

Техніка і технології тваринництва
Engineering and technology livestock

УДК 636.2

Технология выбора параметров системы лазерного деления эмбриона крупного рогатого скота

А.В. Левкин¹, Д.А. Левкин, Я.Н. Котко*Харьковский национальный технический университет сельского хозяйства
им. Петра Василенко (г. Харьков, Украина), ¹artur.lav@3g.ua*

Результаты экспериментальных исследований по взаимодействию электромагнитного излучения оптического диапазона с микробиологическими объектами доказали эффективность использования именно лазерных систем. Рассмотрена методика формализации задачи обоснования допустимых по ограничениям на температурное поле, значений интенсивности и радиуса носителя источника лазерного излучения. Такая задача возникает при лазерном делении ранних эмбрионов в племенном животноводстве. Содержательный смысл ее постановки состоит в том, чтобы при лазерном делении эмбриона из множества допустимых рабочих параметров технических средств найти такие, которые бы обеспечили технологический процесс деления эмбриона и при этом создаваемое температурное поле в ближайших к месту деления точках не превышало наперед заданные значения. Критерием качества протекания технологического процесса определено не превышение температурным полем заданных значений, обеспечивающих температурную устойчивость (жизнеспособность) разделяемых частей эмбриона. К рабочим параметрам в первую очередь относятся: мощность лазерного воздействия и геометрические параметры носителя лазерного источника. В качестве приближенной физической модели взаимодействия лазерного излучения с эмбрионом может быть модель однородного по теплопроводности шарообразного тела, на которое действует локальный сферический источник, перемещающийся с заданной скоростью в плоскости и разделяющий эмбрион на две части. Нестационарное температурное поле шарообразного однородного по теплопроводности тела, содержащего в центре (наиболее «нагруженный» температурный режим) дискретный импульсный источник, описывается в сферической системе координат параболическим уравнением. Результатом решения краевой задачи является распределение избыточной температуры, порожденной только источником, которая затем приведена к истинной температуре, с учетом температуры на границе «эмбрион – питательная среда».

Ключевые слова: технология, животноводство, биотехнологический процесс, лазерное деление, эмбрион.

Постановка проблемы. Поскольку основным критерием качества лазерного деления эмбрионов является обеспечение жизнеспособности частей эмбрионов, то первостепенное значение имеет задача синтеза параметров технических средств по точности температурного режима. Содержательный смысл ее постановки состоит в том, чтобы при лазерном делении эмбриона из множества допустимых рабочих параметров технических средств найти такие, которые бы обеспечили технологический процесс деления эмбриона, и при этом создаваемое температурное поле в ближайших к месту деления точках не превышало наперед заданные значения. Выполнение такого требования обеспечит тепловую устойчивость (жизнеспособность) разделяемых

частей эмбриона. К рабочим параметрам в первую очередь относятся: мощность лазерного воздействия и геометрические параметры носителя лазерного источника [1, 2].

Анализ последних исследований и публикаций. Анализ публикаций показал, что вопросам исследования процессов взаимодействия электромагнитного излучения с эмбрионом уделяется большое значение в связи с необходимостью получения элитного биоматериала для станций искусственного оплодотворения животных [1 - 10]. Особое значение занимают исследования по разработке теории моделирования воздействия давления жидкости на оболочку эмбриона, а также вопросы гидроупругой динамики эмбриона под действием волн давления.

Постановка задачи. Создание современных технологий трансплантации эмбрионов требует дальнейшего их совершенствования [11 - 15]. В частности, следует внедрять новейшие методы деления эмбрионов с последующей пересадкой их реципиентам, что поможет решить проблему копирования генотипов высокопродуктивных животных и увеличения поголовья стада крупного рогатого скота в целом [16 - 20]. Применение для деления эмбрионов животных используемых в животноводстве микрохирургических методов, требует больших затрат времени и средств. Результаты экспериментальных исследований по взаимодействию электромагнитного излучения оптического диапазона с микробиологическими объектами доказали эффективность использования именно лазерных систем для решения различных прикладных задач в медицине и биологии [1, 2].

Изложение основного материала. В качестве приближенной физической модели взаимодействия лазерного излучения с эмбрионом может быть модель однородного по теплопроводности шарообразного тела, на которое действует локальный сферический источник, перемещающийся со скоростью V_u в плоскости YOZ (рис. 1 а) и разделяющий эмбрион на две части.

На рис. 1 б показана траектория передвижения источника в плоскости YOZ при делении эмбриона. При этом отметим, что наиболее «нагруженным» по уровню создаваемого температурного поля будет момент действия источника, находящегося в центре O сферического тела. Заметим, что при этом эмбрион находится в питательной среде с постоянной температурой 37°C .

Рассмотренная выше физическая модель эмбриона, на который действует лазерное излучение, необходима при точной лазерной резке эмбриона. Дело в том, что в случае ранней стадии развития эмбрионов (2, 4, 8, 16 бластомеров) необходимо обеспечить траекторию движения источника, обеспечивающую поражение как можно меньшего числа бластомеров.

Вопрос задания закона управления траекторией при лазерном делении эмбриона в настоящей работе не рассматривается, поскольку он изучался в работе [8].

Нестационарное температурное поле шарообразного однородного по теплопроводности тела радиуса R , содержащего в центре (наиболее «нагруженный» температурный режим) дискретный импульсный источник с радиусом r_0 , описывается в сферической системе координат следующим параболическим уравнением

$$\frac{\partial T(r,t)}{\partial t} - a \left(\frac{\partial^2 T(r,t)}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \cdot \frac{\partial T(r,t)}{\partial r} \right) = \frac{g(r,t)}{\rho c}, \quad (1)$$

где $T(r,t)$ – избыточная (порожденная только источником) температура, t – время, $a = \lambda/\rho c$ – ко-

эффициент температуропроводности, λ – коэффициент теплопроводности, ρ, c – соответственно плотность и удельная теплоемкость, r – радиальная координата (расстояние от центра источника лазерного воздействия до точки, в которой рассчитывается температурное поле), $g(r,t)$ – плотность источника лазерного воздействия, представляемая в виде

$$g(r,t) = \begin{cases} g_0, & \text{если } r \in [0, r_0], t \in [0; h], \\ 0 & \text{в противном случае,} \end{cases} \quad (2)$$

здесь h – время действия источника (время прохождения лазерного источника через центр).

Для уравнения (1) имеют место следующие начальные и граничные условия

$$T(r,t)|_{t=0} = 0; \quad T(r,t)|_{r=R} = 0.$$

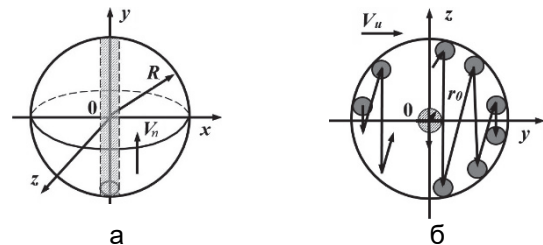


Рис. 1. Схема деления эмбриона сферическим источником (а, б)

Заметим, что формулировка краевой задачи в таком виде, т.е. без учета температуры питательной среды в 37°C (окружающая эмбрион среда), возможно в силу линейности операторов краевой задачи. Т.е. результатом решения краевой задачи будет распределение избыточной температуры, порожденной только источником, которую затем легко привести к истинной температуре, учтя температуру на границе «эмбрион – питательная среда».

Рассмотрим определение мощности лазерного источника и радиуса его носителя по заданному ограничению на температурное поле.

Аналитическое выражение для определения температурного поля сферического тела радиуса R со сферическим импульсным источником радиуса r_0 , мощность которого равномерно распределена по носителю источника, можно представить в виде [2]:

$$T(r,t) = \frac{2}{r\pi\rho c} \times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi r}{R}\right) \left[\frac{R}{\pi n} \sin\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) - r_0 \cos\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) \right] \times \left(\frac{g_0}{A_n} e^{-A_n(t-t_1)} (1 - e^{-A_n t_1}) \right), \quad (3)$$

где g_0 – постоянная величина, соответствующая значению плотности распределения источника,

$$A_n = a \cdot n^2 \cdot \pi^2 R^{-2}.$$

Для поиска допустимого значения g_0 и допустимого значения радиуса r_0 носителя источника лазерного воздействия, потребуем, чтобы температурное поле (3) не менее чем в двух точках удовлетворяло ограничениям на температурное поле в этих контролируемых точках:

$$T(r, t, r_0, g_0) \leq T_1^* \quad \text{при} \quad r = r_1^*, t = t_1^*, \quad (4)$$

$$T(r, t, r_0, g_0) \leq T_2^* \quad \text{при} \quad r = r_2^*, t = t_2^*. \quad (5)$$

Или

$$T(r_0, g_0) \leq T_1^* \quad (6)$$

$$T(r_0, g_0) \leq T_2^* \quad (7)$$

где r_1^* , r_2^* – заданные координаты точек контроля температурного поля, соответственно в моменты времени t_1^* и t_2^* , T_1^* и T_2^* – допустимые значения температурного поля в контролируемых точках.

При этом задаются пределы изменения искомого параметра g_0 и r_0 :

$$\begin{cases} 0 < g_0 \leq g_0^* \\ 0 < r_0 \leq r_0^* \end{cases} \quad (8)$$

Ограничение (4) на основе выражения (3) представляется в виде

$$\begin{aligned} T_1^* &\geq \frac{2}{r_1^* \pi \rho c} \times \\ &\times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi r_1^*}{R}\right) \left[\frac{R}{\pi \cdot n} \sin\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) - r_0 \cos\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) \right] \times \\ &\times \frac{g_0}{A_n} e^{-A_n(t_1^* - t_1)} (1 - e^{-A_n t_1}). \end{aligned} \quad (9)$$

Ограничение (5) с учетом (3) представляют в виде

$$\begin{aligned} T_2^* &\geq \frac{2}{r_2^* \pi \rho c} \times \\ &\times \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi r_2^*}{R}\right) \left[\frac{R}{\pi \cdot n} \sin\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) - r_0 \cos\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) \right] \times \\ &\times \frac{g_0}{A_n} e^{-A_n(t_2^* - t_1)} (1 - e^{-A_n t_1}). \end{aligned} \quad (10)$$

Рассмотрим ограничение (9). Потребуем выполнение в нем равенства и выразим из него g_0

$$\begin{aligned} g_0 &= \frac{T_1^*}{2\pi\rho c \sum_{n=1}^{\infty} \frac{1}{n} \sin\left(\frac{n\pi r_1^*}{R}\right)} \times \\ &\times \left[\frac{R}{\pi} \sin\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) - r_0 \cos\left(\frac{n\pi r_0}{R}\right) \right]^{-1} \times \\ &\times \frac{1}{\frac{1}{A_n} e^{-A_n(t_1^* - t_1)} (1 - e^{-A_n t_1})} = T^*(r_0) \end{aligned} \quad (11)$$

Подставим g_0 в ограничение (10), имеем

$$T^{**}[r_0, T^*(r_0)] \leq T_2^{**} \quad (12)$$

Таким образом, для определения рационального значения r_0 необходимо решить нелинейное неравенство (12) с учетом ограничения (8) на предельно возможные изменения r_0 .

Рассмотрим равенство в ограничении (12)

$$T^{**}[r_0, T^*(r_0)] = T_2^{**} \quad (13)$$

Численными методами поиска корней нелинейного уравнения (13) решаем его и выделяем только действительный корень, который удовлетворяет ограничению (8) на искомое значение r_0 .

Подставим в равенство (11), полученное из уравнения (13) значение параметра r_0 , получим искомое (предельное) значение плотности g_0 распределения источника.

Выводы. Таким образом определяются искомые рабочие параметры g_0 и r_0 (предельное значения) для технологии деления эмбриона, что особенно важно для развития биотехнологических методов в современных условиях, которые требуют поиска путей восстановления поголовья сельскохозяйственных животных в Украине и других постсоциалистических странах [22, 23]. Безусловно, учитывая приближенность рассмотренной нами физической модели к реальному объекту, полученные значения g_0 и r_0 являются также приближенными. Их уточнение и экспериментальная проверка должна осуществляться с применением технических средств, обеспечивающих задание предельных значений (8) исследуемых параметров [20, 21].

Литература

1. Левкин А. Построение оптимизационной задачи тепловых процессов при лазерном делении эмбриона / А. Левкин, Д. Левкин // MOTROL Aktualnosci Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. – 2013. – № 7 (46). – С. 68.
2. Левкин А. Автоматизация методов деления эмбрионов и их использование в племенном животноводстве / А. Левкин, Ю. Мегель, Д. Левкин // MOTROL Aktualnosci Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie. – 2014. – № 7 (46). – С. 134.
3. Кантор Б.Я. Гидроупругая динамика эмбриона под действием волн давления // Проблемы машиностроения. – Харьков: Ин-т проблем машиностроения. – № 3, Т.6. – С. 92 - 97.
4. Левкин А.В. Аспекты применения лазеров в ветеринарии / Фотобиология та фотомедицина. – Харків – № 1, 2. – 119 с.
5. Willadsen S.M. A method for culture of micromanipulated sheep embryos and its use to produce monozygotic twins // Nature (London). – Vol. 277. – P. 298 - 300.

6. Willadsen S.M. Attempts to produce monozygotic quadruplets in cattle by blastomere separation / S.M. Willadsen, C. Polge // *Veter. Rec.* – Vol. 108. – 211 p.
7. Willadsen S.M. The viability of early cleavage stages containing half the normal number of blastomeres in the sheep / S.M. Willadsen // *J. Reprod. Fert.* – Vol. 59. – P. 357 - 361.
8. Willadsen S.M. The developmental capacity of blastomeres from 4 and 8 cell sheep embryos / S.M. Willadsen // *J. Embryol. Exp. Morph.* – Vol. 65. – 165 p.
9. Willadsen S.M. The production of monozygotic twins of preselected parentage by micromanipulation of surgically collected cow embryos / S.M. Willadsen, H. Lehn-Jensen, C.M. Fehilly, R. Newcomb // *Theriogenology.* – V. 15. – 23.
10. Boulnois J.L. Photophysical processes in recent medical laser developments: a review / J.L. Boulnois // *Lasers in Medical Science.* – Vol. 1. – № 7. – P. 177 - 185.
11. Szymanek M. Motoryzacja i energetyka rolnictwa / M. Szymanek, W. Tanas // *MOTROL Aktualności Uniwersytetu Przyrodniczego w Lublinie.* – 2008. – No. 2 (46). – P. 21.
12. Karwinski A. Application of Modern Ecological Technology Lost Foam For The Implementation Of Machinery. / A. Karwinski, Z. Zólkiewicz // *TEKA.* – V. XIX. – P. 91 - 99.
13. Квасницький А.В. Пересадка зародків і генна інженерія в животноводстві / А.В. Квасницький, Н.А. Мартыненко, А.Г. Близнюченко. – К.: Урожай. – 257 с.
14. Кузнецов В.Є. Біотехнологія у тваринництві: Генетика і селекція в Україні на межі тисячоліть / В.Є. Кузнецов; Ред. В.В. Моргун. – К., Логос. – Т. 4. – С. 31 - 57.
15. Mammalian transfers of eggs 1982, – P. 185 - 210.
16. Nicholas F.W. Increased rates of genetic change in dairy cattle by embryo transfer and splitting / F.W. Nicholas, C. Smith // *Anim. Product.* – Vol. 36. – № 3. – 341 – 353.
17. Mullen R.J. In Annual Report of the Jackson Laboratory / R.J. Mullen, W.K. Whitten, S.C. Cater. – Bar Harbor, Maine. – 67 p.
18. Ozil J.P., Heyman Y., Renard J.P. Production of monozygotic twins in cow by micromanipulation and cervical transfer / Society for the Study of Fertility, Fourth Anglo-French Meeting 16-18. 12. 1981 at King's College. – Cambridge, Abstract of Papers. – P. 75 - 81.
19. Williams T.J. Identical twin bovine pregnancies derived from bisected embryos / T.J. Williams, R.P. Eldsen, G.E. Seidel // *Theriogenology.* – Vol. 17. – № 1. – 114 p.
20. Brem G., Krausslich H. Experimentelle Erstellung monozygoter Zwillinge und Arrwendungsmöglichkeiten in der Rinderzucht. – 34 th. Annual Meeting of the Study Commissions EAAP, Madrid. – 120.
21. Пат. 191957 Венгрия, МКИ А 61 D 1/00. Способ получения однойцовых близнецов / Csillag Laszlo, Kroo Norbert, Kovaco Andras, Soos Pol (Венгрия). Заявл. 12.10.84. Оpubл. 29.08.88. – 7с.
22. Черевков Г. Альтернативна енергетика аграрного комплексу України / Г. Черевков, Т. Кохана // *Motrol.* – 8А. – С. 106 -116.
23. Levkina R. Theoretische Grundlagen der Bildung und der Funktionierung organisatorisch-wirtschaftlichen Mechanismus der Verwaltung der Effizienz der Agrarunternehmen / R. Levkina, A. Levkin // *Sozial-wirtschaftliche Transformationen in den europäischen Ländern* // Bearbeitet von Yu.V. Pasichnyk. – Kollektive Monographie. – Verlag SWG imex GmbH, Nurnberg, Deutschland. – 2014. – 288 S. (146 -158).

Анотація

Методика формалізації задачі вибору параметрів системи лазерного розподілу мікробіологічного об'єкта

А.В. Левкін, Д.А. Левкін, Я.М. Котко

Результати експериментальних досліджень по взаємодії електромагнітного випромінювання оптичного діапазону з мікробіологічними об'єктами довели ефективність використання саме лазерних систем. Розглянута методика формалізації задачі обґрунтування допустимих з обмежень на температурне поле, значень інтенсивності та радіусу носія джерела лазерного випромінювання. Таке завдання виникає при лазерному розподілі ранніх ембріонів в племінному тваринництві. Змістовний сенс її постановки полягає в тому, щоб при лазерному розподілі ембріона з множини допустимих робочих параметрів технічних засобів знайти такі, які б забезпечили технологічний процес ділення ембріона і при цьому створюється температурне поле в найближчих до місця розподілу точках не перевищувало наперед задані значення. Критерієм якості протікання технологічного процесу визначений перевищення температурним полем заданих значень, що забезпечують температурну стійкість (життєздатність) частин ембріона.

До робочим параметрам в першу чергу відносяться: потужність лазерного впливу і геометричні параметри носія лазерного джерела. Наближеною фізичною моделлю взаємодії лазерного випромінювання з ембрионом може бути модель однорідного по теплопровідності кулеподібного тіла, на яке діє локальне сферичне джерело, що переміщується з заданою швидкістю в площині і діле ембріон на дві частини. Нестационарне температурне поле кулеподібного однорідного по теплопровідності тіла, що містить в центрі (найбільш «навантажений» температурний режим) дискретне імпульсне джерело, описується в сферичній системі координат параболічних рівняннями. Результатом рішення крайової задачі є розподіл надлишкової температури, породженої тільки джерелом, яка потім приведена до істинної температури, з урахуванням температури на кордоні «ембріон – живильне середовище».

Ключові слова: *технологія, тваринництво, біотехнологічний процес, лазерне ділення, ембріон.*

Abstract

Technology of Choice of System Parameters of Bovine Livestock Embryo Laser Division

A.V. Levkin, D.A. Levkin Y.N. Kotko

The results of experimental studies on the interaction of electromagnetic radiation in the optical range with microbiological objects have proven the effectiveness of using laser systems. The method of the formalization of the problem justification of acceptable restrictions on the temperature field, the intensity values and the radius of laser radiation carrier source has been examined. This problem arises during the laser division of early embryos in livestock breeding. The substantial meaning of its setting consists in finding in the variety of permissible operating hardware settings during the laser division of the embryo those which would provide the technological process of division of the embryo and thus created the temperature field in the nearest to the place of the division points does not exceed the prescribed values. The criterion of the quality of the process flow is determined by the fact that the field doesn't exceed the set temperature points, providing temperature stability (viability) shared parts of an embryo. Operating parameters primarily include: the power of laser exposure and geometric parameters of the laser source carrier. As an approximate physical model of the interaction of laser radiation with an embryo can be a model for a uniform spherical body heat conduction, which operates on a local spherical source, turn-to-rotating speed in a given plane and time-fissile embryo into two parts. Transient temperature field for uniform spherical body heat conduction, containing in the center (the most 'loaded' temperature mode) digital switching power, is described in a spherical coordinate system by the parabolic equation. The result of solving the boundary problem is the distribution of the excess temperature generated by the source only, which then is led to the true temperature, taking into account the temperature at the 'embryo – growing medium'.

Keywords: *technology, livestock, biotechnological processes, laser division, embryos.*

Представлено від редакції: А.Н. Алтибаєв / Presented on editorial: A.N. Altybajev

Рецензент: Ю.С. Мегель / Reviewer: Ju.Je. Megel

Подано до редакції / Received: 19.10.2016