

МАТЕМАТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС АЛГОРИТМОВ И ПРОГРАММ РЕАЛИЗАЦИИ НЕСТАЦИОНАРНЫХ РЕЖИМОВ ИНКУБАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Кулишова В.А., студ.; Гветадзе С.В., к.т.н.

(Южно – Российский Государственный Политехнический Университет (Новочеркасский Политехнический Институт), г. Новочеркасск, Российская федерация)

Птицеводство - отрасль агропромышленного комплекса, обеспечивающего устойчивое снабжение населения продуктами питания, а одним из наиболее распространенных технологических процессов этой отрасли является промышленная инкубация [1-5]. Ее результативность зависит от ряда внешних факторов, главным из которых считается температура. Она оказывает решающее влияние на выводимость яиц и жизнеспособность молодняка сельскохозяйственной птицы.

В настоящее время основой режим инкубации - термостабильный, когда температура в инкубационных шкафах поддерживается на заданном уровне с точностью не хуже $\pm 0,2$ °С. Но многие ученые-птицеводы обратили внимание на положительное влияние на эффективность рассматриваемого процесса такого фактора, как нестационарность температуры. Именно такую нестационарность обеспечивает в своем гнезде птица-наседка, переворачивая и перекатывая яйца, а также периодически на разное время, покидая гнездо и добываясь при этом высоких показателей насиживания. Выдвинута гипотеза, что именно нестационарность температурного состояния служит одной из причин повышения выводимости яиц и жизнеспособности молодняка при насиживании, и что между параметрами теплового воздействия на указанные биологические объекты и результативностью этого процесса существует определенная корреляционная связь. Первые проведенные опыты по обеспечению нестационарного режима инкубации показали перспективность выбранного направления и необходимость дальнейшего, более углубленного изучения термоконтрастного режим.

Ранее для непрерывного измерения и регистрации только внутрияйцевой температуры были предложены косвенный и прямой методы. При осуществлении первого из них, ведется непрерывный контроль температуры в любой заданной точке яйца (в том числе и в его центре), имея информацию о температуре на поверхности скорлупы, т.е. без нарушения целостности последней. При этом биологический объект, как материальное тело, имеет более сложную структуру и состоит из таких различных по теплофизическим свойствам компонентов, как желток, белок, скорлупа, воздух (в пуге) и развивающийся в процессе инкубации эмбрион. Поэтому более совершенная модель объекта инкубации "шар в эллипсоиде" является неоднородной учитывает теплофизические свойства отдельных компонентов яйца, т.е. желток в виде шара с радиусом R_1 расположен в центре белковой сферической оболочки с радиусом R_2 и внутренними источниками тепла $q_v(t)$, покрытой скорлупой, которая имеет толщину $\delta_{ск}$ и коэффициент теплопроводности $\lambda_{ск}$. На границе "скорлупа – окружающая среда (воздух)" задаются условия теплообмена 3-го рода и считается, что пуга отсутствует, нестационарное температурное поле биологического объекта которого можно описать уравнением теплопроводности в сферических координатах

$$\partial \theta_i(\mathbf{R}, t) / \partial t = a_i \left\{ \partial^2 \theta_i(\mathbf{R}, t) / \partial R^2 + 2R_i^{-1} \partial \theta_i(\mathbf{R}, t) / \partial R \right\} + q_v(t) / (\rho c)_i$$

с начальными и граничными условиями, которые в данном случае имеют вид:

$$\theta_i(\mathbf{R}, 0) = \theta_{н}; \quad \partial \theta_i(0, t) / \partial R = 0; \quad \lambda_{\text{эжв}} \left[\partial \theta_2(\mathbf{R}_2, t) / \partial R \right] = \alpha [\theta_B(t) - \theta_2(\mathbf{R}_2, t)]$$

а условия сопряжения на границе "желток–белок" (при $R=R_1$) характеризуются следующими соотношениями:

$$\theta_1(R_1, t) = \theta_2(R_1, t), \quad \lambda_1 \partial \theta_1(R_1, t) / \partial R = \lambda_2 \partial \theta_2(R_1, t) / \partial R,$$

где θ_i , $\theta_B(t)$ – температуры соответствующего компонента яйца ($i=1,2$ для желтка и белка) и окружающего воздуха; λ_i , a_i , ρ_i и c_i – коэффициенты тепло- и температуропроводности, плотность и удельная массовая теплоемкость соответствующего компонента яйца; $q_v(t)$ – удельная мощность внутренних источников тепла (считается, что эти источники равномерно распределены по объему яйца с поверхностью $\sigma(r)$); $\lambda_{\text{эКВ}}$ - эквивалентный коэффициент теплопроводности системы "скорлупа-белок", вычисляемый по формуле

$$\lambda_{\text{эКВ}} = [(R_2 - R_1) + \delta_{\text{СК}}] / [(R_2 - R_1) \lambda_2^{-1} + \delta_{\text{СК}} \lambda_{\text{СК}}^{-1}]$$

Следует отметить, что такой подход для реализации термоконтрастного режима целесообразно применять в инкубаторе, оснащенный микропроцессорным регулятором температуры. Другой вариант обеспечения режима переменных температур предполагает использовать в качестве объектов управления тепловые физические модели яиц (имитаторы). В основе этого подхода лежит требование идентичности динамических характеристик инкубируемого объекта и его модели [3]. Причем минимальная и максимальная температуры лежат соответственно в пределах 32...36 и 39...42 °С, а частота изменения температуры составляет 0,5...2 цикл/ч. Особенностью этого способа является то, что подводимая к нагревателям мощность регулируется путем коммутации их силовых цепей.

Авторами статьи предлагается новые принципы автоматизированного определения величины не только температурных, но и наиболее важных влажностных изменений в центре (центральная температура, влажность) объектов инкубации по зафиксированным экспериментальным путем при насиживании теплофизических параметров на поверхности в соответствующие моменты времени с целью выявления задающих воздействий для устройств, реализующих принципиально новый переменный режим в процессе инкубирования. При этом рекомендуется поддерживать температурный режим "нагрев - охлаждение" с интервалами времени /140 мин – нагрев, 30 мин - охлаждение/ в первые 12-13 суток: 35,5...38,3°С при влажности 50-65%, а далее до переноса в выводные шкафы – 35,5...37,5°С при влажности 70..75 %.

Программа может применяться для всех видов биологических объектов инкубации, а также может применяться в учебном процессе. Алгоритм программы приведен на рис.1. Первый этап – введение начальных данных – от пользователя требуется ввести значения моментов времени и поверхностных температуры, влажности биологического объекта соответственно, а также его теплофизические и геометрические параметры (радиус экваториального сечения, коэффициенты теплообмена и температуропроводности). При этом выполняется ряд следующих операций: вводятся начальные данные – от пользователя требуется введение лишь параметров данных кривых разгона исследуемого объекта инкубации. На втором этапе программа автоматически рассчитывает численные значения температурно - влажностных изменений в центре объекта инкубации.

Алгоритм и программа "Косвенный расчет центральной температуры и влажности объектов инкубации по поверхностной" предназначены для автоматизированного определения величины температурно-влажностных изменений в центре (тепло - влажностные параметры) объектов инкубации по зафиксированным экспериментальным путем при насиживании поверхностным в соответствующие моменты времени с целью выявления задающих воздействий для устройств, реализующих принципиально новый режим переменных температур и влажности в процессе инкубирования [5]. Опишем порядок ее работы. Первый этап – введение начальных данных – от пользователя требуется ввести значения моментов времени, поверхностным температуры и влажности биологического объекта соответственно, а также его теплофизические и геометрические параметры (радиус экваториального сечения, коэффициенты теплообмена и температуропроводности). При этом выполняется ряд следующих операций: вводятся начальные данные – от пользователя

требуется введение лишь параметров данных кривых разгона исследуемого объекта инкубации.

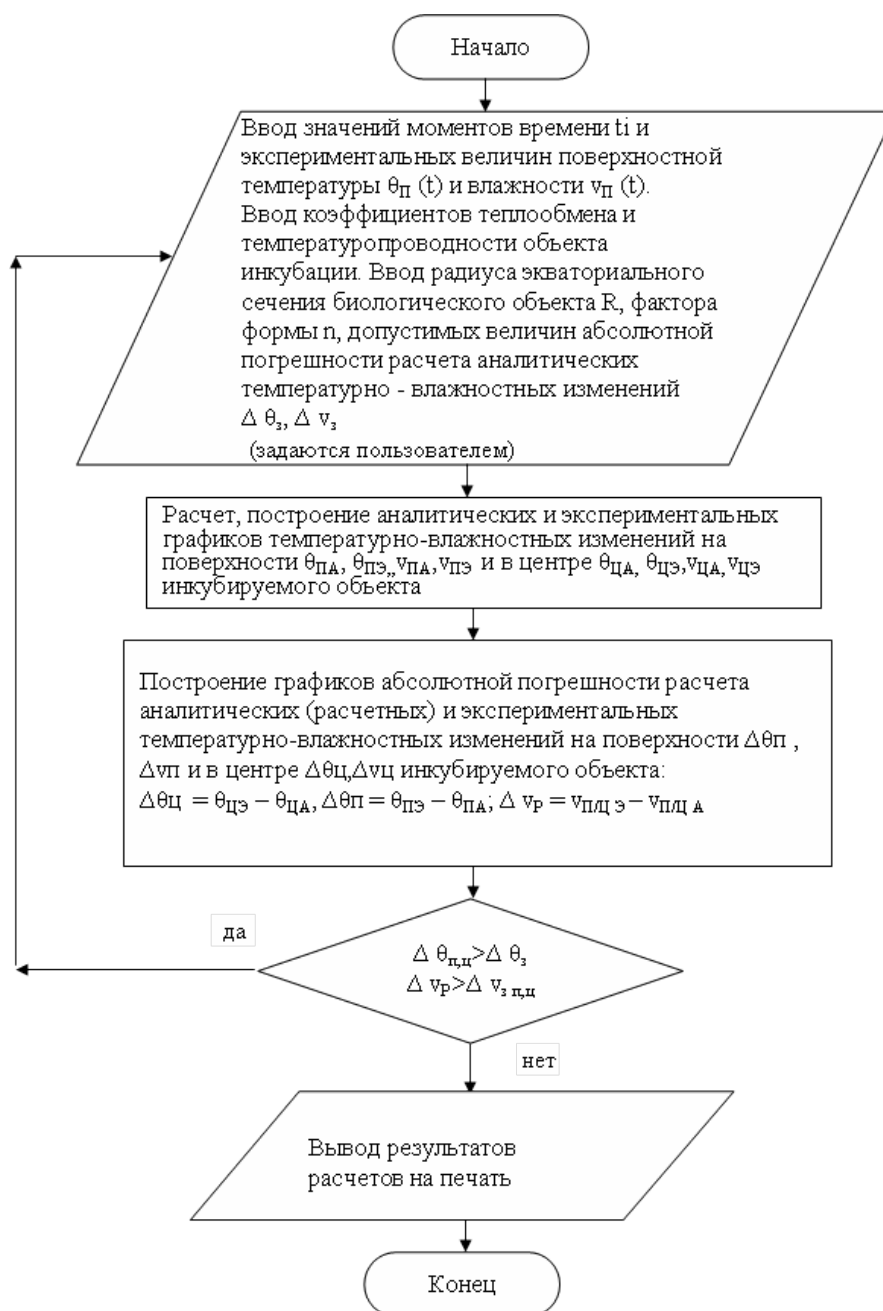


Рисунок 1 - Алгоритм программы “Косвенный расчет центральной температуры и влажности объектов инкубации по поверхностной”

На втором этапе рассчитываются численные значения температурных и влажностных изменений в центре объекта инкубации. В качестве результатов расчетов выводятся графики расчетных температурно-влажностных изменений в центре и экспериментальных на поверхности инкубируемого объекта. При этом последние графики позволяют пользователю оценить адекватность и целесообразность используемой методики.

В качестве результатов расчетов выводятся численные значения динамических параметров биологического объекта, а также графики кривых разгона. Следует отметить, что расчеты проводились для случая, когда коэффициент теплообмена между поверхностью яиц и окружающей их средой равен $30 \text{ Вт}/(\text{м}^2 \cdot \text{К})$, что соответствует аэродинамической обстановке в промышленных инкубаторах. Результаты аналитических и экспериментальных

исследований (их расхождение не превышает 10%) подтвердили адекватность полученных динамических моделей реальным биологическим объектам.

При этом выполняется ряд следующих операций: от пользователя требуется ввести значения моментов времени и поверхностной температуры биологического объекта соответственно, а также его теплофизические и геометрические параметры (радиус экваториального сечения, коэффициенты теплообмена и теплопроводности). На втором этапе программа, реализующая рассматриваемый алгоритм, автоматически рассчитывает численные значения температурных изменений в центре объекта инкубации. В качестве результатов расчетов выводятся графики расчетных влажностно - температурных и экспериментальных изменений в центре на поверхности инкубируемого объекта. Последние графики позволяют пользователю оценить адекватность и целесообразность используемой методики. Результаты проведенных исследований динамических характеристик яиц сельскохозяйственной птицы как тепловых объектов управления позволяют решать практические задачи, которые возникают при изучении теплоинерционных свойств яиц и реализации нового перспективного режима переменных температур и влажности их инкубации. В частности, появилась возможность с использованием экспериментальной кривой разгона пустого инкубатора, регистрируемой с имитационного элемента (ИЭ) - проводить анализ и синтез параметров объектов и цифровых регулирующих устройств для систем управления, алгоритм управления которыми приведен на рис.2 [5].

Программа «Синтез и анализ параметров объектов и цифровых регулирующих устройств для систем управления режимами переменных температур и влажности» (URPT) предназначена для автоматизированного определения динамических характеристик и коэффициентов передаточной функции объектов управления переменными температурно-влажностными режимами, а также настроечных параметров П, ПИ, ПИД - типов управления соответствующих цифровых регулирующих устройств. Опишем порядок работы программы.

Первый этап: введение начальных данных – от пользователя требуется ввести значения:

- коэффициент загрузки объекта управления (инкубационной машины) $k = V_T / V_d$, определяемый из соотношения объемов загрузки текущего (V_T) и допустимого (V_d) количества биологических объектов;

- установившееся значение кривой разгона, °С;

- шаг изменения времени Δt .

- вектор $\langle X_i \rangle$ экспериментальной кривой разгона пустого инкубатора, регистрируемой с имитационного элемента;

- значения соответствующих моментов времени $\langle t_i \rangle$.

На втором этапе программа автоматически рассчитывает методом интегральных площадей значения динамических характеристик и коэффициентов передаточной функции объекта управления. Далее - по полученным коэффициентам программа автоматически рассчитывает значения вектора с постоянными времени апериодических звеньев передаточной функции объекта управления T_1, T_2, T_3 . В заключении методом Циглера - Никольса проводится автоматический расчет динамических характеристик (динамическая ошибка $d = \varepsilon$, перерегулирование S_1 и S_2 , время переходного процесса t_p , интегральный квадратичный критерий I) и вектора S настроечных параметров регулирующих устройств П, ПИ, ПИД - типов,

В качестве результатов расчетов выводятся значения настроечных параметров регулирующего устройства, коэффициентов передаточной функции и динамические характеристики объекта управления, а также строятся его экспериментальные и аналитические переходные характеристики. Для реализации термодинамического режима инкубации, обеспечивающего высокую выводимость яиц и жизнеспособность молодняка сельскохозяйственных птиц разработаны специальные устройства управления температурой рассматриваемых биологических объектов испытания которых были проведены на Шахтинской и Краснодарской инкубаторно-птицеводческой станциях [3,4]. Результаты

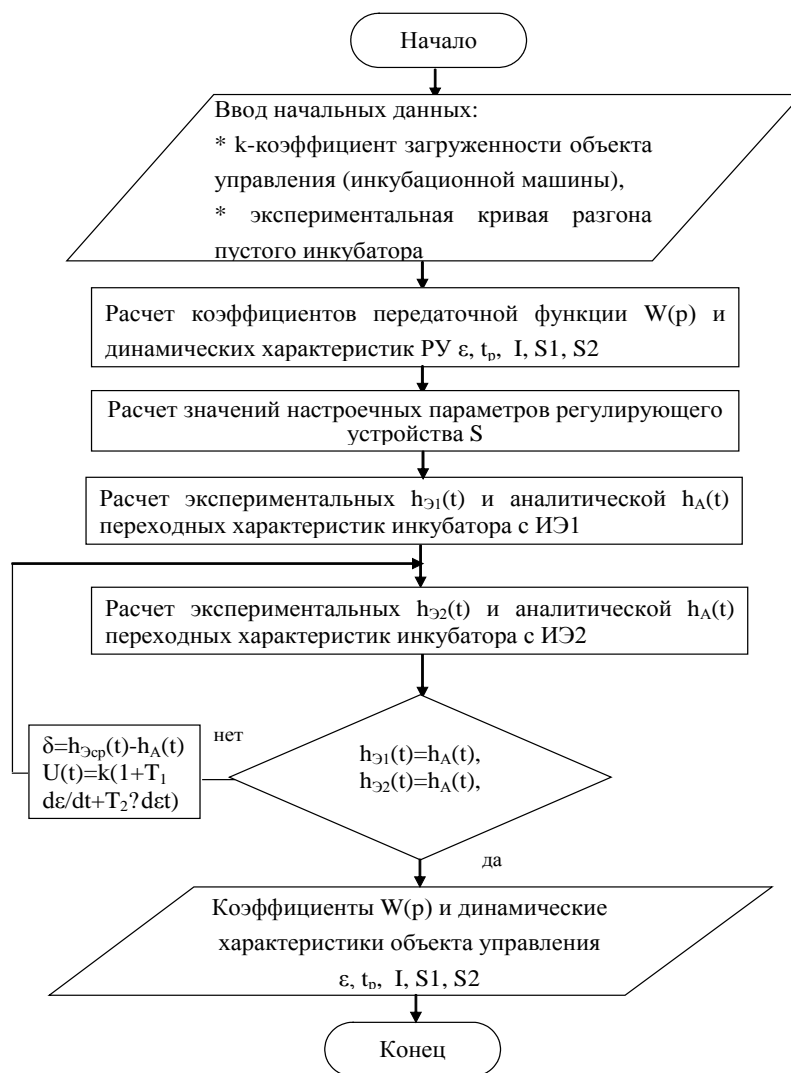


Рисунок 2 - Алгоритм программы синтеза и анализа параметров объектов и цифровых устройств систем управления режимами

проведенных испытаний показали эффективность новых нестационарных температурно-влажностных режимов в промышленных условиях.

Перечень ссылок

1. Патент 2070387 РФ МКИ А 01 К 41/00. Способ инкубации яиц сельскохозяйственной птицы / Е.И. Фандеев, Э.И. Дерлугян, П.Ф. Тришечкин и др.// Открытия. Изобретения.1996. N35.-3 с.
2. Фандеев Е.И., Гветадзе С.В., Тришечкин П.Ф. Использование модели температурного поля птичьего яйца для измерения его температуры// Математические методы в технике и технологиях – ММТТ – 2000: Сб. труд. Междунар. науч. конф. Т.3 . С-Петербург. гос. технолог. ин-т. С-Петербург. 2000.-С. 122-124.
3. Гветадзе С.В. Имитирующие элементы и управляющие устройства для обеспечения нестационарных температурных режимов инкубации: Дис. ... канд. техн. наук. - Новочеркасск: 2010.-203 с.
4. Колосов Ю.А., Пахомов А.П., Лачин В.И, Гветадзе С.В. Study of new non-stationary regimes and distrution of thermal fields of biological objects. Middle-East Jornal of Scientific Research. - 2014. - Vol. 20 (12). - P. 2090-2093.
5. Гветадзе, С.В. Свид-во об отрасл. регистр. № 9532. “Косвенный расчет центральной температуры и влажности объектов инкубации по поверхностной”. Выдано отраслевым фондом алгоритмов и программ Федерал. агент-ва по образцов 31.01.2016.