

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГІЧНИЙ ПІДХІД ДО ДОСЛІДЖЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПРОЦЕСІВ

Д. А. Левкін, кандидат технічних наук, доцент

Харківський національний технічний університет

сільського господарства ім. Петра Василенка

E-mail: dimalevkin23@gmail.com

Анотація. У статті досліджені деякі питання аналізу і синтезу складних систем, які містять локальні, дискретні джерела температурних полів. Акцент досліджень автора зроблений на розрахунок і оптимізацію параметрів лазерної дії на ембріон. При цьому біотехнологічний процес описується крайовою задачею нестационарного, багатовимірного диференціального рівняння теплопровідності, яке задовольняє граничним умовам теплового потоку, початку і кінця процесу лазерної дії.

Автором запропонований алгоритм для розрахунку і оптимізації управлінських параметрів лазерної дії на багатошаровий мікробіологічний матеріал. Об'єкт дослідження – ембріон під дією лазерним променем для здійснення ділення. Як перше наближення, на етапі розрахунку і оптимізації параметрів біотехнологічного процесу, ембріон розглянуто як однорідне тіло. Значення теплофізичних характеристик розраховані методом експертного оцінювання параметрів випромінювачів. Коректність крайової задачі процесу лазерної дії на ембріон доведена автором за допомогою метода псевдодиференціальних операторів. Шукаючи розв'язок крайової задачі у вигляді ряду, за допомогою методу Фур'є відокремлених змінних у статті отримана аналітична функція розподілу температурного поля. Використовуючи метод невизначених коефіцієнтів, автором знайдена температура лазерної дії на ембріон. Скориставшись наближеним градієнтним методом пошуку локальних екстремумів і методом спрямованого перебору локальних екстремумів, можна отримати раціональні значення оптимізованих параметрів біотехнологічного процесу.

Автором намічені можливі підходи для здійснення оптимізації технічних параметрів лазерних випромінювачів. На його думку, результати досліджень можна вважати фундаментальними для розрахунку і оптимізації параметрів лазерної дії на ембріон при врахуванні багатошарової структури останнього.

Ключові слова: *розрахунок, оптимізація, крайова задача, метод Фур'є відокремлених змінних*

Актуальність. У процесі розрахунку і оптимізації багатьох технічних і біотехнологічних систем, які містять дискретні джерела температурних полів, виникає необхідність розв'язувати ряд прикладних оптимізаційних задач. Для цього необхідно здійснити параметризацію температурних полів в залежності від

характеристик джерел лазерного випромінювання. Як обмеження в модельованих системах можуть виступати, наприклад, обмеження на геометрію досліджуваного об'єкта, температурне поле в проектованій системі і система обмежень на технічні параметри випромінювачів.

Автором запропонований приклад структурної схеми алгоритму для розв'язання прикладних задач розрахунку і оптимізації цілої низки систем, які містять локальні, дискретні джерела температурних полів. З метою спрощення обчислювального процесу і зменшення витрат часу автор зводить загальну задачу розрахунку і оптимізації параметрів лазерних випромінювачів до послідовності підзадач меншої розмірності. Для їх розв'язання використовують відомі чисельні методи.

Наведений в цій статті приклад математичного моделювання стану ембріона під дією лазерним променем демонструє один з можливих підходів до розрахунку та оптимізації температури лазерної дії і параметрів випромінювачів без урахування багаточислової структури ембріона. Результати досліджень можна вважати базовими для подальшого дослідження прикладних оптимізаційних математичних моделей лазерної дії на ембріон.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Деякі питання управління технологічними інноваціями при розв'язанні задач мінімізації ризиків розглядалися в роботах [1–7]. Авторами робіт [1, 2] наведено аналіз наукових результатів, стосовно до розв'язання прикладних задач оптимального управління технічних систем, які містять джерела навантаження фізичних полів. Основні напрямки застосування біотехнологій розглянуті в публікаціях [3, 4]. На основі здійсненого в публікації [3] розрахунку температури лазерної дії на ембріон, її авторами побудовані діаграми розподілу температурних полів в ембріоні. Обґрунтовано доцільність контролю клітинної генетики для оцінки розвитку ембріонів ссавців в публікації [4]. У публікації [5] запропонована методика формування структури збирально-транспортного комплексу, що дозволило підвищити продуктивність збирально-транспортної системи, знизити витрати на збирання зернових культур з полів і доставку їх до місця зберігання або подальшої переробки. На основі лінійного, дискретного співвідношення розглянута динамічна система управління

технологічними інноваціями в публікаціях [6, 7], що дало можливість отримати оптимальний гарантований результат з урахуванням ймовірності дії ринкових факторів в управлінні бізнес-процесами.

У статті наведений методичний підхід до розрахунку та оптимізації температури лазерного нагріву ембріона та параметрів випромінювачів. Управління біотехнологічним процесом лазерного ділення ембріонів досягається через завдання рекордних значень оптимізованих параметрів лазерних випромінювачів.

Мета дослідження – сформулювати теоретичні засади до розрахунку і оптимізації систем з розподіленими параметрами в залежності від характеристик дискретних, рухомих джерел фізичних полів.

Матеріали і методи дослідження. При дослідженні застосовувалися методи експертного оцінювання параметрів випромінювачів для формування вихідних даних в крайових задачах; підхід Шварца над полем узагальнених функцій для обґрунтування коректності крайових задач систем диференціальних рівнянь теплопровідності; методи розв'язання крайової задачі для областей складної просторової форми на базі функцій В.Л. Рвачова; наближені методи для пошуку локальних екстремумів за параметрами температурного поля; метод спрямованого перебору локальних екстремумів.

Результати дослідження та їх обговорення. Для оптимізації параметрів лазерного ділення ембріона запропонований базовий алгоритм (рисунок 1).

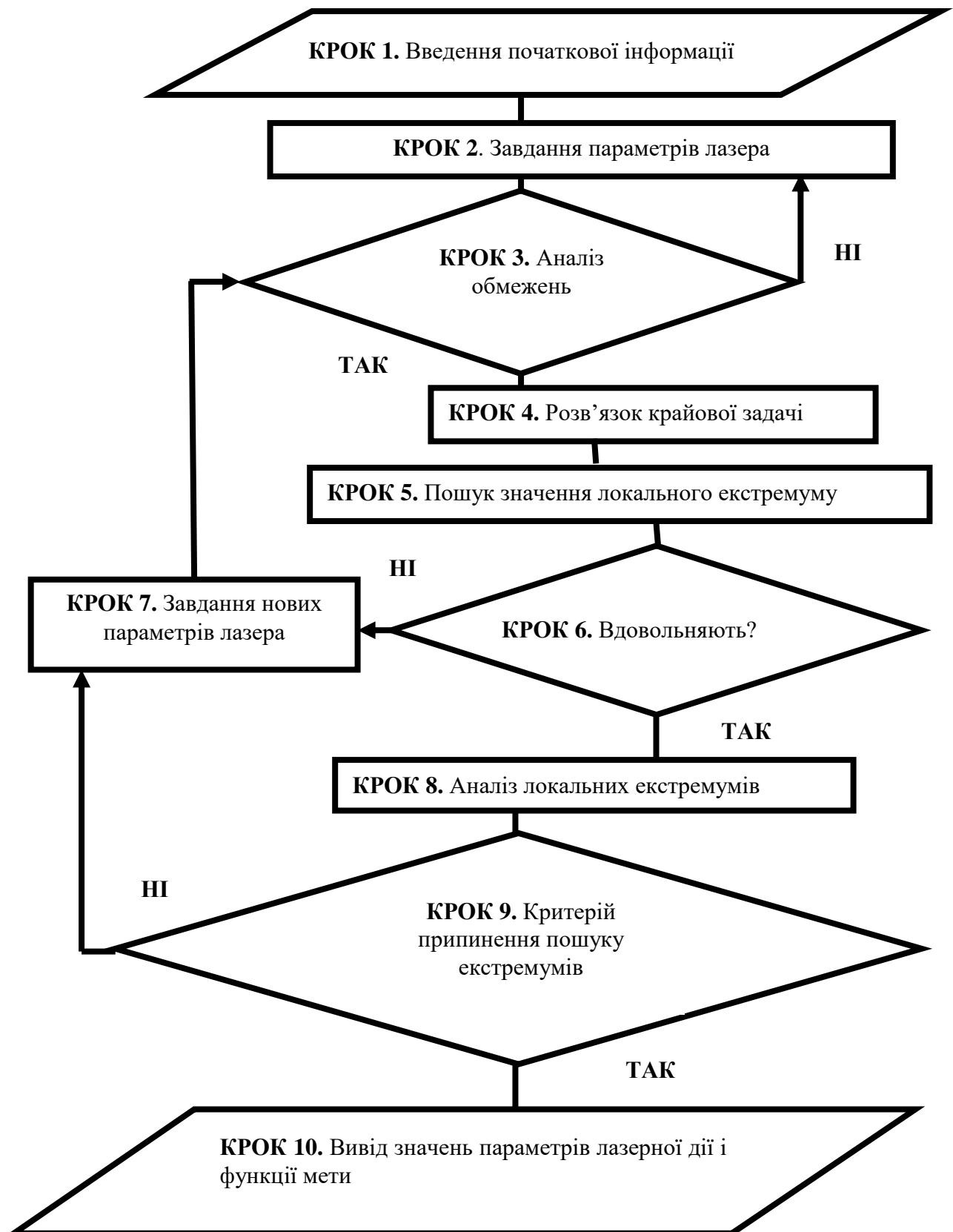


Рис. 1. Структурна схема базового алгоритму для розрахунку і оптимізації параметрів лазерної дії на ембріон

В основі крайової задачі процесу лазерної дії на ембріон (без урахування тришарової структури мікробіологічного об'єкта) лежить диференціальне рівняння теплопровідності в сферичній системі координат:

$$5.4 \frac{\partial T(r,t)}{\partial t} = 0.8 \left(\frac{\partial^2 T}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T}{\partial r} \right) + 240, \quad (1)$$

де $T = T(\vec{r}, t)$ – температурне поле; \vec{r} – глибина проникнення лазерного променя в ембріон; t – тривалість дії лазерного променя.

Значення теплофізичних характеристик (щільність, теплоємність, теплопровідність) взяті, виходячи з експертного оцінювання параметрів випромінювачів.

Граничні умови 3-го роду задають взаємодію мікробіологічного об'єкта з навколишнім середовищем:

$$-0,67 \frac{\partial T_1}{\partial r}(0, t) = 4,4. \quad (2)$$

Граничні умови Дірихле:

$$\begin{cases} T(0;0) = 100 \text{ } ^\circ\text{C}; \\ T(53;2550) = 37 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (3)$$

Наведена крайова задача коректна в просторі Л. Шварця, адже функція Гріна є обмеженим псевдодиференціальним оператором у відповідному просторі функцій.

Використовуючи метод Фур'є відокремлених змінних [8], отримали розв'язок крайової задачі (1)–(3):

$$T(r,t) = 100e^{ct} \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k r^{2k}}{(0.15)^k ((2k+1)!!)^2} - 267r^2. \quad (4)$$

Методом невизначених коефіцієнтів отримано, що температура лазерної дії на ембріон становить приблизно $57,3 \text{ } ^\circ\text{C}$. Скориставшись, наприклад, наближеним градієнтним методом пошуку локальних екстремумів за параметрами теплової дії і методом спрямованого перебору локальних екстремумів, враховуючи також двосторонні обмеження на температурне поле та його параметри, а також

використовуючи інтегральний критерій травмованості мікробіологічного об'єкта [9], можна отримати рекордні значення оптимізованих параметрів температурного поля.

Висновки і перспективи. У статті сформовані теоретичні засади до розрахунку і оптимізації технологічних процесів в системах з розподіленими параметрами. Автором запропонований алгоритм для розрахунку і оптимізації параметрів біотехнологічного процесу лазерного ділення мікробіологічного матеріалу. Обравши як досліджуваний об'єкт ембріон під дією лазерного променя, автор за першим наближенням не розглядає багат шарову структуру мікробіологічного об'єкта. Побудована крайова задача процесу лазерної дії на ембріон і намічені можливі шляхи для чисельної реалізації процесу розрахунку та оптимізації параметрів лазерних випромінювачів. Це дозволило, використовуючи «досить грубі» оцінки на функцію температурного поля і технічні параметри, отримати температуру лазерного нагрівання ембріона і розрахувати раціональні параметри випромінювачів. У подальших дослідженнях, враховуючи багат шарову структуру ембріона, здійснене уточнення температури лазерного нагріву мікробіологічного об'єкта і значень оптимізованих параметрів лазерних випромінювачів.

Список використаних джерел

1. Стоян Ю. Г., Путятин В. П. Оптимизация технических систем с источниками физических полей. К.: Наук. думка, 1988. С. 44–48.
2. Рвачев В. Л., Слесаренко А. П. Алгебро-логические и проекционные методы в задачах теплообмена. К.: Наук. думка, 1978. 140 с.
3. Douglas-Hamilton D. H., Conia J. Thermal effects in laser-assisted pre-embryo zona drilling. *Journal of Biomedical Optics*. 2001. Vol. 6, Issue 2. P. 205. doi: 10.1117/1.1353796
4. Levkina R., Levkin A., Petrenko A., Kolomiets N. Current approaches to biotechnology in animal husbandry. *International Journal of Advanced Science and Technology*. 2020. Vol. 29, Issue 8 Special Issue. P. 2463–2469.
5. Muzylyov D., Kravcov A., Karnaukh M., Berezchnaja N., Kutya O. Development of a methodology for choosing conditions of interaction between harvesting and transport complexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2016. Vol. 2, No. 3(80). P. 11–21. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.65670.
6. Babenko V., Nazarenko O., Nazarenko I., Mandych O., Krutko M. Aspects of program control over technological innovations with consideration of risks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. 2018. Vol. 3, No. 4(93). P. 6–14. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.133603.

7. Levkina R. V., Kravchuk I. I., Sakhno I. V., Kramarenko K. M., Shevchenko A.A. The economic-mathematical model of risk analysis in agriculture in conditions of uncertainty. *Financial and credit activity: problems of theory and practice*. 2019. Vol. 3, No. 30. P. 248–255.

8. Левкин Д. А. Аналитическое решение уравнения теплопроводности для многослойного микробиологического объекта. *Восточно-Европейский журнал передовых технологий*. 2012. Т. 4, № 4(58). С. 29–31.

9. Левкін Д. А. Математичні моделі оптимізації параметрів дії лазерного променя на багат шарові біосистеми. *Вісник Національного технічного університету «ХПІ»*. Збірник наукових праць. Серія «Механіко-технологічні системи та комплекси». Х.: НТУ «ХПІ», 2014. №60 (1102). С. 77–84.

References

1. Stoyan, Yu. G., Putyatin, V. P. (1988). Optimizaciya tekhnicheskikh sistem s istochnikami fizicheskikh poley [Optimization of technical systems with sources of physical fields]. Kyiv: Nauk. Dumka, 44–48.

2. Rvachev, V. L., Slesarenko, A. P. (1978). Algebro-logicheskie i proektsionnyie metodyi v zadachah teploobmena [Algebraic-logical and projection methods in heat transfer problems]. Kyiv: Nauk. Dumka, 140.

3. Douglas-Hamilton, D. H., Conia, J. (2001). Thermal effects in laser-assisted pre-embryo zona drilling. *Journal of Biomedical Optics*, 6 (2), 205. doi:10.1117/1.1353796

4. Levkina, R., Levkin, A., Petrenko, A., Kolomiets, N. (2020). Current approaches to biotechnology in animal husbandry. *International Journal of Advanced Science and Technology*, 29 (8), Special Issue, 2463–2469.

5. Muzylyov, D., Kravcov, A., Karnaukh, M., Berezchnaja, N., Kutya, O. (2016). Development of a methodology for choosing conditions of interaction between harvesting and transport complexes. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 2, 3(80), 11–21. DOI: 10.15587/1729-4061.2016.65670.

6. Babenko, V., Nazarenko, O., Nazarenko, I., Mandych, O., Krutko, M. (2018). Aspects of program control over technological innovations with consideration of risks. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 3, 4(93), 6–14. DOI: 10.15587/1729-4061.2018.133603.

7. Levkina, R.V., Kravchuk, I.I., Sakhno, I.V., Kramarenko, K.M., Shevchenko, A.A. (2019). The economic-mathematical model of risk analysis in agriculture in conditions of uncertainty. *Financial and credit activity: problems of theory and practice*, 3 (30), 248–255.

8. Levkin, D. A. (2012). Analiticheskoe reshenie uravneniya teploprovodnosti dlya mnogosloynogo mikrobiologicheskogo ob'ekta [Analytical solution of the heat equation for the multilayer microbiological object]. *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*, Vol. 4, 4(58), 29–31.

9. Levkin, D. A. (2014). Matematychni modeli optyimizatsii parametriv dii lazernoho promenia na bahatosharovi biosystemy [Mathematical models of optimization parameters laser beam on a laminated biosystems]. *Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI»*. Zbirnyk naukovykh prats. Seriia: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta komplekxy. Kh.: NTU «KhPI», 60 (1102), 77–84.

ТЕОРЕТИКО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЙ ПОДХОД К ИССЛЕДОВАНИЮ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ

Д. А. Левкин

Аннотация. В статье исследованы некоторые вопросы анализа и синтеза сложных систем, содержащих локальные, дискретные источники температурных полей. Акцент исследований автора сделан на расчете и оптимизации параметров лазерного воздействия на эмбрион. При этом биотехнологический процесс описывается краевой задачей нестационарного, многомерного дифференциального уравнения теплопроводности, удовлетворяющего граничным условиям теплового потока, начала и конца процесса лазерного воздействия.

Автором предложен алгоритм для расчета и оптимизации управляющих параметров лазерного воздействия на многослойный микробиологический материал. Объект исследования – эмбрион, который подвергается лазерному воздействию для осуществления его деления. В качестве первого приближения, при расчете и оптимизации параметров биотехнологического процесса, эмбрион рассмотрен как однородное тело. Значения теплофизических характеристик рассчитаны методом экспертного оценивания параметров излучателей. Используя метод Фурье разделенных переменных, в статье получена аналитическая функция распределения температурного поля. С помощью метода неопределенных коэффициентов автором найдена температура лазерного воздействия на эмбрион. Воспользовавшись приближенным градиентным методом поиска локальных экстремумов и методом направленного перебора локальных экстремумов, возможно получить рациональные значения оптимизируемых параметров биотехнологического процесса.

Автором намечены возможные пути для осуществления оптимизации технических параметров лазерных излучателей. По его мнению, результаты проведенных исследований можно считать фундаментальными для расчета и оптимизации параметров лазерного воздействия на эмбрион, когда учитывается его многослойная структура.

Ключові слова: *расчет, оптимизация, краевая задача, метод Фурье разделенных переменных*

THEORETICAL AND METHODOLOGICAL APPROACH TO THE STUDY OF TECHNOLOGICAL PROCESSES

D. Levkin

Abstract. The article investigates some issues of complex systems analysis and synthesis that contain local, discrete sources of temperature fields. The emphasis of the author's research lies in the calculation and optimization of the parameters of the laser action on the embryo. The biotechnological process is described by the boundary value problem of a non-stationary, multidimensional differential equation of thermal conductivity which satisfies the boundary conditions of heat flux, beginning and end of the laser action process.

The author proposes an algorithm for calculation and optimization of the control parameters of laser action on multilayer microbiological material. The object of the study

is the embryo under the action of a laser beam for fission. As a first approximation, at the stage of calculation and optimization of the parameters of the biotechnological process, the embryo is considered as a homogeneous body. The values of thermophysical characteristics are calculated by the method of expert evaluation of the parameters of the emitters. The correctness of the boundary value problem of the process of laser action on the embryo is proved by the author using the method of pseudodifferential operators. Seeking the solution of the boundary value problem in the form of the series, the analytical function of the temperature field distribution is obtained using the Fourier method of the separated variables in the article. Using the method of indeterminate coefficients, the author found the temperature of the laser action on the embryo. Using the approximate gradient method of finding local extrema and the method of directed search of local extrema, it is possible to obtain rational values of optimized parameters of the biotechnological process.

The author outlines possible approaches for optimization of technical parameters of laser emitters. In his opinion, the results of research can be considered fundamental for the calculation and optimization of the parameters of the laser action on the embryo, taking into account the multilayer structure of the latter.

Key words: *calculation, optimization, boundary value problem, Fourier method of separated variables*