

В. В. Борщ, О. Б. Борщ, В. О. Ханюков, Я. В. Олійник

Полтавський національний технічний університет імені Юрія Кондратюка, Полтава, Україна

ЕНЕРГООЩАДНИЙ ІНКУБАТОР ДЛЯ ФЕРМЕРСЬКИХ ТА ПРИСАДИБНИХ ГОСПОДАРСТВ

Проаналізовані виробничі можливості сучасного парку промислових, фермерських та домашніх інкубаторів; визначені основні технічні проблеми їх конструкції. Недосконале обладнання вітчизняних побутових та практична відсутність фермерських інкубаторів а також відносно висока їх енергозатратність суттєво стримують виробництво продукції сільського птахівництва. На основі аналізу рівняння теплопередачі через стінки огорожувальної конструкції інкубатора визначені основні чинники, що суттєво впливають на втрати теплової енергії ним. Зроблений висновок про зменшення теплових втрат шляхом виготовлення огорожувальної конструкції інкубатора на основі сучасних теплоізоляційних матеріалів та заміни електромеханічної системи обертання інкубаційного матеріалу. Описано конструкцію оригінального енергоефективного інкубатора, що може бути виготовлений як у фермерському так і побутовому виконаннях і використаний на малих фермерських та присадибних господарствах. Для автоматичного локального та дистанційного керування параметрами мікроклімату інкубатора розроблена «інтелектуальна» автоматична система. Використання персонального комп'ютера в комплексі з мережею приладів «ТРЦ 02 Універсал⁺» вітчизняного виробництва дозволяє представляти вимірювані значення параметрів технологічного процесу інкубації в цифровій і графічній формах, а також локально та дистанційно керувати параметрами. В якості механізму перевертання інкубаційного матеріалу використаний лоток з гравітаційним перевертанням, що зменшує споживання електроенергії та спрощує процес перевертання інкубаційного матеріалу.

Ключові слова: інкубатор, огорожувальна конструкція, теплообмін, мікроклімат, давач, автоматична система, мікроконтролер, вентилятор, повітрообмін, нагрівач, лоток.

Вступ

Постановка проблеми. З появою важливої галузі сільського господарства - птахівництва виникла потреба створення пристроїв для здійснення інкубації штучним шляхом за допомогою інкубаторів. Сучасний інкубатор є високотехнологічною системою, що дозволяє отримувати високий відсоток виведення курчат з мінімальними затратами ручної праці.

З розвитком в Україні фермерських господарств пов'язане збільшення об'ємів продукції птахівництва в сільській місцевості. Виведення домашніх птахів у невеликих кількостях на малих фермерських та присадибних господарствах неможливе без застосування інкубаторів.

Успішна інкубація яєць залежить від підтримки й забезпечення оптимальних значень температури, вологості, повітрообміну всередині інкубатора та періодичного перевертання яєць, тощо [1, 2]. Виконання вказаних операцій в автоматизованому режимі суттєво спрощує процес їх оптимізації, підвищує ефективність та якість роботи інкубатора й знижує собівартість продукції. Останній чинник суттєво залежить від рівня енергоощадності інкубатора.

Промислові інкубатори типу «Універсал» та ГУП-Ф-45/ГУВ-Ф-15 мають низку недоліків, серед яких дороге електронне обладнання іноземного виробництва, відсутність можливості дистанційного керування технологічним процесом, нерівномірність розподілу температури всередині інкубаційної камери, а також низка технічних недоліків.

Сучасне інкубаційне обладнання провідних світових компаній Petersime Incubator Co (Бельгія), Linko (Данія), NatureForm Hatchery Systems (США), Viktoria (Італія). «Pas Reform Hatchery Technologies» (Нідерланди), «Petersime» (Бельгія), «Jamesway» (Ка-

нада), Nature Form (США), «Hatch Tech» (США) тощо відрізняється підвищеною функціональністю та відповідає всім вимогам птахівників. Повна автоматизація інкубаторів дозволяє звести участь людини в технологічному процесі інкубації до мінімуму, однак вартість обладнання вказаних компаній суттєво перевищує вартість аналогічного вітчизняного обладнання, що суттєво стримує його застосування [1].

Наразі відома низка конструкцій побутових інкубаторів для малих сільських виробників продукції птахівництва. Це інкубатори «Double Micro Battery 90», «Курочка ряба ІБ-130», «Теплуша», «Наседка ІБ-140», «Тандем-80 + Вологість» та інші [1].

Вітчизняні побутові інкубатори для застосування в присадибних господарствах типу ІБМ-30, МІ-30 та ін. мають недосконале обладнання для створення мікроклімату в об'ємі інкубатора та контролю й керування параметрами технологічного процесу інкубації. Недосконалим та енергозатратним є також і механізм перевертання яєць [2].

Мета досліджень. З урахуванням зростання об'ємів продукції птахівництва на малих фермерських та присадибних господарствах перед авторами поставлені завдання:

– проаналізувавши рівняння теплопередачі визначити чинники, що суттєво впливають на втрати теплової енергії інкубатором;

– суттєво зменшити теплові втрати шляхом впровадження огорожувальної конструкції інкубатора, виготовленої на основі сучасних теплоізоляційних матеріалів;

– розробити й виготовити макет універсального фермерського (об'єм більше 250 яєць) інкубатора та макет універсального побутового (об'єм менше 200 яєць) інкубатора;

– розробити систему автоматичного керування параметрами мікроклімату об'єму інкубатора;

– розрахувати та підібрати основні компоненти автоматичної системи керування вітчизняного виробництва;

– розробити просту, надійну та енергоощадну конструкцію пристрою для перевертання інкубаційного матеріалу.

Аналіз останніх досліджень і публікацій. Добре відомо, що при проходженні електричного струму I через резистивні нагрівачі повітря інкубатора на протязі часу τ в останніх виділяється кількість теплоти Q_1 , що визначається рівнянням [4]:

$$Q_1 = I^2 \cdot R \cdot \tau. \quad (1)$$

На певному етапі розвитку ембріона яйце виділяє кількість теплоти Q_2 , аналітичне визначення якої практично неможливе.

Одночасно з виділенням тепла нагрівачами Q_1 та ембріонами Q_2 присутні втрати теплоти через стінки огорожувальної конструкції інкубатора; кількість теплоти, обумовлена тепловим випромінюванням та кількістю теплоти, що надходить в об'єм інкубатора з припливним повітрям.

Втрати теплоти через стінки огорожувальної конструкції визначаються двома чинниками – шляхом теплопередачі та тепловим випромінюванням.

Втрати теплоти Q_3 шляхом теплопередачі через стінки огорожувальної конструкції визначаються рівнянням, Дж [4]:

$$Q_3 = \frac{1}{R} \cdot F \cdot (T_2 - T_1) \cdot \tau, \quad (2)$$

де R – опір теплопередачі огорожувальної конструкції, $(\text{м}^2 \cdot ^\circ\text{C})/\text{Вт}$; F – загальна площа поверхні стінок конструкції інкубатора, м^2 ; T_1 – температура внутрішньої та зовнішньої поверхонь, $^\circ\text{C}$; τ – період передачі теплоти через огорожувальну конструкцію інкубатора, с.

Кількість теплоти Q_4 , обумовлена тепловим випромінюванням [3] визначається рівнянням, Дж:

$$Q_4 = c_0 \cdot \varepsilon_{np} \cdot F \cdot \left[\left(\frac{T_1}{100} \right)^4 - \left(\frac{T_2}{100} \right)^4 \right] \cdot \tau, \quad (3)$$

де $c_0 = 5,67 \frac{\text{Вт}}{\text{м}^2 \cdot \text{К}^4}$ – коефіцієнт випромінювання абсолютно чорного тіла; ε_{np} – приведений ступінь чорноти випромінюючої та поглинаючої поверхонь.

Кількість теплоти Q_5 , що надходить в об'єм інкубатора з припливним повітрям [3], Дж:

$$Q_5 = c \cdot L \cdot \rho \cdot (t_g - t_3) \cdot \tau, \quad (4)$$

де c – теплоємність повітря, $\text{Дж}/(\text{кг} \cdot ^\circ\text{C})$; L_{CO_2} – повітрообмін в інкубаторі, $\text{м}^3/\text{с}$; ρ – густина повітря, $\text{кг}/\text{м}^3$; t_g, t_3 – температура внутрішнього та зовнішнього повітря, $^\circ\text{C}$.

При роботі інкубатора в оптимальному режимі спостерігається тепловий баланс:

$$Q_1 + Q_2 = Q_3 + Q_4 + Q_5, \quad (5)$$

Основна частина

Сконструйований і виготовлений діючий макет інкубатора, що може бути виготовлений у фермерському та в побутовому виконанні. Схема макету представлена на рис. 1.

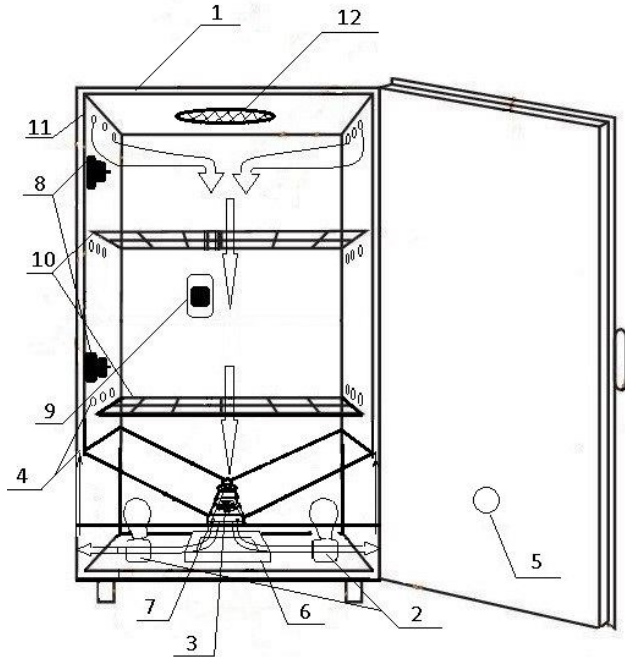


Рис. 1. Конструкція макета інкубатора

Резистивними нагрівачами повітря інкубатора слугують інфрачервоні лампи розжарювання 2. Вимірювальні перетворювачі температури 8 контролюють її значення у двох зонах об'єму.

Для забезпечення мінімальних втрат тепла через корпус інкубатора Q_3 об'єм між його подвійними стінками заповнений мінеральною ватою на синтетичному зв'язуючому - теплоізоляційним матеріалом, що характеризується низьким коефіцієнтом теплопровідності λ [3].

Зменшення коефіцієнту теплопровідності теплоізоляційного матеріалу ($R = \delta/\lambda$) досягнуте завдяки покриттю внутрішніх подвійних стінок шумоізолюючим атмосферостійким теплоізолюючим термостійким латексом [4].

Одним з основних параметрів, який суттєво впливає на розвиток ембріонів в інкубаторі, є кількість вуглекислого газу, що виділяється в його об'ємі. При перевищенні допустимого значення концентрації вуглекислого газу в об'ємі інкубатора процеси розвитку ембріонів завмирають.

Дотримання допустимого значення концентрації вуглекислого газу забезпечується безперервною циркуляцією повітря в об'ємі інкубатора, що створює двошвидкісний вентилятор 3 через повітряний канал в корпусі 4, бокова стінка 11 якого має низку отворів; запропоноване інженерне рішення забезпечує оптимальний повітрообмін у технологічному об'ємі інкубатора та створює оптимальні умови

рівномірного обігріву інкубаційних яєць. Вентилятор забезпечує також роботу припливно-витяжної вентиляції через технологічні отвори 5 та 12.

Для вибору вентилятора та його електродвигуна розраховуємо повітрообмін в об'ємі інкубатора. Величина повітрообміну за вуглекислим газом [5] в об'ємі інкубатора L_{CO_2} , м³/год, визначається співвідношенням:

$$L_{CO_2} = \frac{G_{CO_2}}{k_{вуд} - k_{ex}}, \quad (6)$$

де G_{CO_2} – кількість вуглекислого газу, що виділяється в об'ємі інкубатора, л/год; $k_{вуд}$ – концентрація вуглекислого газу в повітрі, який видаляється з інкубатора, л/м³; k_{ex} – концентрація вуглекислого газу в повітрі, що подається в інкубатор, л/м³.

З урахуванням технічних вимог до інкубаторів [5], рекомендацій та результатів досліджень Інституту птахівництва УААН значення кратності повітрообміну інкубатора залежить від виду птахів, терміну розвитку ембріонів і перебуває в межах від 2 до 20 (при цьому максимальне значення кратності повітрообміну дорівнює 24).

Об'єм інкубаційної камери виготовленої автотрами макета інкубатора (фермерський варіант) становить 1 м³ і тому, беручи до уваги те, що вентилятор 3/4 своєї продуктивності витрачає на переміщення повітря всередині інкубаційного об'єму, потрібно, з урахуванням коефіцієнта запасу, обрати вентилятор, витрати повітря якого не менші ніж 90 м³/год.

З врахуванням посиленого виділення ембріонами вуглекислого газу на останній стадії інкубації для забезпечення розрахункового повітрообміну доцільно встановити двошвидкісний вентилятор ВЕНТС 150 МА 01, максимальна продуктивність котрого становить 110 м³/год.

Згідно довідника [6], потужність електродвигуна (кВт) вентилятора при нехтуванні зміни густини повітря визначається співвідношенням

$$P = k_3 \cdot \frac{3,6 \cdot p \cdot L}{\eta_{заг}}, \quad (7)$$

де p – тиск повітря, що створюється вентилятором, Па; L – витрати повітря, м³/год.

Загальний ККД вентиляторної установки становить:

$$\eta_{заг} = \eta_в \cdot \eta_{пр} \cdot \eta_{пер}, \quad (8)$$

де $\eta_в$ – ККД вентилятора; $\eta_{пр}$ – ККД привода; $\eta_{пер}$ – ККД передачі.

Коефіцієнт запасу k_3 прийемо рівним 1,1.

Розрахунок дає значення величини потужності електродвигуна, що становить 7 Вт. Двигун потужністю 7,6 Вт розрахований на безпечну напругу живлення 12 В ступеня захисту IP 24, яким укомплектований вентилятор, придатний для приведення в рух обраного вентилятора.

Для контрольованого та керуваного зволоження атмосфери інкубатора використовуються ванна з водою 6, генератор туману 7 та вимірювальний перетворювач вологості 9.

Інкубаційний матеріал закладається в лотки 10. Для забезпечення природного (горизонтального) способу вкладання яєць у лоток інкубатора, оптимального режиму перевертання яєць навколо центру маси, зменшення аеродинамічного опору потокам теплого повітря та підвищення енергоощадності пристрою періодичного перевертання інкубаційного матеріалу за рахунок використання енергії гравітаційного поля макет інкубатора укомплектований лотком з гравітаційним перевертанням [7].

Для забезпечення перевертання яєць без затрат електричної енергії лоток устатковується в напрямні, розміщені на стінках інкубатора, під кутом 6° до горизонтальної поверхні та завантажуються інкубаційним матеріалом, що пояснює рис.2.

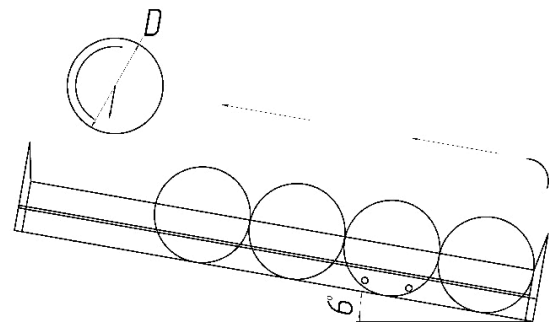


Рис. 2. Лоток інкубатора з гравітаційним перевертанням (вигляд з боку)

В установленний термін, визначений необхідною умовою для оптимального розвитку плоду яйця, діаметром D переноситься вручну з нижньої частини лотка у верхнє звільнене місце, що дозволяє решті яєць під дією гравітаційного поля вільно перекочуватися по паралельних стрижнях на звільнену відстань D , забезпечуючи проходження поверхнею кожного яйця шляху, який дорівнює $\pi D/2$, та їх перевертання на кут 180°.

Система автоматичного керування параметрами мікроклімату об'єму інкубатора створена на основі програмованого цифрового приладу «ТРЦ 02 Універсал+».

Структурна схема системи для автоматичного вимірювання, локального та дистанційного керування температурою, вологістю повітря та вмістом вуглекислого газу наведена на рис. 3.

На вхід першого двоканального приладу «ТРЦ 02 Універсал+» подаються електричні сигнали ε_1 та ε_2 від термопар, що вимірюють температуру в нижній і верхній зонах об'єму інкубатора та перетворюються за допомогою аналого-цифрового перетворювача в цифрову форму.

Сигнали, значення яких зображуються на цифровому індикаторі, обробляються мікроконтролером приладу, порівнюються з величиною сигналів задавачів та керують вихідними оптосимісторами двох каналів приладу.

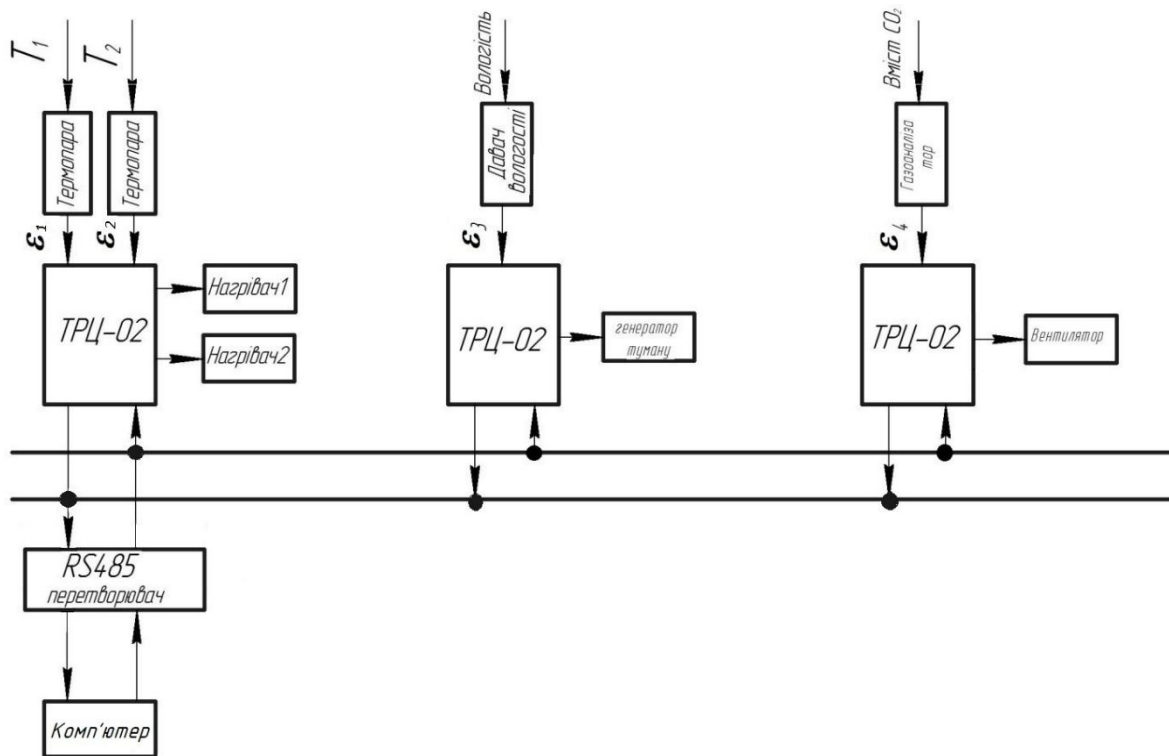


Рис. 3. Структурна схема системи для автоматичного вимірювання та керування параметрами мікроклімату в об'ємі інкубатора

Режим неперервного керування температурою здійснюється за допомогою нагрівача повітря у вигляді чотирьох електричних інфрачервоних ламп розжарювання.

Другий прилад «ТРЦ 02 Універсал⁺» керує вологістю атмосфери.

Для безпосереднього вимірювання вологості повітря обраний вимірювальний перетворювач вологості ДВ-2, із чутливим елементом НІН 4000 фірми «Hontywell», принцип дії котрого ґрунтується на зміні відносної діелектричної проникності терморезистивного полімеру, що заповнює простір між двома платиновими обкладинками ємнісної структури.

Електричний сигнал ε_3 від вимірювального перетворювача вологості обробляється приладом аналітично.

Як виконавчий механізм, що під'єднаний до виходу приладу «ТРЦ 02 Універсал⁺» та підтримує задану вологість повітря інкубатора, використаний ультразвуковий генератор туману.

Третій прилад «ТРЦ 02 Універсал⁺» керує повітрообміном в об'ємі інкубатора. Електричний сигнал ε_4 від газоаналізатора, що вимірює вміст вуглекислого газу, також обробляється приладом, який керує роботою двохшвидкісного вентилятора для підтримки заданого вмісту вуглекислого газу у вказаному об'ємі. При збільшенні концентрації вуглекислого газу «ТРЦ 02 Універсал⁺» включає підвищену швидкість обертання вала вентилятора, що призводить до прискореного виводу вуглекислого газу з інкубаційного об'єму та забезпечує збагачення повітря об'єму інкубатора киснем.

Розроблені автоматична система керування та програмне забезпечення дають можливість операти-

вного локального та дистанційного керування технологічним процесом інкубації яєць, забезпечуючи його оптимальні умови.

Підключений до мережі персональний комп'ютер (див. рис. 3) за допомогою перетворювача інтерфейсу RS-485 [8] на основі розробленого програмного забезпечення дозволяє представляти вимірювані значення температури та вологості в цифровій і графічній формах, а також локально та дистанційно керувати технологічними процесами, пов'язаними з інкубацією яєць за допомогою Інтернет мережі.

Висновки

Сконструйований і виготовлений діючий енергоощадний макет інкубатора, що може бути виготовлений як у фермерському так і в побутовому виконаннях.

В якості пристрою періодичного перевертання інкубаційного матеріалу використаний енергоощадний гравітаційний лоток, що забезпечує природний (горизонтальний) спосіб укладання яєць, оптимальний режим перевертання яєць навколо центру маси, зменшення аеродинамічного опору потокам теплого повітря та підвищення енергоощадності пристрою періодичного перевертання інкубаційного матеріалу за рахунок використання енергії гравітаційного поля.

Виконано розрахунок однієї з основних систем технологічного процесу інкубації яєць – системи збагачення киснем технологічного об'єму.

Розроблена система автоматичного керування параметрами мікроклімату на основі вітчизняного цифрового приладу «ТРЦ 02 Універсал⁺», що дозво-

ляє забезпечувати та підтримувати оптимальні параметри мікроклімату в інкубаторі.

Підключення персонального комп'ютера до мережі приладів «ТРЦ 02 Універсал⁺» дозволяє

представляти вимірювані значення параметрів технологічного процесу інкубації в цифровій і графічній формах, а також локально та дистанційно керувати ними.

СПИСОК ЛІТЕРАТУРИ

1. Технологія виробництва продукції птахівництва: підручник для студентів вищих навчальних закладів/ Бородай В.П., Сахацький М.І., Вертійчук А.І. та ін. – Вінниця: Нова книга, 2006. – 360 с.
2. Зоогигиена с основами проектирования животноводческих объектов: учебное пособие – СПб.: Лань, 2006. – 224 с.
3. ДБН В.2.6-2006 Теплова ізоляція будівель. – К.: Мінрегіон України, 2016. – 73 с.
4. Патент UA 63680 Україна, МПК (2011.01) C09D 5/00. Шумоізолюючий атмосферостійкий теплоізолюючий термостійкий латекс (ШАТТЛ) / С.С. Костюкевич; заявл. 12.08.2011., опубл. 10.10.2011. – Бюл. № 19.
5. ГОСТ 21056 – 75. Инкубаторы. Технические требования.
6. Справочник по автоматизированному электроприводу/ Под ред. В.А. Елисеева и А.В. Шинянского. – М.: Энергоиздат, 1983. – 616 с.
7. Патент UA 131989 Україна, МПК A01K 41/06. Лоток інкубатора з гравітаційним перевертанням / В.В. Борщ, О.Б. Борщ, О.В. Шульга, О.І. Власенко, В.П. Велешук; заявл. 30.07.18., опубл. 11.02.2019. – Бюл. № 3.
8. Saravanan S., Hailu M., Gouse G.M., Lavanya M., Vijaysai R. (2019) Design and Analysis of Low-Transition Address Generator. In: Zimale F., Enku Nigussie T., Fanta S. (eds) Advances of Science and Technology. ICAST 2018. Lecture Notes of the Institute for Computer Sciences, Social Informatics and Telecommunications Engineering, vol 274. Springer, Cham, DOI: http://doi.org/10.1007/978-3-030-15357-1_19

Рецензент: д-р ф.-м. наук, проф. О. І. Власенко,
Інститут фізики напівпровідників

імені В.С. Лашкарьова НАН України, Київ.

Received (Надійшла) 16.01.2019

Accepted for publication (Прийнята до друку) 27.02.2019

Энергосберегающий инкубатор для фермерских и приусадебных хозяйств

В. В. Борщ, Е. Б. Борщ, В. О. Ханюков, Я. В. Олийник

Проанализированы производственные возможности современного парка промышленных фермерских и домашних инкубаторов; определены основные технические проблемы их конструкции. Несовершенное оборудование отечественных бытовых и практическое отсутствие фермерских инкубаторов а также относительно высокая их энергозатратность существенно сдерживают производство продукции сельского птицеводства. На основе анализа уравнения теплопередачи через стенки ограждающей конструкции инкубатора определены основные факторы, которые существенно влияют на потери тепловой энергии им. Сделан вывод об уменьшении тепловых потерь путем изготовления ограждающей конструкции инкубатора на основе современных теплоизоляционных материалов и замены электромеханической системы вращения инкубационного материала. Описаны конструкцию оригинального энергоэффективного инкубатора, который может быть изготовлен как в фермерском так и бытовом исполнениях и использован на малых фермерских и приусадебных хозяйствах. Для автоматического локального и дистанционного управления параметрами микроклимата инкубатора разработана «интеллектуальная» автоматическая система. Использование персонального компьютера в комплексе с сетью приборов «ТРЦ 02 Универсал⁺» отечественного производства позволяет представлять измеряемые значения параметров технологического процесса инкубации в цифровой и графической формах, а также локально и удаленно управлять параметрами. В качестве механизма переворачивания инкубационного материала использован лоток с гравитационным переворачиванием, что уменьшает потребление электроэнергии и упрощает процесс переворачивания инкубационного материал.

Ключевые слова: инкубатор, ограждающая конструкция, теплообмен, микроклимат, датчик, автоматическая система, микроконтроллер, вентилятор, нагреватель, лоток.

Energy saving incubator for farmers and personal households

V. Borshch, O. Borshch, V. Khaniukov, Y. Oliinyk

The production facilities of the modern park of industrial, farm and home incubators are analyzed; the basic technical problems of their design are determined. The imperfect equipment of domestic domestic and practical absence of farm incubators as well as their relatively high energy consumption significantly restrain the production of agricultural poultry production. On the basis of the analysis of the heat transfer equation through the walls of the enclosing structure of the incubator, the main factors that significantly affect the thermal energy loss are determined. The conclusion is made on the reduction of thermal losses by making the enclosure design of the incubator on the basis of modern heat-insulating materials and replacement of the electromechanical system of the rotation of the incubation material. The design of an original energy-efficient incubator, which can be made both in farm and household implements and used on small farms and farms, is described. For the automatic local and remote control of the microclimate of the incubator an "intelligent" automatic system is developed. The use of a personal computer in conjunction with the network of devices "TRC 02 Universal⁺" of domestic production allows representing the measured values of the parameters of the process of incubation in digital and graphical forms, as well as locally and remotely control the parameters. As a mechanism for inverting the incubation material, a tray with gravitational turning is used, which reduces electricity consumption and simplifies the process of turning the incubation material.

Keywords: incubator, fencing structure, heat exchange, microclimate, sensor, automatic system, microcontroller, fan, air exchange, heater, tray.