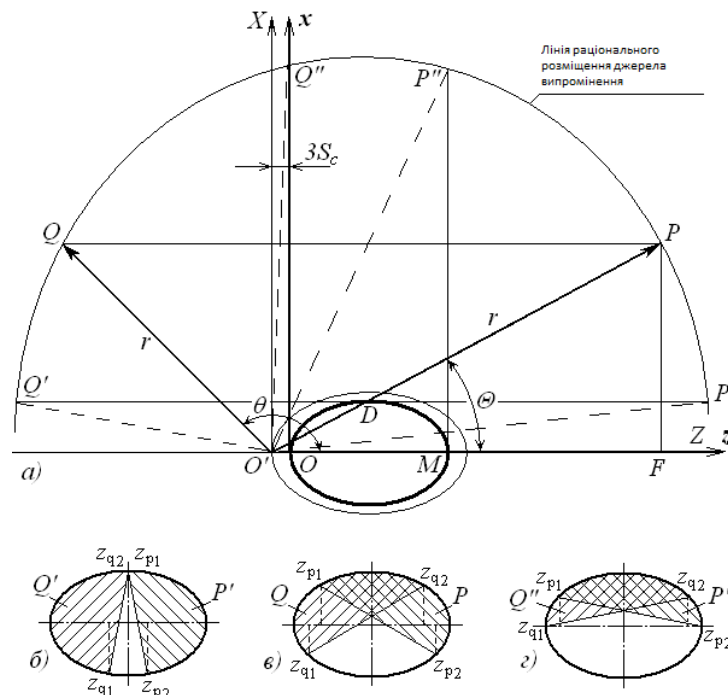


Рисунок 5 – Розрахункова схема опромінення еліпсоїда двома джерелами

Доза опромінення визначається інтеграцією функції (рис.5,в). Запишемо цей інтеграл для джерела Q і поширимо його на всю довжину еліпсоїда $z \in [0; 2c]$. Для цього звернемося до схеми (рис.5,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 (5), будуть: $0 \leq \varphi \leq \phi(z, \theta)$. На проміжку $z \in (z_{q2}, 2c)$ опромінення еліпсоїда джерелом Q не відбувається. Виходячи з цього, маємо:

$$EQ(z, \theta) = \begin{cases} \int_0^{\pi} f(z, \varphi, \theta) d\varphi & \text{при } z \in [0; z_{q1}(\theta)], \\ \int_0^{\phi(z, \theta)} f(z, \varphi, \theta) d\varphi & \text{при } z \in (z_{q1}(\theta); z_{q2}(\theta)), \\ 0 & \text{при } z \in [z_{q2}(\theta); 2c]. \end{cases} \quad (15)$$

Для джерела P позначимо підінтегральні функції $F(z, \varphi, \theta)$, $\Phi(z, \theta)$. Замінивши кут θ кутом $\Theta(\theta)$ отримуємо:

$$F(z, \varphi, \theta) = f(z, \varphi, \Theta(\theta)); \quad \Phi(z, \theta) = \phi(z, \Theta(\theta)). \quad (16)$$

Щоб записати для джерела P функцію, аналогічну (15), необхідно знову звернутися до схеми (рис.4,в). Враховуючи співвідношення (16), отримаємо:

$$EP(z, \theta) = \begin{cases} 0 & \text{при } z \in [0; z_{p1}(\theta)], \\ \int_0^{\Phi(z, \theta)} F(z, \varphi, \theta) d\varphi & \text{при } z \in (z_{p1}(\theta); z_{p2}(\theta)), \\ \int_0^{\pi} F(z, \varphi, \theta) d\varphi & \text{при } z \in [z_{p2}(\theta); 2c]. \end{cases} \quad (17)$$

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

$$E_D(z, \theta) = \frac{2J_i}{\omega} [EQ(z, \theta) + EP(z, \theta)]. \quad (18)$$

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

$$E_D(\theta) = \frac{1}{c} \int_0^c E_D(z, \theta) dz = \frac{2J_i}{\omega c} \int_0^c [EQ(z, \theta) + EP(z, \theta)] dz \quad (19)$$

На підставі отриманих рівнянь можна визначити середню та поточну дозу опромінювання поверхні еліпсоїда в залежності від місця розміщення точкового джерела випромінювання по відношенню до еліпсоїду обертання (рис.6).

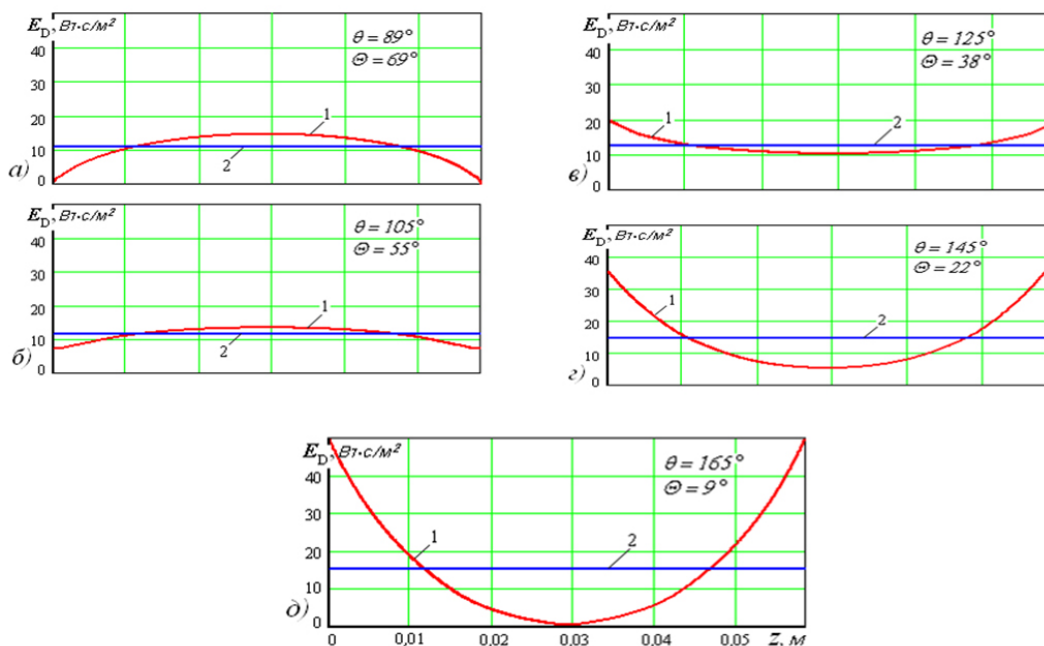


Рисунок 6 – Поточна (1) і середня (2) дози опромінювання в залежності від положення джерел при:

$$c = 0,029 м; S_c = 0,0014 м; \varepsilon = 0,634; \psi = 22^\circ; J_i = 0,05 Вт; \omega = 0,5 с^{-1}$$

За результатами розрахунків побудовані графіки (рис. 7), які дозволяють виявити (тим же методом трасування) вузький діапазон зміни кута θ ($113^\circ \dots 114^\circ$), в якому спостерігається мінімальне перевищення дози опромінення над середнім значенням. Графіки також показують, що максимум мінімальної дози і мінімум максимальної знаходяться поруч, а значить, при мінімальному перевищенні дози опромінення над середнім значенням нижнє відхилення також буде невеликим. У зазначеному діапазоні було підраховано значення перевищення дози $\Delta E = 100(E_{\max} - E_{\text{ср}})/E_{\text{ср}}$ з кроком $0,1^\circ$.

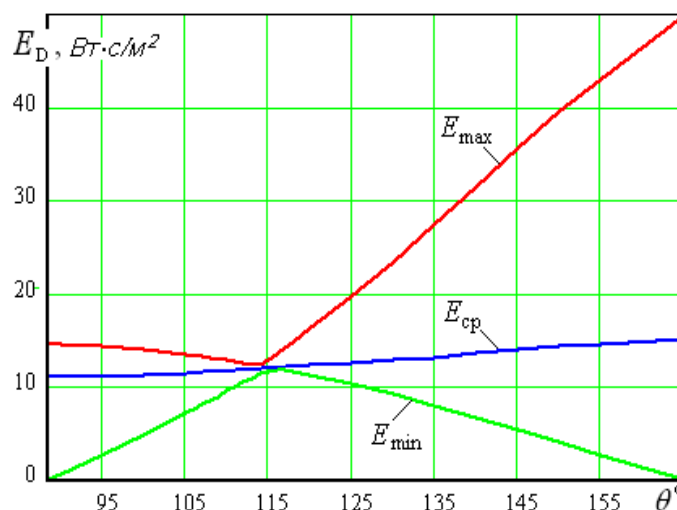


Рисунок 7 – Середнє значення дози опромінювання і її відхилення в залежності від кута розміщення джерела опромінення

Оскільки два джерела опромінують тільки верхню частину яйця, для отримання його повного опромінення яйце повинне обертатись. Кругову частоту обертання еліпсоїда знайдемо з формули (19) для визначення середньої дози опромінення. Підставивши туди замість кута θ його раціональне значення θ_{opt} , а замість середнього значення дози $E_D(\theta)$ – нормативне $[E_D^N]$, отримаємо:

$$\omega = \frac{2J_i}{c[E_D^N]} \int_0^c [EQ(z, \theta_{\text{opt}}) + EP(z, \theta_{\text{opt}})] dz = 0,460 c^{-1}. \quad (20)$$

Час опромінення і частоту обертання еліпсоїда знайдемо за відомими залежностями:

$$T = \frac{2\pi}{\omega} = 13,6 \text{ с}; \quad n_{\text{об}} = \frac{60}{T} = 4,4 \text{ об/хв}. \quad (21)$$

Частоту $n_{\text{об}}$ можливо кратно збільшувати без втрат ефекту опромінення (наприклад: $n_{\text{об}} = 8,8 \text{ об/хв}$, $n_{\text{об}} = 13,2 \text{ об/хв}$), за умови збереження часу T .

Таким чином, схема процесу раціонального опромінювання еліпсоїда має вигляд (рис. 8).

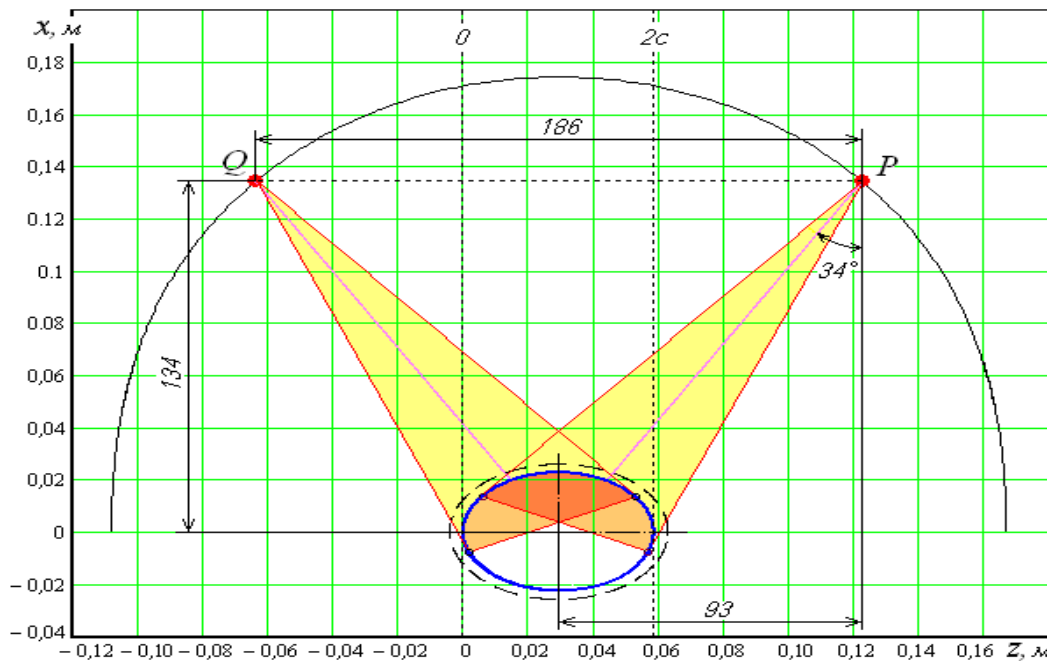


Рисунок 8 – Схема опромінювання еліпсоїда двома джерелами при раціональному їх розміщенні

У четвертому розділі «Розробка та експериментальні дослідження електротехнічного комплексу для лазерної обробки поверхні яйця» наведено розроблені способи лазерної обробки, елементи електротехнічного комплексу, результати практичних досліджень.

Процес лазерної обробки інкубаційних яєць здійснюється у наступній послідовності виконання технологічних операцій (табл.1). Вказаний спосіб забезпечує примусову, завдяки застосування лазера, активізацію мікрофлори,

яка знаходиться на поверхні шкаралупи яйця та перебуває в анабіозі для якісного подальшого знезаражування.

Таблиця 1

Перелік технологічних операцій при реалізації способу обробки інкубаційних яєць для активізації мікрофлори на поверхні яйця
(патент на корисну модель № 72084, 124247)

Назва технологічної операції					
1-а операція	2-а операція	3-я операція	4-а операція	5-а операція	6-а операція
Сортування яєць	Укладання в отвори стрічки транспортера	<i>Лазерна активізація мікрофлори на поверхні шкаралупи яєць</i>	Укладення в металеві лотки	Хімічне знезаражування	Інкубація яєць

Запропоновано спосіб, в якому окрім технологічної операції щодо «лазерної активізації мікрофлори на поверхні яйця» (лазер в неперервному режимі (*CW*): довжина хвилі – 620-680 нм; потужність – 50 мВт) (табл.2), передбачено включення в технологічний процес знезаражування додаткової технологічної операції «лазерного знезаражування яєць від мікрофлори» (лазер в імпульсному режимі (*P*): довжина хвилі – 890 нм; потужність – 5 Вт в імпульсі; тривалість імпульсу – 1,5 мкс; інтервал між імпульсами – 0,5-0,7 мс) (табл.2). Особливість дії лазерного випромінювання із вказаними параметрами дає можливість здійснювати дезінфекцію поверхні яйця, здійснювати дезінфекцію поверхні яйця внаслідок утворення в поверхневому шарі нагрівання, яке і знищує бактерії. Оскільки імпульс короткий (1,5 мкс), а інтервал між імпульсами значно більший (0,5-0,7 мс), то нагрівання не встигає розповсюдитись в глибину шкаралупи, що не приводить до її пошкодження. Тобто, за коротким імпульсом йде пауза достатня для того, щоб шкаралупа встигла охолонути до наступного лазерного імпульсу.

Таблиця 2

Перелік технологічних операцій при реалізації способу знезаражування поверхні інкубаційного яйця лазерним випромінюванням
(патент на корисну модель № 124247)

1-а операція	2-а операція	3-я операція	4-а операція	5-а операція
<i>Лазерна активізація мікрофлори на поверхні яйця (лазер в неперервному режимі (CW), 50 мВт, 620-680 нм)</i>	Витримка яєць в шафі інкубатора для знезаражування (протягом часу необхідного для активізації життєдіяльності мікрофлори)	<i>Лазерне знезаражування яєць від мікрофлори (лазер в імпульсному режимі (P), 5 Вт, 890 нм, імпульс 1,5 мкс)</i>	Закладка партії знезаражених яєць в інкубатор	Інкубація партії

Відповідно розробленої технологічної схеми ЕТК для реалізації способів лазерної обробки поверхні яйця перед закладенням в інкубаційну шафу розроблено структурну електричну схему керування ЕТК (рис.9).

Напруга живлення подається до блоку керування ЕТК 1, до якого під'єднуються стабілізований блок живлення НЛ 2, пульт керування електроприводом обертання яйця 5, електропривод завантажувального 7 і вивантажувального 8 транспортерів та датчики наявності яйця на транспортерах 9, 10, датчик наявності яйця під променем лазера 11, 12 – датчик часу для контролю обертання яйця на 360° ; 13 – лічильник кількості оброблених лазером яєць.

Для живлення НЛ 4 застосовують стабілізований блок живлення 2, який забезпечує напругу живлення $U_{жив.стаб}$ і пульта керування НЛ 3. Окремо до пульта керування 1 підключається пульт керування електроприводом обертання яйця 5 з електроприводом 6 та електропривод завантажувального транспортера 7 і електропривод вивантажувального транспортера 8.

Для керування процесом лазерної обробки поверхні яйця у напівавтоматичному режимі застосовуються датчики наявності яйця на транспортерах 9,10, датчик наявності яйця під променем лазера 11, датчик часу для контролю обертання яйця на 360° 12, лічильник кількості оброблених лазером яєць 13.

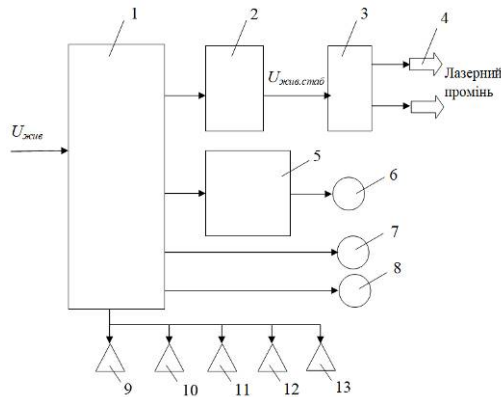


Рисунок 9 – Структурна електрична схема електротехнічного комплексу лазерної обробки поверхні яйця

Виходячи з конструктивних особливостей НЛ вони мають загальний недолік, а саме – перевищення температури навіть на короткий період має руйнівну незворотну дію. Причому, дифузні процеси в багат шарову кристалі прискорюються в рази швидше ніж зміна температурного рівня – для кристалів із складною структурою вона становить близько 65°C , тільки деякі моделі дозволяють витримувати температуру понад 125°C . Вказані перевищення температури призводять до різкого зростання дифузних процесів і як наслідок скорочення терміну працездатності кристалу та відхилення інших параметрів НЛ залежить від стабільності і параметрів мережі живлення.

Тому, для живлення НЛ розробляють спеціальні джерела живлення, варіант, якого пропонуємо в даній роботі. Структурна схема розробленого джерела живлення НЛ наведена на рис.10.

Основою схемного рішення є застосування контуру негативного зворотного зв'язку (1, 2, 6, 15) та подвійна система керування замкнутим контуром, яка складається із контролю вхідної потужності 1, 3, блока контролю напруги 4, блока вимірювання параметрів живлення НЛ 5.

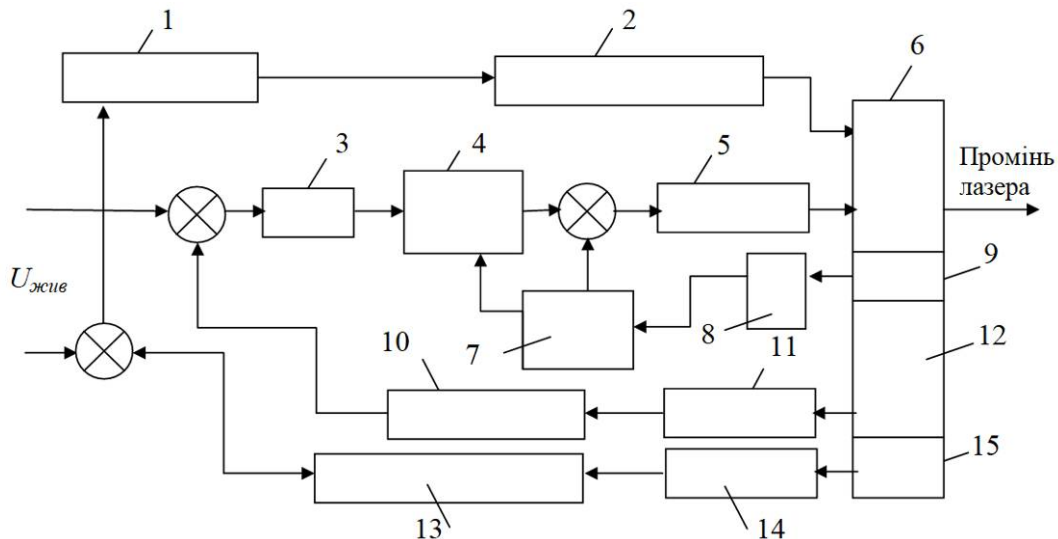


Рисунок 10 – Структурна блок-схема стабілізованого джерела живлення напівпровідникового лазера

Крім того, в тіло НЛ 6 вбудовано блок оптичного контролю 9 та блок електричного контролю вихідної потужності 12. Зворотний зв'язок температурного кола складається із блока контролю температури НЛ 15, блока вимірювання температури 14 і блока реагування струму на зміну температури НЛ 13. Основним елементом блоку живлення є струмова петля, яка дозволяє здійснювати керування параметрами (потужністю, температурою) НЛ.

З метою регулювання параметрів лазерних імпульсів які пов'язані з лінійними розмірами яєць (гусей, курей, качок та т. і.) необхідно змінювати як амплітуду лазерного імпульсу, так і тривалість та шпаруватість. Принципова схема розробленого генератора змінюваних імпульсів представлена на рис. 11.

Параметри генератора імпульсів:

- тривалість імпульсів від 1 мкс до 8.3 с;
- регулювання шпаруватості від 0 до 100 %.

Зміна тривалості імпульсів і шпаруватості відбувається за допомогою енкодера КУ-040. Імпульсний підсилювач с ізольованим виходом приймає імпульсні сигнали з рівнем TTL або КМОС. Вихідний ізольований підсилювач підключено до необхідної напруги в інтервалі +2 В до +11 В. Амплітуда вихідних імпульсів дорівнює напрузі живлення вихідного підсилювача. Вихідний струм підсилювача може досягати 4 А.

Результати роботи та розроблений дослідний зразок ЕТК (рис.12) для лазерної обробки інкубаційних яєць пройшли промислові випробування в інкубаторії дослідного господарства «Бірки» Інституту птахівництва НААН України, ТОВ СТ «Івашківський інкубатор» та впроваджені на інкубаторі ТОВ

«НВФ Біотехнологі» (м. Харків) і ПСП «Решетилівський інкубатор» (Полтавська обл.).

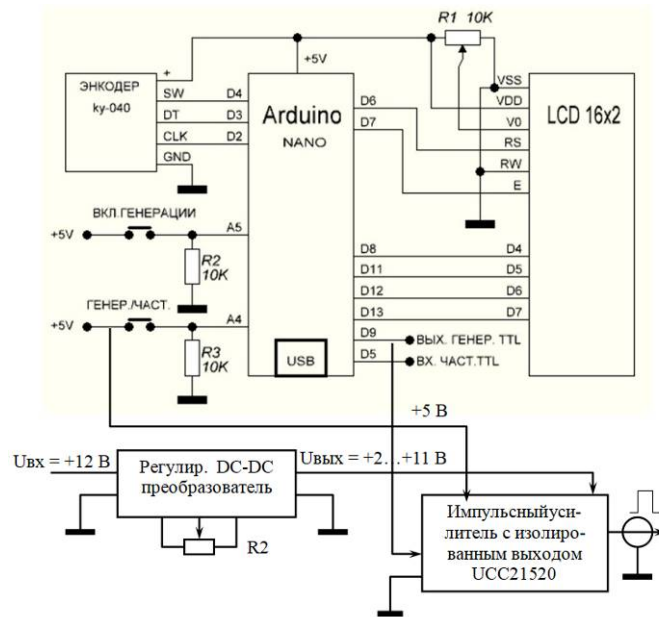


Рисунок 11 – Принципова електрична схема генератора імпульсів

Експериментальні дослідження підтвердили ефективність лазерної обробки інкубаційних яєць, так, забруднення патогенною мікрофлорою поверхні шкаралупи яйця знижується на 23-28 %, а виводимість молодняка птиці збільшується: гусей – на 7,54-9,83 %; курей – на 12,8-13,8 %; качок на – 1,54-9,21 %.



Рисунок 12 – Експериментальні дослідження лазерної обробки поверхні шкаралупи яйця з використання діючого макетного зразка ЕТК

ВИСНОВКИ

У дисертаційній роботі сформульовано та розв’язано актуальну для теорії практики наукову задачу розробка електротехнічних приладів, комплексів та систем для підвищення ефективності виробництва сільськогосподарської продукції, зокрема в птахівництві на основі застосування лазерних технологій.

Основні результати проведених досліджень полягають в наступному:

1. Аналіз науково-технічної літератури показує, що заплановане збільшення обсягів виробництва продукції птахівництва потребує розробки та впровадження новітніх енерго- і ресурсощадних технологій в інкубації, зокрема побудованих на застосуванні напівпровідникових лазерів.

2. Проведене математичне моделювання процесу взаємодії випромінювання з точкового джерела, яким є лазерний промінь, з апроксимованою до еліпсоїда поверхнею яйця, отримані рівняння для визначення рівня опромінювання в будь-якій точці поверхні, а також середнього значення уздовж плями і по всій плямі нерухомого еліпсоїда.

3. Розглянуто опромінювання еліпсоїда, що обертається навколо осі симетрії та отримано вираз для визначення поточної дози опромінення поверхні яйця та знайдено рівняння лінії раціонального розміщення джерела, з точок якої еліпсоїд видно під одним і тим же кутом, рівним куту поширення пучка променів з насадки лазера.

4. Побудовано залежності максимальної, середньої та мінімальної доз опромінювання при синхронному русі двох НЛ. Розрахунки, проведені в інтервалі статистичних розмірів еліпсоїда "три сигма" від середнього, показали, що з імовірністю 0,9973 збільшення дози опромінення еліпсоїда в порівнянні із середнім значенням не перевищить 5,46 %, а зменшення – не перевищить 5,92 %.

5. В результаті проведених теоретичних досліджень рекомендовані наступні параметри електротехнічного комплексу для лазерної обробки поверхні шкаралупи яйця: число НЛ – 2; потужність НЛ – 50,0 мВт; довжина хвилі випромінювання НЛ – 620-680 нм; установка НЛ на осі еліпсоїда симетрична до його центру; ефективна висота установки НЛ над поверхнею яйця – $H = 134 \text{ мм}$; максимальна віддаленість НЛ від центру яйця по його поверхні – $L = 93 \text{ мм}$; кут установки НЛ по відношенню – $\beta = 34,4^\circ$; час опромінення – $T = 13,6 \text{ с}$; частота обертання яйця – $n_{ob} = 4,4 \text{ об/хв}$.

6. Удосконалено блок живлення НЛ на основі застосування струмової петлі для контролю за параметрами випромінювання при роботі в мережі з відхиленнями ЯЕ з метою забезпечення ефективної лазерної обробки поверхні шкаралупи яйця.

7. Експериментальні випробування розробленого електротехнічного комплексу для лазерної обробки інкубаційних яєць перед знезаражуванням підтвердили його ефективність, так, забруднення патогенною мікрофлорою поверхні шкаралупи яйця знижується на 23-28 %, а виводимість молодняка птиці збільшується гусей – на 7,54-9,83 %; курей – на 12,8-13,8 %; качок на – 1,54-9,21 %.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Міленін Д.М., ін. Лазерна технологія знезаражування інкубаційних яєць / Д.М. Міленін, М.Л. Лисиченко, О.В. Терещенко, О.Б. Артеменко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та

енергозбереження в АПК України» – Х.: ХНТУСГ, 2011. – Вип. 116. – С. 134-136.

2. Міленін Д.М., ін. Ефективність лазерної обробки інкубаційних яєць / Д.М. Міленін, М.Л. Лисиченко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. «Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України» – Х.: ХНТУСГ, 2012. – Вип. 129. – С. 84-87.

3. Миленин Д.Н., др. Условие облучения неподвижного эллипсоида точечным источником / Д.М. Міленін, М.Л. Лисиченко – Праці Таврійського державного агротехнологічного університету – Мелітополь: ТДАТУ, 2015. – Вип.15. – Т.2. – С. 266-273.

4. Міленін Д.М., ін. Геометрія області еліпсоїда, освітлюємого точковим джерелом / Д.М. Міленін, М.Л. Лисиченко, О.І. Завгородній // Энергосбережение, энергетика, энергоаудит – 2015. – №12(143) – С. 50-57.

5. Міленін Д.М. Визначення оптимального місця розміщення джерела лазерного випромінювання // Энергетика та комп'ютерні технології в АПК – 2016. – № 1 (4) – С. 52-55.

6. Міленін Д.М., ін. Опромінення еліпсоїда двома точковими джерелами / Д.М. Міленін, М.Л. Лисиченко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2016. – Вип.175. – С.102-105.

7. Міленін Д.М. Визначення часу опромінення поверхні інкубаційного яйця при лазерній обробці // Энергетика і автоматика – 2016. – №2. – С.48-56. – Режим доступу: http://nbuv.gov.ua/UJRN/eia_2016_2_8

8. Міленін Д.М., ін. Визначення впливу лазерного випромінювання та сполуки ПКР-125 на якість інкубації яєць / Д.М. Міленін, М.Л. Лисиченко, Л.І. Пархоменко // Вісник ХНТУСГ ім. П. Василенка. Технічні науки. “Проблеми енергозабезпечення та енергозбереження в АПК України” – Х.: ХНТУСГ, 2018. – Вип.195. – С. 145-146.

9. Milenin D. Research of the ellipsoid area geometry illuminated by a point laser source / D/ Milenin, M. Lysychenko, O. Pankova, N. Titova, O. Teplova, A. Kotyra, B. Imanbek, S. Smailova, D. Baitussupov // Proc. SPIE 11456, Optical Fibers and Their Applications 2020, 114560M (12 June 2020); – Режим доступу: <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57218143314>.

Публікацій, які засвідчують апробацію матеріалів дисертації

10. Міленін Д.М., ін. 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.

11. Міленін Д.М., ін. Обґрунтування параметрів лазерної обробки інкубаційних яєць / Д.М. Міленін, М.Л. Лисиченко // Матер. Міжн. науч.-техн. конф. «Відновлювальна енергетика, новітні автоматизовані електротехнології в біотехнічних системах АПК» (6-7 листопада 2013 р.) – К.: НУБІП, 2013. – С.59-61.

12. *Міленін Д.Н.*, др. Влияние лазерной обработки инкубационных яиц на бактериальную обсемененность поверхности скорлупы / *Д.Н. Міленін*, Н.Л. Лисиченко // Матер. XXXXI Межд. науч.-прак.конф. “Применение лазеров в медицине и биологии” (28-31 мая 2014 г.) – Х.: ХНУ им. В.Н. Каразина, 2014. – С. 26-27.

13. *Міленін Д.М.* Апроксимація форми яйця в процесі лазерної обробки поверхні шкаралупи перед закладенням в інкубатор // Матер. V Міжнар.наук.-техн. конф. «Світлотехніка й енергетика: історія, проблеми, перспективи» – Тернопіль: ТзОВ «Видавництво Астон», 2015. – С.42-43.

14. *Міленін Д.М.*, ін. Лазерна технологія знезаражування інкубаційних яєць / *Д.М. Міленін*, М.Л. Лисиченко // Матер. III Міжн. наук.-прак. конф. «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК» (17-18 грудня 2015 р.) – К.: НУБіП, 2016. – С. 111-112.

15. *Міленін Д.М.* Опромінення поверхні інкубаційного яйця лазером // Збірник тез доповідей XVII Міжнар. наук. конф. «Сучасні проблеми землеробської механіки» (17-18 жовтня 2016 р.) – Суми: СумНАУ, 2016. – С. 210-212.

16. *Міленін Д.М.* Визначення оптимального кута для опромінення лазером інкубаційного яйця // Матер. IV Міжнар. наук-прак. конф. «Проблеми та перспективи розвитку енергетики, електротехнологій та автоматики в АПК» (21-22 листопада 2016 р.) – К.: НУБіП, 2016. – С. 16-17.

17. Rawashhdeh Mustafa A. Low-intensity laser radion and 1,2,4-triasole derivativatives as the corection measure in egg incubation and postnatal poultry development / A. Rawashhdeh Mustafa, L. Parkhomenko, V. Parchenko, A. Salashech Obada, Al. Noory Achmed, *D. Milenin*, N. Lysychenko // Abstract Proceedings National Agricultural Research Center (NARC), Baqa', (15-17 october 2018, Karak, Jordan) – Jordan: MU, 2018. – P. 155-156.

18. *Міленін Д.М.*, ін. Лазерна установка для знезаражування поверхні шкаралупи інкубаційного яйця / *Д.М. Міленін*, М.Л. Лисиченко // Матер. II Міжн. наук.-техн. конф. «Актуальні проблеми автоматики та приладобудування» (м. Харків, 6-7 грудня 2018 р.) – Х.: НТУ «ХП», 2018. – С. 91-92.

Публікацій, які додатково відображають наукові результати дисертації

19. Патент України на корисну модель № 72084. України МПК (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.

20. Патент на корисну модель № 124247, Україна. МПК (2018.01) А61N 5/067, (2006.01), А01К 45/00 Спосіб знезаражування інкубаційних яєць / *Д.М. Міленін*, М.Л. Лисиченко (Україна) – № u 2017 112774; Заявл. 20.11.2017; Опубл.26.03.2018. Бюл. №6. – 4 с.

21. Патент на корисну модель №128699, Україна. МПК (2018.01) А01К 45/00, А61D 19/00, А01К 41/00. Спосіб обробки інкубаційних яєць / *Д.М.*

Міленін, М.Л. Лисиченко – № и 2018 00315; Заявл. 11.01.2018; Опубл. 10.10.2018. Бюл.19. – 4 с.

22. Шоміна Н.В., ін. Технологічні операції передінкубаційної обробки яєць сільськогосподарської птиці. Методичні рекомендації / Н.В. Шоміна, О.О. Катеринич, М.Л. Лисиченко, Д.М. Міленін – Бірки: ДДСП, 2018. – 32 с.

АНОТАЦІЯ

Міленін Д.М. Обґрунтування параметрів електротехнічного комплексу лазерної обробки інкубаційних яєць перед знезаражуванням. – Рукопис.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 05.09.03 – електротехнічні комплекси та системи. – Харківський національний технічний університет сільського господарства імені Петра Василенка. – Харків, 2021.

У дисертаційній роботі на основі теоретичних і експериментальних досліджень обґрунтовано параметри електротехнічного комплексу для лазерної обробки поверхні шкаралупи інкубаційних яєць при його обертанні перед знезаражуванням. На основі теоретичного дослідження процесу лазерної обробки поверхні яйця точковим джерелом випромінювання, отримані вирази для визначення рівня опромінювання в будь якій точці поверхні і отримано рівняння для визначення середньої дози опромінювання уздовж плями освітлення нерухомого еліпсоїда, який описує поверхню яйця. Знайдено рівняння лінії раціонального місця розміщення лазера з точок якої еліпсоїд опромінюється під одним і тим же кутом і однаковою величиною випромінювання. Теоретично обґрунтовано застосування мінімум двох однакових джерел точкового випромінювання для рівномірного опромінення поверхні яйця при його обертанні навколо своєї вісі та отримані вирази для поточної і середньої дози опромінювання. Побудовані графічні залежності максимальної, середньої та мінімальної дози опромінення при синхронному русі лазера по лінії раціонального розміщення над поверхнею яйця, які показали що з імовірністю 0,9973 збільшення дози опромінення поверхні в порівнянні із середнім значенням не перевищить 5,46 % , а зменшення – 5,92 %.

В результаті аналізу кінематичної моделі процесу опромінення рухомого яйця встановлено що для забезпечення ефективного процесу лазерної обробки яйця, вісь лазера поєднана з бісектрисою кута пучка поширення променів, які стикаються з його поверхнею.

В результаті проведених теоретичних досліджень рекомендовані наступні параметри електротехнічного комплексу для лазерної обробки поверхні шкаралупи яйця: число НЛ – 2; потужність НЛ – 50,0 мВт; довжина хвилі випромінювання НЛ – 620-680 нм; установка НЛ на осі еліпсоїда симетрично до його центру; ефективна висота установки НЛ над поверхнею яйця – $H = 134 \text{ мм}$; максимальна віддаленість НЛ від центру яйця по його поверхні – $L = 93 \text{ мм}$; кут установки НЛ по відношенню – $\beta = 34,4^\circ$; час опромінення – $T = 13,6 \text{ с}$; частота обертання яйця – $n_{об} = 4,4 \text{ об/хв}$.

Розроблено структурну схему електротехнічного комплексу, структурну схему керування пристроєм для лазерної обробки поверхні яйця та блок стабілізованого живлення лазерів. Запропоновано способи опромінення яйця перед знезаражуванням, безпосередньо знезаражування поверхні та знезаражування і одночасної активізації розвитку зародку.

Проведені експериментальні дослідження підтвердили ефективність розробленого електротехнічного комплексу для лазерної обробки інкубаційних яєць, при цьому, забрудненість патогенною мікрофлорою поверхні шкаралупи яйця знижується на 23-28 %, а виводимість молодняка птиці збільшується гусей – на 7,54-9,83 %; курей – на 12,8-13,8 %; качок на – 1,54-9,21 %.

Ключові слова: електротехнічні комплекси, інкубація яйця птиці, джерела когерентного оптичного випромінювання – лазери, напівпровідникові лазери, лазерна обробка біологічних об'єктів, якість електричної енергії, блок живлення напівпровідникових лазерів.

Миленин Д.Н. Обоснование параметров электротехнического комплекса лазерной обработки инкубационных яиц перед обеззараживанием. – Рукопись.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.09.03 – электротехнические комплексы и системы. – Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства имени Петра Василенко – Харьков, 2021.

В диссертационной работе на основе теоретических и экспериментальных исследований обосновано параметры электротехнический комплекс для лазерной обработки поверхности скорлупы инкубационных яиц при вращении перед обеззараживанием. В работе на основе теоретических исследований процесса лазерной обработки поверхности яйца, получены уравнения для определения средней дозы облучения вдоль пятна освещения эллипсоида, который описывает яйцо. Получено уравнение описывающее линию рационального места размещения полупроводникового лазера, с точек, которой эллипсоид освещается под одним и тем же углом и одинаковой величиной излучения. Теоретически обосновано применение минимум двух одинаковых источников излучения точечного излучения для равномерного облучения поверхности яйца при его вращении вокруг своей оси и получены выражения для текущей и средней дозы облучения. Построены графические зависимости максимальной, средней и минимальной дозы облучения при синхронном движении полупроводникового лазера по линии рационального размещения над поверхностью яйца, которые показали, что с вероятностью 0,9973 увеличение дозы облучения поверхности в сравнении со средним значением не превышает 5,46 %, а уменьшение – 5,92 %.

В результате анализа кинематической модели процесса облучения вращающегося яйца установлено, что для обеспечения эффективного процесса лазерной обработки яйца, ось лазера объединена с биссектрисой угла пучка распространения луча, которые соприкасаются с поверхностью.

В результате проведенных теоретических исследований рекомендованы следующие параметры электротехнического комплекса для лазерной обработки поверхности скорлупы яйца: число полупроводниковых лазеров – 2; мощность излучения лазера – 50,0 мВт; длина волны излучения лазера – 620-680 нм; установка лазеров на оси эллипсоида симметрична его центра; эффективна высота установки лазера над поверхностью яйца – $H = 134$ мм; максимальная отдаленность лазера от центра яйца по его поверхности – $L = 93$ мм; угол размещения лазера по отношению к оси – $\beta = 34,4^\circ$; время облучения – $T = 13,6$ с; частота вращения яйца – $n_{ob} = 4,4$ об/мин.

Разработана структурная схема электротехнического комплекса, структурная схема управления устройством для лазерной обработки поверхности яйца и блок стабилизированного питания лазеров. Предложены способы облучения яйца перед обеззараживанием, непосредственно обеззараживания поверхности и обеззараживания с одновременной активизацией развития зародыша яйца.

Проведенные экспериментальные исследования подтвердили эффективность разработанного электротехнического комплекса для лазерной обработки инкубационных яиц, при этом, загрязнение патогенной микрофлорой поверхности скорлупы яйца снижается на 23-28 %, а выводимость молодняка птицы увеличивается: гусей – на 7,54-9,83 %; курей – на 12,8-13,8 %; уток на – 1,54-9,21 %.

Ключевые слова: электротехнические комплексы, инкубация яиц птицы, источники когерентного излучения – лазеры, полупроводниковые лазеры, лазерная обработка биологических объектов, качество электроэнергии, блок питания полупроводниковых лазеров.

Milenin D.M. Substantiation of the parameters of the electrical complex for laser processing of hatching eggs before disinfection. - Manuscript.

Dissertation for the degree of candidate of technical sciences in specialty 05.09.03 - electrical complexes and systems. – Kharkiv Petro Vasylenko National Technical University of Agriculture - Kharkov, 2021.

In the dissertation work, on the basis of theoretical and experimental studies, the parameters of an electrical complex for laser processing of the surface of the shell of hatching eggs when rotating before disinfection are substantiated. In this work, on the basis of theoretical studies of the process of laser processing of the egg surface with a point source of radiation, the obtained expressions for determining the level of irradiation at any point on the surface, equations are obtained for determining the average dose of irradiation along the illumination spot of the ellipsoid that describes the egg. An equation is obtained that describes the line of the rational location of the laser, from the points with which the ellipsoid is illuminated at the same angle and the same amount of radiation. The use of at least two identical radiation sources of point radiation for uniform irradiation of the egg surface when it rotates around its axis is theoretically substantiated, and expressions for the current and average radiation dose are obtained. Graphical dependences of the maximum, average and

minimum irradiation dose were constructed for the synchronous movement of the laser along the line of rational placement above the egg surface, which showed that, with a probability of 0.9973, the increase in the surface irradiation dose in comparison with the average value does not exceed 5.46%, and the decrease - 5.92%.

As a result of the analysis of the kinematic model of the irradiation of a rotating egg, it was found that to ensure an effective process of laser processing of the egg, the laser axis is combined with the bisector of the beam angle of the beam propagation, which are in contact with the surface.

As a result of the theoretical studies, the following parameters of the electrical complex for laser processing of the egg shell surface were recommended: the number of semiconductor lasers - 2; semiconductor laser radiation power - 50.0 mW; semiconductor laser radiation wavelength - 620-680 nm; the installation of the NL on the axis of the ellipsoid is symmetrical to its center; effective height of the laser installation above the surface of the egg - $H = 134$ mm; the maximum distance of the semiconductor laser from the center of the egg along its surface - $L = 93$ mm; the angle of the semiconductor laser in relation to the axis - $\beta = 34,4^\circ$; exposure time - $T = 13,6$ s egg rotation rate - $n_{ob} = 4,4$ rpm.

A block diagram of an electrical complex, a block diagram of a device for laser processing of an egg surface and a stabilized power supply for lasers have been developed. Methods of irradiation of eggs before disinfection, direct surface disinfection and disinfection with simultaneous activation of the development of the egg embryo are proposed.

Experimental studies have confirmed the effectiveness of the developed electrical complex for laser processing of hatching eggs, while the contamination of the surface of the egg shell by pathogenic micro flora is reduced by 23-28 %, hatchability of young poultry increases: geese - by 7.54-9.83%; chickens - by 12.8-13.8%; ducks by - 1.54-9.21%.

Key words: electrical complexes, incubation of poultry eggs, sources of coherent radiation - lasers, semiconductor lasers, laser processing of biological objects, power quality, power supply unit for semiconductor lasers.