

Д. А. Левкин

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ РАСПРЕДЕЛЕНИЯ ТЕМПЕРАТУРЫ В ЭМБРИОНЕ

Н основ нии использов ния кривой Безье и нер вномерной сетки в ст тье р ссчит н процесс р спределения темпер туры в эмбрионе. Используя гр ничные условия р спределения темпер туры, построен м тем тическ я модель теплового воздействия л зер н эмбрион.

Ключевые слова: крив я Безье, нер вномерн я сетк , гр ничные условия

1. Введение

Для интенсивного р звития животноводств в Укр ине необходимы не только к чественные корм и высокий уровень мех низ ции ферм, но и использов ние иннов ций в обл сти биотехнологии и генетики [1], что объясняет кту льность д нной тем тики исследований. Н сегодняшний день использов ние генетических методов сост вляет 50 % пок з телей, которых достигл нынешняя укр инск я н ук . При использов нии генетических методов для выр щив ния и кормления коров, прирост живой м ссы сост вляет 850 г н сутки, что ст новит 2,8 % от ф ктического прирост живой м ссы в сутки [1, 2].

2. Постановка задачи

Ан логичной природному появлению эмбрион из его з щитной оболочки является методик хетчинг, котор я применяется, чтобы изб вить эмбрион от его зоны пеллюцид . В з висимости от тип воздействия н зону пеллюцид эмбрион р злич ют химический, мех нический, л зерный и пьезо-хетчинги [3].

При использов нии л зерного хетчинг н эмбрион воздействуют специ льно сфокусиров нным л зерным лучом, который пробив ет уч сток зоны пеллюцид эмбрион . Луч л зер идет под углом, чтобы не з деть клетки эмбрион или з к нчив ется ср зу после прохождения зоны пеллюцид эмбрион . В случ е использов ния л зерного хетчинг [4–6] при темпер -туре +60 °С и выше проявляется процесс ко гуляции белк оболочки в месте приложения сфокусиров нного л зерного луч , что приводит к обр зов нию углубления или сквозного к н л через зону пеллюцид внутрь эмбрион . При вз имодействии л зерного излучения с эмбрионом происходит неоднородный н грев биообъект . Р спределение тепл з висит от т ких п р метров, к к энергия излучения, время экспозиции,

коэффициент теплопроводности и теплоемкость. При использов нии л зерного хетчинг для уменьшения тр вмируемости бл стомеров, необходимо м тем тически р ссчит ть р спределение темпер туры в многослойной структуре эмбрион .

3. Основная часть

Эмбрион — это сферический микробиологический объект, состоящий из зоны пеллюцид , перивителлиров нного простр нств и бл стомеров. Зон пеллюцид н 90% состоит из воды, 5 % которой сост вляют белковые молекулы. Бл стомеры имеют сферическую форму и являются белковыми компонентами эмбрион [3]. Для избеж ния процессов ко гуляции белк зоны пеллюцид эмбрион и уменьшения тр вмируемости бл стомеров при тепловом воздействии л зер н эмбрион, н эт пе построения м тем тической модели, необходимо з д ть численные зн чения коэффициентов теплопроводности слоев эмбрион и м тем тически р ссчит ть р спределение темпер туры по его слоям [7].

Используя з кон Видем н — Фр нц , получили коэффициенты теплопроводности слоев эмбрион из коэффициентов электропроводности его слоев [8]. М тем тическ я модель теплового воздействия л зер н эмбрион в сферической системе координ т, построенн я с учетом численных зн чений коэффициентов теплопроводности его слоев, примет вид (1):

$$\rho_1 c_1 \frac{\partial T_1}{\partial t} = 0,6729 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) \quad \text{— для зоны пеллюцид ;}$$

$$\rho_2 c_2 \frac{\partial T_2}{\partial t} = 0,6704 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) \quad \text{— для перивителлиров нного простр нств ;}$$

$$\rho_3 c_3 \frac{\partial T_3}{\partial t} = 0,9777 \left(\frac{\partial^2 T_3}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_3}{\partial r} \right) \quad \text{— для бл стомеров;}$$

$$\rho_4 c_4 \frac{\partial T_4}{\partial t} = 0,96345 \left(\frac{\partial^2 T_4}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_4}{\partial r} \right) \quad \text{— для бл стомеров;}$$

$$\rho_5 c_5 \frac{\partial T_5}{\partial t} = 0,93555 \left(\frac{\partial^2 T_5}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_5}{\partial r} \right) \quad \text{— для бл стомеров.}$$

Граничные условия (2) относятся к одностороннему обогреву:

$$-0,6729 \frac{\partial T_3}{\partial z}(0,t) = q, \quad 1 \leq t \leq 3000. \quad (2)$$

Используя кривую Безье [9] и неструктурированную сетку [10], в зависимости от длительности воздействия лазер на каждый слой эмбриона и распределения температуры по его слоям, зададим идеальное тепловое воздействие слоев эмбриона (3):

$$T_5(40;2250) = T_6(53;2550), \quad -0,96345 \frac{\partial T_5}{\partial r} = -0,93555 \frac{\partial T_6}{\partial r}$$

— зона пеллюцид;

$$T_2(16,6;400) = T_3(23,8;403), \quad -0,6729 \frac{\partial T_2}{\partial r} = -0,6704 \frac{\partial T_3}{\partial r}$$

зона пеллюцид — перивителлированное пространство;

$$T_3(23,8;403) = T_4(31,7;1500), \quad -0,6704 \frac{\partial T_3}{\partial r} = -0,9777 \frac{\partial T_4}{\partial r}$$

перивителлированное пространство — бластомеры;

$$T_4(31,7;1500) = T_5(40;2250), \quad -0,9777 \frac{\partial T_4}{\partial r} = -0,96345 \frac{\partial T_5}{\partial r}$$

— бластомеры.

$$T_5(40;2250) = T_6(53;2550), \quad -0,96345 \frac{\partial T_5}{\partial r} = -0,93555 \frac{\partial T_6}{\partial r}$$

— бластомеры.

Решение непрерывности по времени на слоях эмбриона (4):

$$T(16,6;400-0) = T(16,6;400+0)$$

— в зоне пеллюцид эмбриона;

$$T(23,8;403-0) = T(23,8;403+0)$$

— в перивителлированном пространстве;

$$T(31,7;1500-0) = T(31,7;1500+0) \quad \text{— в бластомере } x;$$

$$T(40;2250-0) = T(40;2250+0) \quad \text{— в бластомере } x;$$

$$T(53;2550-0) = T(53;2550+0) \quad \text{— в бластомере } x.$$

На основании численных значений коэффициентов теплопроводности слоев эмбриона и математических расчетов распределения температуры по пространственной и временной координате, построена математическая модель теплового воздействия лазер на эмбрион.

Вывод

При построении математической модели теплового воздействия лазер на эмбрион, заданные численные значения коэффициентов теплопроводности слоев эмбриона и граничных условий распределения температуры по его слоям, уменьшат трудоемкость расчетов.

Литература

- Безуглий М. Д. Сучасний стан реформування агропромислового комплексу [Текст] / М. Д. Безуглий, М. В. Присяжнюк. — К.: Агр. пр. н. у. к., 2012. — 48 с.
- Исследования влияния теплопроводности для эмбриона [Текст]: материалы Міжр. н. у. к. конф. «Нуклеарний періодичний слов'янських країн в умовах глобалізації», 12 жовтня 2012 р., м. Київ / Д. А. Левкін // Технологічний аудит і резерви виробництва. — 2012. — № 5/2(7). — С. 33–34.
- Douglas-Hamilton D. H. Thermal effects in laser-assisted pre-embryo zona drilling [Текст] / D. H. Douglas-Hamilton, J. Conia // J. Biomed Opt. — 2001. — № 6(2). — P. 205–213.
- Antinori S. Zona thinning with the use of laser: a new approach to assisted hatching in human [Текст] / S. Antinori // Hum R. — 1995. — № 3. — P. 101–105.
- Antinori S. Experience with the UV non contact laser in assisted hatching in human [Текст] / S. Antinori // J. of Assist Reprod and Genet. — 1997. — № 14(5).
- Мегель Ю. Е. Математическая модель теплового нагрева многослойного микробиологического объекта [Текст] / Ю. Е. Мегель, Д. А. Левкин // Восточно-Европейский Журнал передовых технологий. — Харьков, 2012. — № 3/4(57). — С. 4–8.
- Математические методы повышения жизнеспособности эмбриона при тепловом воздействии лазер [Текст]: Труды 55-й научной конференции МФТИ, 19–25 ноября 2012 г., г. Москва / Д. А. Левкин. — Москва — Долгопрудный — Жуковский: МФТИ, 2012. — С. 52–53.
- Андреев В. С. Кондуктометрические методы в биологии и медицине: [Текст] / В. С. Андреев. — М.: Медицина, 1973. — 335 с.
- Forrest A. R. Interactive interpolation and approximation by Bezier polynomials: [Текст] / A. R. Forrest // The Computer Journal. — 1972. — V. 15, № 1. — P. 71–79.
- Андреев Б. В. О неструктурированной сетке классической разностной схемы для одномерного сингулярно возмущенного уравнения реакции диффузии [Текст] / Б. В. Андреев // Журнал вычислительной математики и математической физики. — Москва, 2004. — Т. 44, № 3. — С. 476–492.

МАТЕМАТИЧНА МОДЕЛЬ РОЗПОДІЛУ ТЕМПЕРАТУРИ В ЕМБРІОНІ

Д. А. Левкін

На підставі використання кривої Без'є та нерівномірної сітки в статті розглянутий процес розподілу температури в ембріоні. Використовуючи граничні умови розподілу температури, побудовано математичну модель теплового впливу лазер на ембріон.

Ключові слова: крива Без'є, нерівномірні сітка, граничні умови.

Дмитро Артурович Левкін, стипендіат кафедри кібернетики Харківського національного технічного університету сільськогосподарства ім. П. В. Силенка, тел.: (057) 16-42-63, e-mail: artur.lav@3g.ua.

MATHEMATICAL MODEL OF THE TEMPERATURE DISTRIBUTION IN EMBRYO

D. Levkin

On the basis of a Bezier curve and irregular grids the calculated temperature distribution in the process of embryo. Using the boundary conditions of temperature, a mathematical model of the thermal effects of the laser on the embryo.

Keywords: Bezier curve, irregular mesh, boundary condition.

Dmitriy Levkin, aspirant graduate of Department of kibernetik, Kharkiv Vasilenko National Technical University of Agriculture, tel.: (057) 716-42-63, e-mail: artur.lav@3g.ua.