

of crushed concrete as a result of completing the process of dilatation (the end of the interaction volumetric component of the deformation component and shear deformation) that leads to the formation of macro cracks detection of separation. The results of calculation of values of the relative capacities load the adjusted parameters of diagram "stress-strain" for concrete silicate and carbonate filler at elevated temperatures. The results of studies are a necessary component in the development of draft national standard "Construction of buildings and structures. Design of reinforced concrete structures. The main provisions. The fire".

Keywords: boundary, deformation, concrete, diagram, voltage, temperature

УДК 632.08

ДОСЛІДЖЕННЯ БОКСУ З КОМАХАМИ ЯК ОБ'ЄКТА АВТОМАТИЗАЦІЇ

**В. П. Лисенко, доктор технічних наук
Національний університет біоресурсів і
природокористування України**

І. С. Чернова, інженер

Інженерно-технологічний інститут «Біотехніка» НААН

Анотація. Досліджено бокс для вирощування млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*), комахи-хазяїна ентомофага бракона (*Bracon hebetor*), як об'єкт автоматизації. Актуальність роботи полягає в тому, що дослідження боксу з комахами як об'єкта автоматизації є важливим етапом на шляху створення енергоефективної системи керування електротехнічним комплексом для виробництва ентомофагів. Метою роботи є визначення динамічних властивостей боксу з комахами як об'єкта керування. Наведено параметричну модель боксу. Вхідними параметрами є густина гусениць; густина зерна; густина повітря; об'єм повітря боксу; об'єм кювети; середня маса гусениць; маса зерна; питома теплоємність гусениць; питома теплоємність зерна; питома теплоємність повітря. Вихідним параметром є температура боксу. Параметри збурення - температура та відносна вологість зовнішнього середовища, температура зерна. Параметри керування – потужність нагрівника і потужність зволожника. Формалізовано тепловий баланс боксу у вигляді диференційного рівняння першого порядку.

© В. П. Лисенко, І. С. Чернова, 2016

Отримано математичну модель процесу змінювання температури боксу від теплоти нагрівника у вигляді аперіодичної ланки та ланки чистого запізнювання. Наведено експериментальну та аналітичну перехідні характеристики процесу зміни температури боксу при включенні обігрівача потужністю 1000 Вт. Результати досліджень можуть бути використаними на початковій стадії розробки енергоефективної системи керування електротехнічним комплексом при виробництві ентомофага бракон.

Ключові слова: бокс з комахами, об'єкт керування, температура боксу

Постановка проблеми. Виробництво біологічних засобів захисту рослин, зокрема, ентомофагів гарантованої якості з метою отримання екологічно чистої харчової продукції є перспективним напрямом розвитку сучасної біотехнології. Керування якістю ентомофагів містить встановлення взаємозв'язку між біологічними показниками якості ентомофагів (плодючістю; масою яєць, гусениць, імаго; статевим індексом та ін.) і параметрами техноценозу.

Аналіз останніх досліджень. В ІТІ «Біотехніка» НААН України розроблено таку систему та проведено експериментальні її дослідження в стандартному боксі для розведення млинової вогнівки (*Ephestia kuehniella*), комах-хазяїна гусеничного ентомофага бракон (*Bracon hebetor*) [1]. Однак розроблена система керування характеризується суттєвою коливальністю регульованих параметрів, що призводить до втрат електроенергії. Тому дослідження боксу з комахами як об'єкта автоматизації є важливим етапом на шляху створення енергоефективної системи керування електротехнічним комплексом для виробництва ентомофагів.

Мета досліджень – визначення динамічних властивостей боксу з комахами як об'єкта керування.

Результати досліджень. Об'єктом дослідження був бокс об'ємом 10 м³ (2,95x1,8x1,9 м³) для розведення млинової вогнівки; в боксі знаходилось 32 кювети з поживним середовищем (меленим зерном ячменю) та ентомокультурами (рис. 1). Знаходиться бокс у приміщенні, в якому система опалення відсутня.

На технологічний процес отримання гусениць млинової вогнівки впливають такі параметри мікроклімату як температура, відносна вологість та концентрація вуглекислого газу. Вимірювання та регулювання мікроклімату боксу здійснюється із використанням спеціалізованих технічних приладів: вимірник-регулятор TPM 202 OVEN; вимірювальний модуль MBA8 OVEN; датчики температури і вологості; газоаналізатор Дозор С-М; SCADA – система OWEN

PROCESS MANAGER (OPM) v.1.2; персональний комп'ютер; адаптер інтерфейса USB/RS-485 AC-4 ОВЕН [1]. На рис. 2 наведена параметрична модель боксу з комахами, де параметрами керування є: P_n – потужність нагрівника, Вт; $P_{зв}$ – потужність зволожника, Вт; параметрами збурення: $\theta_{зов}$, °С; $\varphi_{зов}$, %; θ_3 , °С – температура та відносна вологість зовнішнього середовища, температура зерна; вхідними: ρ_2 – густина гусениць, мг/м³; ρ_3 – густина зерна, кг/м³; ρ_n – густина повітря, кг/м³; V_6 – об'єм повітря боксу, м³; V_k – об'єм кювети, м³; M_2 – середня маса гусениць, мг; M_3 – маса зерна, кг; C_2 – питома теплоємність гусениць, кДж/кг·°С; C_3 – питома теплоємність зерна, кДж/кг·°С; C_n – питома теплоємність повітря, кДж/кг·°С; вихідними: θ_6 – температура боксу, °С.



Рис. 1. Об'єкт керування.

Формалізуємо тепловий режим боксу з комахами. Тепло від електромережі та освітлення не враховуємо. В узагальненому вигляді рівняння теплового балансу боксу має вигляд [2]:

$$(\rho_n \cdot V_6 \cdot C_n + \rho_3 \cdot V_k \cdot C_3 + \rho_2 \cdot V_k \cdot C_2) \cdot \frac{d\theta_6}{dt} = Q_n(t) - Q_{oz}(t), \quad (1)$$

де: Q_n – теплота, нагрівника, Вт; Q_{oz} – теплота, що виноситься з боксу через огороджувальні конструкції (стіни та двері), Вт.

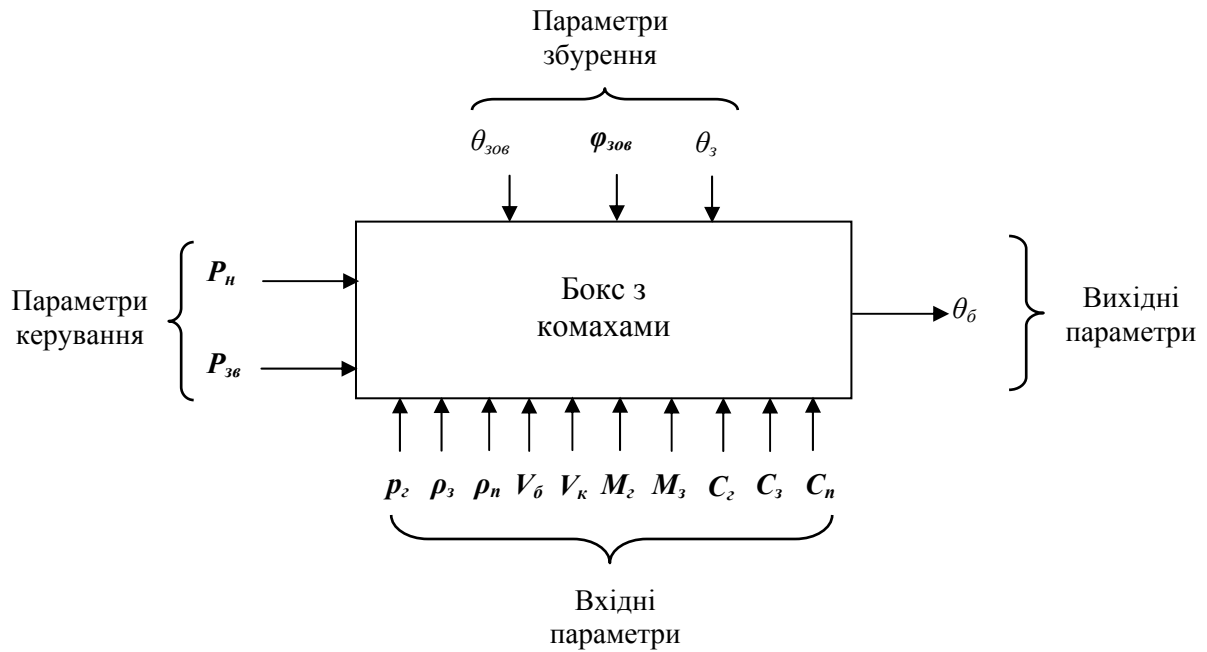


Рис. 2. Параметрична модель боксу з комахами.

Кількість теплоти, що виноситься з боксу через огорожувальні конструкції, розраховується за виразом:

$$Q_{оз}(t) = K_{\delta} \cdot (\theta_{\delta}(t) - \theta_{зов}(t)), \quad (2)$$

$$K_{\delta} = \frac{S_{cm1}}{R_{cm1}} + \frac{S_{cm2}}{R_{cm2}} + \frac{S_{cm3}}{R_{cm3}} + \frac{S_{\delta\delta}}{R_{\delta\delta}} + \frac{S_{cm}}{R_{cm}} + \frac{S_{нидл}}{R_{нидл}}, \quad (3)$$

$$R_{cm1} = \frac{L_{cm1}}{\lambda_{cm1}} = \frac{L_{пласт}}{\lambda_{пласт}} + \frac{L_{дер}}{\lambda_{дер}} + \frac{L_{нов}}{\lambda_{нов}}, \quad (4)$$

$$R_{cm2} = R_{cm3} = \frac{L_{цез}}{\lambda_{цез}}, \quad (5)$$

$$R_{\delta\delta} = \frac{L_{\delta\delta}}{\lambda_{\delta\delta}}, \quad (6)$$

$$R_{cm} = \frac{L_{cm}}{\lambda_{cm}}, \quad (7)$$

$$R_{нидл} = \frac{L_{нидл}}{\lambda_{нидл}}, \quad (8)$$

де: K_{δ} – коефіцієнт теплоізоляції боксу, Вт/°С; S_{cm1} , S_{cm2} , S_{cm3} , $S_{\delta\delta}$, S_{cm} , $S_{нидл}$ – відповідно площі: стіни, що межує із зовнішнім приміщенням; стіни, що межує з коридором; стіни, що межує із приміщенням № 2; двері; стелі та підлоги, м²; R_{cm1} , R_{cm2} , R_{cm3} , $R_{\delta\delta}$, R_{cm} , $R_{нидл}$ – відповідно термічний опір стін, двері, стелі та підлоги, м²·°С/Вт; $L_{пласт}$, $L_{дер}$, $L_{нов}$ – товщина пластика, дерева, повітряного зазору, м; L_{cm1} , L_{cm2} , L_{cm3} , $L_{\delta\delta}$, L_{cm} , $L_{нидл}$ – товщина стін, двері, стелі та підлоги, м; λ_{cm1} , λ_{cm2} , λ_{cm3} , $\lambda_{\delta\delta}$, λ_{cm} , $\lambda_{нидл}$ – відповідна теплопровідність стін, двері, стелі та підлоги,

Вт/м·°С; $\lambda_{\text{пласт}}=0,06$ Вт/м·°С (теплопровідність пластика); $\lambda_{\text{дер}}=0,2$ Вт/м·°С (теплопровідність дерева); $\lambda_{\text{нов}}=0,03$ Вт/м·°С (теплопровідність повітря); $\lambda_{\text{цег}}=0,7$ Вт/м·°С (теплопровідність цегли); $\lambda_{\text{ст}}=\lambda_{\text{нідл}}=1,7$ Вт/м·°С (теплопровідність залізобетону).

Теплота від боксу, з одного боку, передається кюветам із зерном, а від зерна – до комах, які є пойкилотермними організмами, їх температура є непостійною та залежить від температури навколишнього середовища. В будь-якому організмі продукується ендогенне тепло як результат усіх метаболічних реакцій [3]. За даними І. Д. Стрельнікова, температура тіла комах, що перебувають у спокої і не піддаються опроміненню сонцем, приблизно дорівнює температурі навколишнього середовища [4].

За результатами проведених в ІТІ «Біотехніка» досліджень, середня температура зерна в кюветі (з 1-го по 31-й дні розвитку ентомокультури) становила 27,6 °С при середній температурі боксу 28 °С. Однак у період інтенсивного розвитку гусениць (з 20-го по 31-й день) спостерігалось підвищення температури зерна до 36,6 °С в окремі кюветі та в середньому до 32 °С у восьми кюветах.

Отже рівняння теплового балансу має вигляд:

$$\left(\frac{\rho_n \cdot V_{\theta} \cdot C_n + \rho_3 \cdot V_k \cdot C_3 + \rho_2 \cdot V_k \cdot C_2}{K_{\theta}}\right) \cdot \frac{d\theta_{\theta}}{dt} + \theta_{\theta}(t) = \frac{1}{K_{\theta}} \cdot Q_n(t) + \theta_{306}(t). \quad (9)$$

Вираз (9) – диференціальне рівняння першого порядку, котре характеризує залежність температури боксу від керуючого (теплоти, що виділяється нагрівником) та збурюючого (температури зовнішнього середовища) впливів.

Запишемо рівняння (9) в операторній формі, для чого позначимо постійну часу T_{θ} :

$$\frac{\rho_n \cdot V_{\theta} \cdot C_n + \rho_3 \cdot V_k \cdot C_3 + \rho_2 \cdot V_k \cdot C_2}{K_{\theta}} = T_{\theta}, \quad (10)$$

$$(T_{\theta}p + 1) \cdot \theta_{\theta}(p) = k_1 \cdot Q_n(p) + \theta_{306}(t), \quad (11)$$

де: $k_1 = \frac{1}{K_{\theta}}$, °С/Вт – коефіцієнт підсилення об'єкта, що досліджується.

Процес змінювання температури боксу під впливом теплоти нагрівника представлено передатною функцією у вигляді аперіодичної (інерційної) ланки першого порядку:

$$W_1(p) = \frac{\theta_{\theta}(p)}{Q_n(p)} = \frac{k_1}{T_{\theta}p + 1}. \quad (12)$$

За результатами досліджень розраховано K_{θ} , $T_{\theta}^{\text{розр}}$, $k_1^{\text{розр}}$. Так, $\rho_n=1,165$ кг/м³ (при 30 °С); $V_{\theta}=10$ м³; $C_n=1,005$ кДж/кг·К; $V_k=0,01$ м³; $M_3=12$ кг (в 8-ми кюветах); $C_3=1,7$ кДж/кг·К [5]; $M_2=0,9979$ кг (в 8-ми кюветах) із розрахунку того, що середня кількість гусениць в одній

кюветі складає 7316 шт., середня маса однієї гусениці – 17,05 мг; $C_2 = 3,8$ кДж/кг·°С (теплоємність гемолімфи близька до теплоємності води і складає 3,77–3,89 кДж/(кг·°С) [6]; $S_{cm1} = 4,37$ м²; $S_{cm2} = 5,61$ м²; $S_{cm3} = 3,42$ м²; $S_{\delta\theta} = 1,24$ м²; $S_{cm} = S_{nidl} = 5,31$ м²; $L_{пласт} = 0,016$ м; $L_{дер} = 0,09$ м; $L_{нов} = 0,006$ м; $L_{cm3} = L_{цез} = 0,15$ м; $L_{\delta\theta} = 0,04$ м.

$$K_{\theta} = 4,75 + 26,18 + 6,2 + 15,96 + 2 \cdot 60,18 = 173,45 \text{ Вт/}^{\circ}\text{С}, \quad (13)$$

$$T_{\theta}^{розр} = \frac{11708 + 81600 + 15163}{173,45} = 625 \text{ с}; \quad (14)$$

$$k_1^{розр} = \frac{1}{173,45} = 0,006 \text{ }^{\circ}\text{С/Вт}. \quad (15)$$

Бокс із комахами є об'єктом із запізнюванням, величина котрого визначається часом проходження сигналу від місця розташування нагрівника до датчика температури (1,8 м); при цьому нагрівник масляного типу «ТермоЛюкс», що використовувався, є інерційним об'єктом. За результатами аналізу експериментально отриманої перехідної характеристики (технологи рекомендують утримувати млинову вогнівку при температурі розвитку 26 ± 1 °С [7]) процесу змінювання температури боксу при включенні нагрівника потужністю 1000 Вт при температурі повітря в зовнішньому приміщенні 18 °С було визначено, що час чистого запізнювання τ складає 180 с. Початковими умовами були температура боксу 20,6 °С при $t_0 = 0$ с. Обчислення $T_{\theta}^{експ}$, $k^{експ}$ здійснювали за рекомендаціями [8]:

$$k_1^{експ} = \frac{27 - 20,6}{1000} = 0,0064 \text{ }^{\circ}\text{С/Вт}, \quad (16)$$

$$T_{\theta}^{експ} = 1,25 \cdot (t_{0,7} - t_{0,33}) = 1,25 \cdot (1500 - 880) = 775 \text{ с}, \quad (17)$$

$$W_1(p)^{експ} = \frac{\theta_{\theta}(p)}{Q_n(p)} = \frac{0,0064}{775p + 1} \cdot e^{-180p}, \quad (18)$$

$$W_1(p)^{розр} = \frac{\theta_{\theta}(p)}{Q_n(p)} = \frac{0,006}{625p + 1} \cdot e^{-180p}, \quad (19)$$

$$\theta_{\theta}(t)^{розр} = 20,6 + 6 \cdot \left(1 - e^{-\frac{t-180}{625}}\right). \quad (20)$$

На рис. 3 наведено експериментальну та аналітичну перехідні характеристики процесу змінювання температури боксу при включенні нагрівника потужністю 1000 Вт.

Відносна похибка між даними експерименту та розрахунків складає 9,7 %, що дозволяє зробити висновок про можливість використання отриманої моделі бокса на початковій стадії розробки енергоефективної системи керування.

Висновки

1. Розроблено математичну модель процесу змінювання температури боксу з комахами від керуючого впливу – теплоти

нагрівника – у вигляді аперіодичної ланки з постійною часу 625 с, коефіцієнтом підсилення 0,006 °С/Вт та ланки чистого запізнювання із запізненням у 180 с.

2. Результати досліджень можуть бути використаними на початковій стадії розробки енергоефективної системи керування електротехнічним комплексом при виробництві ентомофага бракон.

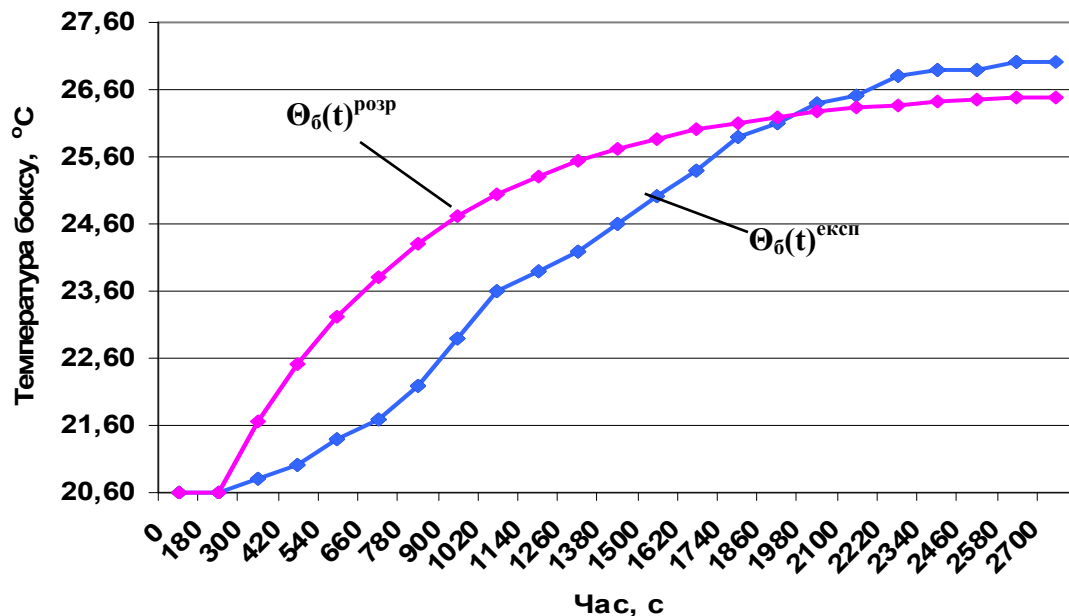


рис. 5. Експериментальна та аналітична порівняльні характеристики змінювання температури боксу.

Список літератури

1. Лысенко, В. Ф. Формирование требований к энергоэффективным системам управления качеством энтомофагов [Текст] : 2016 Информ. бюлетень СПРС МОББ 49 / В. Ф. Лысенко, И. С. Чернова // Матеріали Міжнародної науково-практичної конференції, Одеса, 2016. – С. 155–160.
2. Грошева, Л. П. Принцип составления энергетического (теплового) баланса и тепловые расчеты химико-технологических процессов [Текст] : учеб. / Л. П. Грошева. – В. Новгород: Новгородский государственный университет, 2006. – 14 с.
3. Салтыков, А. В. Биозкология [Текст] / А. В. Салтыков. – Ульяновск: Ульяновский государственный технический университет, 2000. – 88 с.
4. Стрелкова, Е. В. Физиология насекомых [Текст] / Е.В. Стрелкова, В.П. Дуктов. – Горки: Белорусская сельскохозяйственная академия, 2008. – 25 с.
5. Дацишин, О. В. Технологічне обладнання зернопереробних та олійних виробництв [Текст] / О. В. Дацишин, А. І. Ткачук, О. В. Гвоздєв, Ф. Ю. Ялпачик, В. О. Гвоздєв. – Вінниця: Нова Книга, 2008. – 488 с.
6. Еськов, Е. К. Конвергентное сходство механизмов терморегуляции у теплокровных животных и консолидированных скоплений насекомых [Текст] / Е. К. Еськов, В. А. Тобоев // Наземные экосистемы. Известия Самарского научного центра Российской академии наук. – 2013. – Т.15, № 3. – С. 169–176.
7. Молчанова, О. Д. Розведення млинової вогнівки для вирощування ектопаразиту бракон (*Habrobracon hebetor* Say) [Текст] / О. Д. Молчанова, І. А. Копко // Аграрний вісник Півдня. – 2014. – №1. – С. 131–134.

8. Дядик, В. Ф. Теория автоматического управления [Текст] : учеб. / В. Ф. Дядик, С. А. Байдали, Н. С. Креницын. – Томск: Томский политехнический университет, 2011. –196 с.

References

1. Lysenko, V. F., Chernova, I. S. (2016). Formation of requirements to the energy efficient quality management systems entomophages : Information bulletin IOBS EPRS 49 Materials of International scientific-practical conference, Odesa, 155–160.
2. Grosheva, L. P. (2000). Printsip sostavleniya energeticheskogo (teplovogo) balansa i teplovye raschety himiko-tehnologicheskikh protsessov [The principle of drawing energy (heat) balance and thermal calculations of chemical-technological processes]. Novgorodskiy gosudarstvennyy universitet, 14.
3. Saltykov, A. V. (2000). Bioekologiya [Bioecology] Ulyanovsk state technical University, 88.
4. Strelkova, E. V., Duktov, V. P. (2008). Fiziologiya nasekomyh [Physiology of insects]. Gorki: Belorusskaya selskohozyaystvennaya akademiya, 25.
5. Datsishin, O. V., Tkachuk, A. I., Gvozdev, O. V., Yalpachik, F. Yu., Gvozdev, V. O. (2008). Tehnologichne obladnannya zernopererobnih ta oliynih virobnitstv [Technological equipment of grain processing and oil industries]. Vinnitsya: Nova Kniga, 488.
6. Eskov, E. K., Toboev, V. A. (2013). Konvergentnoe shodstvo mehanizmov termoregulyatsii u teplokrovnyh zhivotnyh i konsolidirovannyh skopleniy nasekomyh [Convergent similarity of the mechanisms of thermoregulation in warm-blooded animals, and consolidated insect swarms] Terrestrial ecosystems. Proceedings of the Samara scientific center, Russian Academy of Sciences, 15, 3, 169–176.
7. Molchanova, O. D., Kopko, I. A. (2014). Rozvedennya mlinovoyi vognivki dlya viroshchuvannya ektoparazitu brakon (Habrobracon hebetor Say.) [Breeding Ephestia kuehniella for growing ectoparasite bracon (Habrobracon hebetor Say.)] Agricultural Wyk South, 1, 131–134.
8. Dyadik, V. F. Baydali, S. A. Dyadik, N. S. (2011). Teoriya avtomaticheskogo upravleniya [Theory of automatic control]. Tomskiy politehnicheskii universitet, 196.

ИССЛЕДОВАНИЯ БОКСА С НАСЕКОМЫМИ КАК ОБЪЕКТА АВТОМАТИЗАЦИИ

В. Ф. Лысенко, И. С. Чернова

Аннотация. Исследован бокс для разведения мельничной огневки (*Ephestia kuehniella*), насекомого-хозяина энтомофага бракона (*Bracon hebetor*), как объект автоматизации. Актуальность работы состоит в том, что исследования бокса с насекомыми как объекта автоматизации являются важным этапом при создании энергоэффективной системы управления электротехническим комплексом для производства энтомофагов. Целью работы является определение динамических свойств бокса как объекта управления. Приведена параметрическая модель бокса. Входными параметрами являются плотность гусениц; плотность зерна; плотность воздуха; объем воздуха бокса; объем кюветы; средняя масса гусениц; масса зерна; удельная теплоемкость гусениц; удельная теплоемкость зерна;

удельная теплоемкость воздуха. Выходным параметром является температура бокса. Параметры возмущения - температура и относительная влажность внешней среды, температура зерна. Параметры управления – мощность нагревателя и мощность увлажнителя. Формализован тепловой баланс бокса в виде дифференциального уравнения первого порядка. Получена математическая модель процесса изменения температуры бокса от теплоты нагревателя в виде апериодического звена и звена чистого запаздывания. Приведена экспериментальная и аналитическая переходные характеристики процесса изменения температуры бокса при включении нагревателя мощностью 1000 Вт. Результаты исследований могут быть использованы на начальной стадии разработки энергоэффективной системы управления электротехническим комплексом в производстве энтомофага бракон.

Ключевые слова: бокс с насекомыми, объект управления, температура бокса

RESEARCH BOX WITH INSECTS AS AUTOMATION OBJECTS

V. P. Lysenko, I. S. Chernova

Abstract. Investigated boxing for growing the *Ephestia kuehniella*, an insect host *Bracon hebetor*, as facility automation. The urgency of work consists that research of the box with the insects as the object of automation is an important step in creating energy efficient systems electrotechnical complex for the production of entomophages. The aim is to determine the dynamic properties box as the control object. Given a parametric model box. Input parameters the density of larvae; grain density; the density of the air; the air volume of the box; the volume of the cell; the average weight of the larvae; grain weight; specific heat of larvae; the specific heat of grain, specific heat of the air. The output parameter is the temperature of the box. The parameters of the perturbation – temperature and relative humidity of the external environment, the temperature of the grain. Control parameters – heater power, power humidifier. Heat balance Boxing is formalized by the differential equation of the first order. The received mathematical model of process of change of the temperature of the box from the heat of the heater in the form of an aperiodic link and link of the pure delay. Given experimental and analytical transient characteristics of the process the temperature change of the box when you turn on the heater power 1000 watts. The results of the study can be used at the initial stage of the development of energy efficient systems controlling electrical complex in the production of *Bracon hebetor*.

Keywords: box with insects, control object, temperature of box