

РОЗВ'ЯЗАННЯ ЗАДАЧ ПРОЕКТУВАННЯ АВТОМАТИЗОВАНИХ СИСТЕМ КЕРУВАННЯ

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

О. І. Завгородній, доктор технічних наук, професор

А. В. Левкін, кандидат технічних наук, доцент

Харківський національний технічний університет

сільського господарства ім. Петра Василенка

E-mail: dimallevkin23@gmail.com

Анотація. Дослідження присвячені питанням оптимізації багатошарових систем з розподіленими параметрами. Розглядаючи багатошарові мікробіологічні системи, які містять локальні, дискретні джерела температурних полів, автори приходять до висновку про доцільність аналізу і синтезу задач оптимізації. Це означає, що реалізація більшого числа прикладних оптимізаційних математичних моделей з одного боку дасть можливість підвищити точність пошуку раціональних параметрів багатошарових систем, а з іншого – збільшить об'єми витраченої машинної пам'яті та часу реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей з застосуванням програмно-апаратних засобів.

Одним із засобів подолання зазначених складнощів є застосування сіткових процесорів на аналогових моделях, що дозволить за рахунок розпаралелювання обчислювального процесу суттєво скоротити витрати часу на кожній ітерації.

Об'єктом дослідження виступає процес лазерного ділення багатошарового, неоднорідного мікробіологічного матеріалу. Його унікальність полягає в урахуванні на етапі математичного моделювання та здійснення оптимізації як багатошарової структури мікробіологічного матеріалу та особливостей електронно-променевої дії, так і етапу підготовки мікробіологічного матеріалу перед здійсненням процесу лазерного ділення.

В статті розглянуто дві прикладні оптимізаційні математичні моделі пошуку раціональних значень температурного поля і його параметрів. Сутність першої прикладної оптимізаційної математичної моделі полягає в наступному. Мікробіологічний матеріал зберігається замороженим у рідкому азоті. У процесі розморожування необхідно забезпечити керування відповідними параметрами, які гарантують не перевищення допустимих значень термонапружень. Це дозволить уникнути розтину ядер мікробіологічного матеріалу при розморожуванні.

Ключові слова: оптимізація, локальні джерела, синтез, математичне моделювання

Актуальність. Для автоматизації проектування складних систем необхідна наявність адекватних математичних моделей. Оптимізація функції мети та її параметрів досягається за рахунок аналізу та синтезу систем, і, як результат цього, виділення та реалізації прикладних задач оптимізації. Розглянуті авторами даної роботи багат шарові мікробіологічні системи під дією точкових джерел термонавантажень є багат шаровим мікробіологічним матеріалом, який піддається дії сканованих точкових джерел лазерного випромінювання. Відзначимо, що стан досліджуваного об'єкту описується за допомогою крайових задач систем багатовимірних, неоднорідних і нестационарних диференціальних рівнянь теплопровідності в часткових похідних. Це створює характерні особливості розрахунку температурних полів та реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей для здійснення процесу оптимізації систем.

З метою збільшення точності реалізації процесу оптимізації необхідно виділення та реалізація якомога більшого числа прикладних оптимізаційних математичних моделей. На думку Д. А. Левкіна, для зменшення витрат машинної пам'яті та часу на кожній ітерації це доцільно здійснити з використанням сіткових процесорів на аналогових або гібридних моделях.

Незважаючи на те, що дослідження авторів носять скоріше оглядовий характер, їх унікальність полягає в урахуванні етапу підготовки мікробіологічного матеріалу перед здійсненням лазерної сегментації. Задля уникнення розтину ядер мікробіологічного матеріалу Д. А. Левкін досліджує математичну модель його розморожування. Крім того, температурні поля біооб'єктів представлені в залежності від характеристик дискретного, рухомого джерела, а також врахована багат шарова, неоднорідна структура мікробіологічного матеріалу, що також сприяє збільшенню якості лазерної сегментації останнього.

Аналіз останніх досліджень та публікацій. Проведений аналіз наукових публікацій [1 – 5], які стосуються вирішенню найбільш близьких завдань стосовно до тематики досліджень авторів. Питання параметризації фізичних полів при проектуванні технічних систем з дискретними джерелами розглядалися в

монографіях [1, 2]. У цих роботах відмічалась важливість цього етапу для формалізації оптимізаційних математичних моделей з метою раціонального проектування різних фізико-математичних систем.

В роботі [3] вирішені питання оптимізації розміщення декількох промислових підприємств з урахуванням обмежень на рівень забруднення районів. Наведені методи розрахунку керуючих параметрів лазерного впливу та принципи побудови пристроїв для вирішення цілої низки технологічних завдань [4]. У той же час, у роботах [1 – 4] питання пошуку та завдання керуючих параметрів біотехнологічних процесів не розглядалися.

Розрахунку температур лазерного впливу на ембріон для декількох теплових режимів присвячені результати роботи [5]. Однак, в роботі [5] не враховані неоднорідна, багат шарова структура мікробіологічного об'єкту та не наведений підхід до розрахунку та оптимізації технічних параметрів для цілого класу мікробіологічних систем, які містять дискретні джерела термонавантажень.

Мета дослідження - розгляд деяких прикладних оптимізаційних математичних моделей пошуку раціональних значень температурного поля та технічних параметрів джерел термонавантажень для зменшення витрат ресурсів біотехнологічних систем і досліджуваного матеріалу.

Матеріали і методи дослідження. При дослідженнях застосовувалися методи математичного моделювання систем з розподіленими параметрами для формалізації задач оптимізації шуканих параметрів; методи аналізу та синтезу багатокомпонентних середовищ для систематизації прикладних оптимізаційних математичних моделей з метою здійснення процесу розрахунку та оптимізації керуючих параметрів багат шарових біотехнологічних систем.

Результати досліджень та їх обговорення. Математична модель 1. Мікробіологічний матеріал, як правило, зберігається замороженим у рідкому азоті. Перед тим, як здійснити його поділ, необхідно матеріал розморозити без розтину ядер. Тобто в процесі розморозування необхідно керувати відповідними параметрами, гарантуючими допустимі значення термонапружень. Рівномірність

кінцевого розподілу температурного поля в об'ємі мікробіологічного матеріалу Ω характеризує така математична модель:

$$\left(\begin{array}{c} \max_{\substack{(x,y,z) \in \Omega^* \\ t \in [t_0; t^*]}} T(x, y, z, t) - \min_{\substack{(x,y,z) \in \Omega^* \\ t \in [t_0; t^*]}} T(x, y, z, t) \end{array} \right) \rightarrow \min_{z^* \in Z}, \quad (1)$$

де $T(x, y, z, t)$ – температурне поле області точок $(x, y, z) \in \Omega^*$ багат шарового (N -шарового) мікробіологічного матеріалу Ω ; t – час теплового впливу; t_0 і t^* – початковий і кінцевий моменти часу; $z^* = (x, y, z, t, u, E, s(t), v(t), Q(x, y, z, t), S)$ – вектор параметрів процесу дії; u – інтенсивність джерела, тобто плями; E – енергія дії; $s(t)$ – траєкторія руху лазерного джерела, тобто плями; $v(t)$ – швидкість руху джерела; $Q(x, y, z, t)$ – густина теплового впливу; S – діаметр лазерного джерела.

На всі компоненти вектора z^* , за виключенням траєкторії руху джерела, накладаються двосторонні умови їх зміни. Окрім того, необхідно здійснити обмеження на мінімальне і максимальне значення температурного поля в мікробіологічному матеріалі Ω :

$$\begin{cases} T_1^* \leq \max T \leq T_2^*; \\ T_3^* \leq \min T \leq T_4^*, \end{cases} \quad (2)$$

де T_1^* – задане мінімально допустиме значення максимуму температурного поля; T_2^* – задане максимально допустиме значення максимуму температурного поля; T_3^* – задане мінімально допустиме значення мінімуму температурного поля; T_4^* – задане максимально допустиме значення мінімуму температурного поля.

Виконання вимог математичної моделі 1 дозволить, з одного боку, мати якісний вихідний матеріал, а з іншого – дасть можливість коректно сформулювати відповідну крайову задачу, яка лежить в основі побудови математичних моделей теплового впливу на мікробіологічні матеріали.

Наприклад, для коректної постановки крайової задачі, яка описує температурне поле багат шарового біоматеріалу, необхідно задати початкові умови у вигляді

розподілу температурного поля в початковий момент часу, тобто після розморожування:

$$T(x, y, z, t)|_{t=t_0} = T^{**}(x, y, z), \quad (3)$$

де T^{**} – розподіл температурного поля в області точок Ω^* багат шарового мікробіологічного матеріалу після закінчення процесу розморожування та перед початком біотехнологічного процесу лазерного поділу мікробіологічного матеріалу.

Відносно постановки задачі керування біотехнологічним процесом розморожування мікробіологічного матеріалу варто зауважити, що для цього необхідно здійснити параметризацію температурного поля мікробіологічного матеріалу шляхом подання відповідного температурного поля в залежності від параметрів керування. У цьому випадку в математичній моделі 1 температурне поле буде мати вигляд:

$$T = T(x, y, z, t, Y), \quad (4)$$

де Y – вектор параметрів керування процесом розморожування, на компоненти якого накладаються відповідні обмеження, властиві технологічним засобам, які забезпечують процес розморожування.

Математична модель 2. Необхідно мінімізувати різницю між значеннями температурного поля T_i в заданих точках $(x_i, y_i, z_i) \in \Omega_i \in \Omega^*, i = 1, \dots, N$ багат шарової системи Ω і наперед заданими допустимими значеннями температурного поля T^* , тобто знайти:

$$\min_{z^* \in Z} \max_{\substack{(x_i, y_i, z_i) \in \Omega_i \\ i=1, N \\ t \in [t_0; t^*]}} |T_i(x_i, y_i, z_i, t, z^*) - T^*|, \quad (5)$$

де $T_i(x_i, y_i, z_i, t, z^*)$ – температурне поле; $(x_i, y_i, z_i) \in \Omega_i \in \Omega^*, i = 1, \dots, N$ – область багат шарового (N -шарового) мікробіологічного матеріалу Ω .

Деякі аспекти задачі пошуку оптимальних параметрів лазерної сегментації ембріону були розглянуті в роботах [6, 7]. Однак, в роботі [6] розглядалися питання оптимізації параметрів лазерної сегментації ембріону при поділу лазерним

відрізком. Унікальність досліджень цієї роботи полягає в урахуванні при здійсненні розрахунків та оптимізації параметрів мікробіологічних систем багатошарової структури мікробіологічного матеріалу та особливостей процесу термічної дії на матеріал.

Висновки і перспективи. В статті розглянуті деякі математичні моделі прикладних задач оптимізації біотехнологічних систем. Зазначимо, що одна математична модель (математична модель 1) задачі підготовки біоматеріалу до сегментації не пов'язана з оптимізацією параметрів дії лазерного променя на багатошаровий мікробіологічний матеріал. Перед процесом сегментації мікробіологічний матеріал зберігається замороженим у рідкому азоті. Його потрібно дістати, щоб уникнути розтину ядер мікробіологічного матеріалу. Розтини з'являються, коли з'являються градієнти температур, які викликані термонапруженнями. Для того, щоб ліквідувати розтини ядер мікробіологічного матеріалу, необхідно й розглянути задачу підготовки матеріалу.

Слід відзначити, що наведені в цій роботі математичні моделі на перший погляд здаються вже відомими, проте їх унікальність полягає в урахуванні багатошарової, неоднорідної структури мікробіологічного матеріалу та особливостей процесу лазерної сегментації.

Список використаних джерел

1. Стоян Ю. Г. Размещение источников физических полей / Ю. Г. Стоян, В. П. Пуятин. – К.: Наук. думка, 1981. – С. 59–87.
2. Стоян Ю. Г. Оптимизация технических систем с источниками физических полей / Ю. Г. Стоян, В. П. Пуятин. – К.: Наук. думка, 1988. – С. 44–48.
3. Чубаров Е. П. Управление системами с подвижными источниками воздействия / Е. П. Чубаров – М.: Энергоатомиздат, 1985. – 288 с.
4. Марчук Г. И. Математическое моделирование в проблеме окружающей среды / Г. И. Марчук – М.: Наука, 1982. – 320 с.
5. Douglas-Hamilton D. H. Thermal effects in laser-assisted pre-embryo zona drilling / D. H. Douglas-Hamilton, J. Conia // Journal of Biomedical Optics. – 2001. – Vol. 6, Issue 2. – P. 205.
6. Levkin A. Economic Security as a Result of Modern Biotechnology Implementation. Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T

‘2019): 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference (Kyiv 8-11 October 2019). / A. Levkin, R. Levkina, A. Petrenko, I. Chaliy. Kyiv, 2019. P. 139–142.

7. Левкин А. В. Построение оптимизационной задачи тепловых процессов при лазерном делении эмбриона / А. В. Левкин, Д. А. Левкин // MOTROL Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – LUBLIN – RZESZOV, 2013. – Vol. 15, No. 7. – С. 68–73.

References

1. Stoyan, Yu. G., Putyatin, V. P. (1981). Razmeshchenie istochnikov fizicheskikh poley [Placement of physical field sources]. Kyiv: Nauk. Dumka, 59–87.

2. 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.

3. Chubarov, E. P. (1985). Upravlenye systemamy s podvyzhnyimi ystochnykamy vozdeistviya [Management of systems with mobile sources of impact]. Moscow.: Enerhoatomyzdat, 288.

4. Marchuk, G. I. (1982). Matematicheskoye modelirovaniye v probleme okruzhayushchey sredy [Mathematical modeling in environmental problems]. Moscow: Nauka, 320.

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

6. Levkin, A., Levkina, R., Petrenko A., Chaliy I. (2019). Economic Security as a Result of Modern Biotechnology Implementation. Problems of Infocommunications Science and Technology (PIC S&T ‘2019): 2019 IEEE International Scientific-Practical Conference. October 8-11, 2019, Kyiv, 139–142.

7. Levkin, A. V., Levkin, D. A. (2013). Postroyeniye optimizatsionnoy zadachi teplovykh protsessov pri lazernom delenii embriona [Construction of the optimization problem of thermal processes at laser division of the embryo]. *MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture*, 15 (7), 68–73.

РЕШЕНИЕ ЗАДАЧ ПРОЕКТИРОВАНИЯ АВТОМАТИЗИРОВАННЫХ СИСТЕМ УПРАВЛЕНИЯ

Д. А. Левкин, А. И. Завгородний, А. В. Левкин

Аннотация. *Исследования посвящены вопросам оптимизации многослойных систем с распределенными параметрами. Рассматривая многослойные микробиологические системы, содержащие локальные, дискретные источники температурных полей, авторы приходят к выводу о необходимости анализа и синтеза задач оптимизации. Это означает, что реализация большего числа прикладных оптимизационных математических моделей с одной стороны даст возможность повысить точность поиска рациональных параметров многослойных систем, а с другой – увеличит объемы затраченной машинной памяти и длительность реализации прикладных оптимизационных математических моделей*

с привлечением программно-аппаратных средств. Одним из способов преодоления обозначенных трудностей есть применение сеточных процессоров на аналоговых моделях, что позволит за счет распараллеливания вычислительного процесса существенно сократить затраты времени на каждой итерации.

Объектом исследования выступает процесс лазерного деления многослойного, неоднородного микробиологического материала. Его уникальность состоит в учете на этапах математического моделирования и осуществления оптимизации, как многослойной структуры микробиологического материала и особенностей электронно-лучевого воздействия, так и этапа подготовки микробиологического материала перед осуществлением процесса лазерного деления.

В статье рассмотрены две прикладные оптимизационные математические модели поиска рациональных значений температурного поля и его параметров. Суть первой прикладной оптимизационной математической модели состоит в следующем. Микробиологический материал хранится замороженным в жидком азоте. В процессе размораживания необходимо обеспечить управление соответствующими параметрами, гарантирующими не превышение допустимых значений термонапряжений. Это позволит избежать разрыва тканей микробиологического материала при разморозке.

Ключевые слова: оптимизация, локальные источники, синтез, математическое моделирование

SOLUTION OF PROBLEMS OF DESIGNING AUTOMATED MANAGEMENT SYSTEMS

D. Levkin, A. Zavgodniy, A. Levkin

Abstract. *The article is devoted to the optimization of multilayer systems with distributed parameters. Considering multilayer microbiological systems containing local, discrete sources of temperature fields, the authors come to the conclusion about the need for optimization problems analysis and synthesis. This means that the implementation of a larger number of applied optimization mathematical models will, on the one hand, make it possible to increase the accuracy of the search for rational parameters of multilayer systems, and on the other hand, increase the amount of spent machine memory and the duration of the implementation of applied optimization mathematical models with the use of software and hardware. One way to overcome the indicated difficulties is the use of grid processors on analog models, which will significantly reduce the time spent on each iteration by parallelizing the computational process.*

The object of research is the laser fission process of a multilayer, heterogeneous microbiological material. Their uniqueness lies in the consideration at the stages of mathematical modeling and optimization, both of the multilayer structure of the microbiological material and the features of the electron beam exposure, and of the stage of preparation of the microbiological material before the laser fission process.

In the article, the authors consider two applied mathematical optimization models for the search for rational values of the temperature field and its parameters. The essence of the first applied optimization mathematical model is as follows. Microbiological material

is stored frozen in liquid nitrogen. In the process of defrosting, it is necessary to ensure that appropriate parameters are controlled to ensure that the permissible thermal stresses are not exceeded. This will avoid rupture of tissues of microbiological material during defrosting.

Key words: *optimization, local sources, synthesis, mathematical modeling*