УДК 519.6:001.5 DOI 10.31548/energiya2020.01.051

АВТОМАТИЗАЦІЯ ДОСЛІДЖЕНЬ БАГАТОШАРОВИХ СИСТЕМ

Д. А. Левкін, кандидат технічних наук, старший викладач

Харківський національний технічний університет

сільського господарства ім. Петра Василенка

E-mail: dimalevkin23@gmail.com

Анотація. *Розглянуті питання розрахунку і задання параметрів багатошарових мікробіологічних систем, що містять локальні зосереджені дискретні джерела температурних полів. Як об'єкт дослідження в роботі розглянутий багатошаровий, необмежений мікробіологічний матеріал, що піддається локальному точковому термовпливу. Новизна досліджень автора полягає у врахуванні специфічних особливостей процесу термовпливу і багатошарової структури мікробіологічного матеріалу.*

Мета дослідження – побудова фізично обгрунтованих розрахункових математичних моделей, які описують стан об'єкта досліджень, а також намітити шляхи для здійснення процесу оптимізації цілого класу багатошарових мікробіологічних систем.

Автором побудована розрахункова математична модель процесу точкового термовпливу на багатошаровий необмежений мікробіологічний матеріал. Слід зазначити, що особливістю об'єкта дослідження є те, що його стан описується крайовою задачею для системи нестаціонарних, неоднорідних диференціальних рівнянь теплопровідності (система з розподіленими параметрами). Ця специфіка значно ускладнює, як процес побудови відповідних математичних моделей оптимізації багатошарових мікробіологічних систем, так і їх використання для підвищення якості протікання біотехнологічного процесу поділу (розкрою, сегментації) мікробіологічного матеріалу.

У зв'язку з цим реалізацію процедури розв'язання серії крайових задач і забезпечення ітераційного процесу пошуку раціональних параметрів теплового впливу автором пропонується здійснити на спеціалізованій сітковій аналоговій або гібридній моделі. Це дозволить на кожній ітерації істотно скоротити час розв'язання крайової задачі, що дасть можливість підвищити точність розв'язання всієї задачі пошуку параметрів розглянутих систем.

Ключові слова: ***математичні моделі, оптимізація, крайова задача, аналогова модель, гібридна модель***

Актуальність. Стрімкий розвиток інформаційних технологій і впровадження практично в усі сфери діяльності людини автоматизованих систем управління вимагає розробки нових і вдосконалення наявних математичних моделей і методів

розрахунку та оптимізації параметрів різних систем. Слід зазначити, що нині є відносно мало праць, що стосуються питань розрахунку і оптимізації цілого класу об'єктів теплофізичних, електротехнічних та інших систем, а дослідження авторів стосуються питань розрахунку і оптимізації керуючих параметрів для реалізації певних завдань. Це означає, що зміна об'єкта дослідження тягне розробку нових (або вдосконалення наявних) математичних моделей і методів розрахунку та пошуку раціональних параметрів процесів впливу. Крім того, деякі автори, розглядаючи в своїх дослідженнях багатошарові об'єкти складної просторової форми, для здійснення процесу розрахунку та завдання параметрів цільової функції змушені нехтувати рядом особливостей систем, що містять джерела відповідних полів. Це безсумнівно дає можливість з меншими витратами машинної пам'яті і часу для кожної ітерації отримати аналітичне значення цільової функції і здійснити оптимізацію систем, але в той же час сприяє збільшенню витрат технічних ресурсів і травмування досліджуваного об'єкта.

У статті автор, розв’язуючи завдання розрахунку параметрів багатошарових мікробіологічних систем під впливом джерел температурних полів, пропонує універсальний підхід до побудови розрахункових математичних моделей (крайових задач). Це означає, що підставляючи в зазначену в цій статті розрахункову математичну модель значення параметрів, характерних, наприклад, для процесів лазерного зварювання біоматеріалу, ділення ранніх елітних ембріонів або розкрою штучної і натуральної шкіри та інших процесів, можна розрахувати значення температурних полів і, як наслідок цього, досягти автоматизації значень цільової функції та її параметрів з меншими витратами ресурсів випромінювачів і втратами біоматеріалу.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Актуальність питань дослідження розглянута в роботах [1 – 3]. У монографії [1] пропонуються математичні моделі і методи пошуку раціональних параметрів джерел при синтезі (проектуванні) відповідних багатошарових систем у мікроелектроніці. Важливим у роботі [1] є універсальність методу і базового алгоритму до оптимізації багатошарових систем,

які містять локальні, дискретні зосереджені джерела фізичних полів. У той же час, в монографії [1] не розглядалися питання оптимізації багатошарових мікробіологічних систем, що містять локальні, дискретні джерела термовпливу та відрізняються від інших систем наявністю специфічних особливостей крайових задач, методів здійснення розрахунку і оптимізації функції мети та її параметрів.

У роботі [2] розглянуті питання розрахунку і технічного забезпечення процесу завдання керуючих параметрів електронно-променевого та лазерного впливу в застосуванні до довільних технологічних процесів, зокрема до лазерного розкрою листового металу.

Незважаючи на те, що в роботі [3] наведені розподіли температурних полів при лазерній точковій дії на ембріон, ці розподіли характерні лише для 3-х певних варіантів точкової подачі енергії та не наведено розрахунок термічної травмованості зародків.

Мета дослідження – побудова фізично обґрунтованої розрахункової математичної моделі процесу точкового термовпливу на прямолінійний необмежений багатошаровий мікробіологічний матеріал. Врахування специфічних особливостей процесу термовпливу і багатошарової структури мікробіологічного матеріалу дозволить підвищити точність здійснення процесу оптимізації.

Матеріали і методи дослідження. Координати розподілу температурних полів шарами мікробіологічного матеріалу розраховані за допомогою рівномірної сітки. Для завдання температури початку і кінця термовпливу використали методи експертного оцінювання.

Результати досліджень та їх обговорення. Крайова задача системи диференціальних рівнянь теплопровідності має вигляд:

$$\begin{cases} \rho_1 c_1 \dfrac{\partial T_1(z,t)}{\partial t} = \lambda_1 \Delta T_1 + q_1, \quad z \in [0; z_1], t \in [0; t_1]; \\ \rho_2 c_2 \dfrac{\partial T_2(z,t)}{\partial t} = \lambda_2 \Delta T_2 + q_2, \quad z \in [z_1; z_2], t \in [t_1; t_2]; \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ \rho_N c_N \dfrac{\partial T_N(z,t)}{\partial t} = \lambda_N \Delta T_N + q_N, \quad z \in [z_{N-1}; z_N], t \in [t_{N-1}; t_N], \end{cases} \tag{1}$$

де ρ_e – коефіцієнт щільності e-го шару багатошарового (N-шарового) мікробіологічного матеріалу, де $e = 1,..,N$; c_e – коефіцієнт теплоємності e-го шару; $T_e(z,t)$ – температурне поле точок e-го шару; z – просторова змінна; t – часова змінна; λ_e – коефіцієнт теплопровідності e-го шару; q_e – питома щільність потужності теплових навантажень в багатошаровому мікробіологічному матеріалі; z_e – відстань від центру джерела теплового впливу у вигляді пятна до точки в e-му шарі багатошарового мікробіологічного матеріалу, в якій визначається значення температурного поля; t_e – тривалість теплового впливу.

Граничні умови на початку і наприкінці дії на багатошаровий мікробіологічний матеріал:

$$\begin{cases} T(z,t)\big|_{t=t_0}^{z=z_0} = T_н; \\ T(z,t)\big|_{t=t_N}^{z=z_N} = T_к, \end{cases} \tag{2}$$

де $T_н$ – температура багатошарового мікробіологічного матеріалу на початку дії лазерного променя; $T_к$ – температура наприкінці дії лазерного променя.

Рівності розділу середовищ:

$$\begin{cases} T_1(z_1,t_1) = T_2(z_2,t_2), \quad -\lambda_1 \dfrac{\partial T_1}{\partial z} = -\lambda_2 \dfrac{\partial T_2}{\partial z}, \quad z \in [z_1; z_2]; \\ T_2(z_2,t_2) = T_3(z_3,t_3), \quad -\lambda_2 \dfrac{\partial T_2}{\partial z} = -\lambda_3 \dfrac{\partial T_3}{\partial z}, \quad z \in [z_2; z_3]; \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ T_{N-1}(z_{N-1},t_{N-1}) = T_N(z_N,t_N), \quad -\lambda_{N-1} \dfrac{\partial T_{N-1}}{\partial z} = -\lambda_N \dfrac{\partial T_N}{\partial z}, \quad z \in [z_{N-1}; z_N]. \end{cases} \tag{3}$$

Рівності неперервності температурних полів за часовою координатою:

$$\begin{cases} T(z_1;t_1-0) = T(z_1;t_1+0); \\ T(z_2;t_2-0) = T(z_2;t_2+0); \\ \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \quad \dots \\ T(z_N;t_N-0) = T(z_N;t_N+0). \end{cases} \tag{4}$$

Граничні умови 3-го роду:

$$-\lambda_1 \frac{\partial T_1}{\partial z}(0,t) = qS, \quad 0 \le t \le h, \tag{5}$$

де q – питомий тепловий потік; S – діаметр джерела теплового впливу, тобто плями.

Питомий тепловий потік:

$$q = \frac{T_1 - T_{ext}}{\frac{1}{\alpha_1} + \frac{1}{\alpha_{ext}} + \sum_{e=1}^{N} \frac{\delta_{0e}}{\lambda_e}}, \tag{6}$$

де T_{ext} – температура навколишнього середовища; α_1 – коефіцієнт тепловіддачі зовнішньої оболонки багатошарового мікробіологічного матеріалу; α_{ext} – коефіцієнт тепловіддачі навколишнього середовища; δ_{0e} – товщина e-го шару.

Алгоритмічна основа процедури розрахунку і оптимізації багатошарових мікробіологічних систем, що містять рухомі (локальні, дискретні, зосереджені) джерела температурних полів на прикладі ембріона під впливом лазерного променя наведена в роботах автора [4–7].

Висновки і перспективи. У статті розглянуто процес математичного моделювання мікробіологічних систем, що мають джерело термічного навантаження у вигляді плями. Автором побудована розрахункова математична модель процесу термовпливу на багатошаровий прямокутний необмежений за координатами x і y мікробіологічний матеріал. Врахування при постановці та реалізації розрахункових і прикладних оптимізаційних математичних моделей специфічних особливостей процесу термовпливу дозволить досягти зменшення травмованості мікробіологічного матеріалу і зниження витрат технічних ресурсів випромінювачів при здійсненні автоматизації досліджень прикладних оптимізаційних математичних моделей пошуку раціональних значень цільової функції та її параметрів.

Список літератури

1. Стоян Ю. Г. Оптимизация технических систем с источниками физических полей / Ю. Г. Стоян, В. П. Путятин. – К.: Наук. думка, 1988. – С. 44–48.

2. Чубаров Е. П. Управление системами с подвижными источниками воздействия / Е. П. Чубаров – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 288 с.

3. Douglas-Hamilton D. H. Thermal effects in laser-assisted pre-embryo zona drilling [Текст] / D.H. Douglas-Hamilton, J. Conia // Journal of Biomedical Optics. – 2001. – Vol. 6, Issue 2. – P. 205. doi: 10. 1117/1.1353796

4. Математическое моделирование и оптимизация параметров действия лазерного луча на многослойные биоматериалы / Ю. Е. Мегель, В. П. Путятин, Д. А. Левкин, А. В. Левкин // Вісник Національного технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія: Механіко-технологічні системи та комплекси. – Х.: НТУ «ХПІ», 2017. – № 20(1242). – С. 60–64.

5. Макаров А.А. Многоточечная краевая задача для псевдодифференциальных уравнений в полислое / А. А. Макаров, Д. А. Левкин. // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна. Серія: Математика, прикладна математика і механіка. – Харків, 2014. – № 1120. – Вып. 69. – С. 64–74.

6. Левкин Д. А. Адекватность расчетной математической модели процесса лазерного воздействия на эмбрион / Д. А. Левкин // Вчені записки Таврійського Національного університету імені В.І. Вернадського. Серія: Технічні науки. – К., 2018. – Т.29(68), №3, ч. 1. – С. 166–169.

7. Левкин Д. А. Математическое моделирование и оптимизация многослойных систем / Д. А. Левкин // Енергетика і автоматика. – 2019. – № 1 (41). – С. 45–56. doi 10.31548/energiya2019.01.045

References

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

2. Chubarov, E. P. (1985). Upravlenye systemamy s podvyzhnyimy ystochnykamy vozdeistvyia [Management of systems with mobile sources of impact]. Moskow: Enerhoatomyzdat, 288.

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

4. Megel', Yu. E., Putyatin, V. P., Levkin, D. A., Levkin, A. V. (2017). Matematycheskoe modelyrovanye y optymyzatsyia parametrov deistvyia lazernoho lucha na mnogosloynyie biomaterialyi [Mathematical modeling and optimization of parameters of action of a laser beam on multilayered biomaterials]. Visnyk Natsionalnoho tekhnichnoho universytetu «KhPI». Zbirnyk naukovykh prats. Seriia: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta kompleksy. Kh.: NTU «KhPI», 20 (1242), 60–64.

5. Makarov, A. A. (2014). Mnohotochechnaia kraevaia zadacha dlia psevdodyfferentsyalnyikh uravnenyi v polysloe [Multipoint boundary value problem for pseudodifferential equations in multilayer]. Visnyk Kharkivskoho natsionalnoho universytetu imeni V. N. Karazina. Seriia: Matematyka, prykladna matematyka i mekhanika, 69 (1120), 64–74.

6. Levkin, D. A. (2018). Adekvatnost raschetnoi matematycheskoi modely protsessa lazernoho vozdeistvyia na эmbryon [The adequacy of calculated mathematical model of an

action process of a laser beam on an embryo]. Vcheni zapysky Tavriiskoho Natsionalnoho Universytetu imeni V.I. Vernadskoho. Seriia: Tekhnichni nauky, 29(68), 3, (1), 166–169.

7. Levkin, D. A. (2019). Matematycheskoe modelyrovanye i optymyzatsyia mnogosloinykh sistem [Mathematical modeling and optimization of multilayer systems]. Enerhetyka i avtomatyka. 1(41), 45–56.

АВТОМАТИЗАЦИЯ ИССЛЕДОВАНИЙ МНОГОСЛОЙНЫХ СИСТЕМ

Д. А. Левкин

Аннотация. *Рассмотрены вопросы расчета и задания параметров многослойных микробиологических систем, содержащих локальные сосредоточенные дискретные источники температурных полей. В качестве объекта исследований в работе рассмотренный многослойный, неограниченный микробиологический материал, подвергающийся локальному точечному термовоздействию. Новизна исследований автора состоит в учете специфических особенностей процесса термовоздействия и многослойной структуры микробиологического материала.*

Цель исследования – построение физически обоснованных расчетных математических моделей, описывающих состояние объекта исследований, а также наметить пути для осуществления процесса оптимизации целого класса многослойных микробиологических систем.

Автором построена расчетная математическая модель процесса точечного термовоздействия на многослойный неограниченный микробиологический материал. Следует отметить, что особенностью объекта исследования является то, что его состояние описывается краевой задачей для системы нестационарных, неоднородных дифференциальных уравнений теплопроводности (система с распределёнными параметрами). Эта специфика значительно усложняет, как процесс построения соответствующих математических моделей оптимизации многослойных микробиологических систем, так и их использование для повышения качества протекания биотехнологического процесса деления (раскроя, сегментации) микробиологического материала.

В связи с этим реализацию процедуры решения серии краевых задач и обеспечения итерационного процесса поиска рациональных параметров теплового воздействия автором предлагается осуществить на специализированной сеточной аналоговой или гибридной модели. Это позволит на каждой итерации существенно сократить время решения краевой задачи, что даст возможность повысить точность решения всей задачи поиска параметров рассматриваемых систем.

Ключевые слова: ***математические модели, оптимизация, краевая задача, аналоговая модель, гибридная модель***

AUTOMATION OF MULTILAYERED SYSTEMS RESEARCHES

D. A. Levkin

Abstract. *The article considers the issues of calculating and setting parameters of multilayer microbiological systems containing local concentrated discrete sources of temperature fields. As an object of research in the work, the considered multilayer,*

unlimited microbiological material subjected to local point thermal influence. The novelty of the author's research is to take into account the specific features of the process of thermal action and the multilayer structure of microbiological material. The purpose of the research is to build physically justified computational mathematical models that describe the state of the research object, as well as to outline ways for the optimization process of a whole class of multilayer microbiological systems.

The author has constructed a calculated mathematical model of the process of point thermal action on a multilayer unlimited microbiological material. It should be noted that a feature of the object of study is that its state is described by a boundary-value problem for a system of non-stationary, inhomogeneous differential heat equations (a system with distributed parameters). This specificity significantly complicates the process of constructing the appropriate mathematical models for optimizing multilayer microbiological systems, as well as their use to improve the quality of the biotechnological process of dividing (cutting, segmentation) microbiological material.

In this regard, the author proposes to implement the procedure for solving a series of boundary value problems and ensuring an iterative process of searching for rational parameters of heat exposure on a specialized grid analog or hybrid model. This will allow at each iteration to significantly reduce the time it takes to solve a boundary value problem, which will make it possible to increase the accuracy of solving the entire problem of searching for parameters of the systems under consideration.

Key words: ***mathematical models, optimization, boundary value problem, analog model, hybrid model***