

## **ОПТИМІЗАЦІЯ БІОТЕХНОЛОГІЧНИХ СИСТЕМ**

*Д. А. Левкін, кандидат технічних наук, доцент*

*Харківський національний технічний університет*

*сільського господарства ім. Петра Василенка,*

*О. А. Макаров, кандидат фізико-математичних наук, доцент*

*Харківський національний університет імені В.Н. Каразіна*

*В. М. Кашина, старший викладач*

*Харківський національний технічний університет*

*сільського господарства ім. Петра Василенка,*

*E-mail: [dimalevkin23@gmail.com](mailto:dimalevkin23@gmail.com)*

**Анотація.** Розглянуті питання розробки програмно-апаратних засобів для автоматизації проектування багатошарових біотехнологічних систем, які містять джерела термічного навантаження, включаючи джерела сканованого лазерного випромінювання. Як об'єкт дослідження авторів виступає багатошаровий мікробіологічний матеріал під дією джерел лазерного випромінювання.

Мета дослідження – розробка принципів побудови програмно-апаратних засобів для підвищення якості процесу дії за рахунок врахування багатошарової структури досліджуваного матеріалу і технічних параметрів випромінювачів.

Авторами наведена основна оптимізаційна задача пошуку раціональних параметрів дії лазерного променя на багатошаровий мікробіологічний матеріал з урахуванням обмежень на результуюче температурне поле матеріалу для контролю за використанням технічних ресурсів випромінювачів і забезпечення життєздатності сегментів мікробіологічного матеріалу. Відзначено, що для здійснення розрахунку та оптимізації температури лазерної дії, а також технічних параметрів випромінювачів у зв'язку з багатошаровою будовою досліджуваного об'єкта автори пропонують використати систему нестационарних, неоднорідних, багатовимірних диференціальних рівнянь теплопровідності з відповідними початковими, граничними і умовами спряження в шарах мікробіологічного матеріалу.

Зазначені особливості вимагають значних часових витрат при реалізації процедури розв'язання серії крайових задач та забезпеченні ітераційного процесу пошуку раціональних параметрів теплового впливу. Тому реалізацію цієї процедури доцільно здійснити на спеціалізованій сітковій аналоговій або гібридній моделі. Це дозволить на кожній ітерації істотно скоротити час розв'язання крайових задач, що дасть можливість підвищити точність розв'язання всієї задачі пошуку параметрів лазера.

**Ключові слова:** *програмно-апаратні засоби, автоматизація, основна оптимізаційна задача, крайові задачі*

**Актуальність.** Для розрахунку і оптимізації технічних і мікробіологічних систем, які містять локальні, дискретні джерела фізичних полів, необхідно проводити міждисциплінарні дослідження технологічних і біотехнологічних процесів. У зв'язку з цим досить часто виникають складнощі з побудовою і реалізацією розрахункових і прикладних оптимізаційних математичних моделей процесу дії. Проводячи оптимізацію багат шарових систем, можна зіткнутись з нелінійними обмеженнями на значення функції мети і її параметри, нелінійним видом розв'язків крайових задач. Це призводить до зменшення швидкості реалізації крайових задач у процесі моделювання і здійснення оптимізації багат шарових систем. Тому, на думку авторів, для уникнення зазначених складнощів необхідно або відмовитись від багат шарової, нелінійної структури досліджуваних об'єктів і не враховувати технічні характеристики випромінювачів, або задіяти спеціалізовані моделюючі пристрої для забезпечення ітераційного процесу з урахуванням багат шарової структури досліджуваних систем. Застосування аналогових сіткових процесорів дозволить миттєво реалізувати крайові задачі на комп'ютерах, що дасть можливість забезпечити моделювання та оптимізацію функції мети і її параметрів.

У статті розглянуто один з можливих підходів до розробки спеціалізованих моделюючих обчислювальних пристроїв, що дозволяють підвищити ефективність (за точністю, витратами часу і пам'яті) розв'язання задач пошуку раціональних параметрів біотехнологічного процесу лазерного ділення багат шарових мікробіологічних матеріалів. Використання досліджень дозволить оптимізувати витрати часу за рахунок відсутності необхідності створення відповідного програмного забезпечення, застосування спеціалізованих сіткових процесорів і розпаралелювання обчислювального процесу. А це, в свою чергу, дасть можливість отримати апаратні засоби для автоматизації досліджень прикладних оптимізаційних математичних моделей і підвищити якість біотехнологічного процесу лазерної дії на багат шарові матеріали. Зауважимо, що загальний час розв'язання задач та витрати пам'яті на пристрої, що досліджується в цій статті, в основному залежать від

кількості шарів у матеріалі, який піддається лазерній дії. Точність розв'язання задач на пристрої залежить від точності завдання вихідних даних і точності реалізації серії відповідних крайових задач.

**Аналіз останніх досліджень та публікацій.** Питанням, які досліджують автори статті, раніше приділялась велика увага [1–6], однак вони і нині залишаються в полі зору фахівців у різних прикладних областях. У фундаментальній роботі [1] розглянуті і детально досліджені основна оптимізаційна задача і прикладні задачі оптимізації технічних систем, які містять зосереджені, локальні джерела фізичних полів. Наведена формалізація і систематизація прикладних задач оптимізації, що дозволило її авторам запропонувати принципи побудови розрахункових і прикладних оптимізаційних моделей, а також спеціалізованих обчислювальних пристроїв для автоматизації проектування багатошарових мікробіологічних систем. Розв'язанню прикладних задач оптимізації для конкретних систем присвячені результати досліджень [2–6]. У роботі [2] досліджені питання розрахунку і оптимізації керуючих параметрів процесу розкрою листового металу. Розрахунок теплових режимів лазерного ділення ембріону з урахуванням тришарової структури мікробіологічного об'єкта і характеристик технічного забезпечення біотехнологічного процесу наведений в публікації [3]. У публікаціях [4, 5] наведена чисельна реалізація декількох прикладних оптимізаційних математичних моделей для ембріона, що піддається дії лазерним променем. Це дало можливість авторам публікацій [4, 5] розрахувати раціональні параметри лазерних випромінювачів. Так само слід зазначити результати публікації [6], авторами якої досліджені питання транспортних перевезень у міських умовах. Специфіка розглянутої авторами цієї статті задачі полягає в розробці принципів побудови спеціалізованих моделюючих пристроїв, які дозволять підвищити ефективність (за витратами часу і пам'яті) розв'язання прикладних задач оптимізації багатошарових систем, які піддаються лазерному впливу. Унікальність досліджень авторів полягає в урахуванні багатошарової структури матеріалу і технічних характеристик програмно-апаратної частини біотехнологічного процесу лазерної дії. На етапі автоматизації

проектування багатошарових систем це дасть можливість підвищити якість процесу лазерної дії за рахунок зменшення травмування мікробіологічного матеріалу.

**Мета дослідження** – розробка спеціалізованих обчислювальних пристроїв, що дозволить підвищити якість біотехнологічного процесу лазерної дії на багатошарові мікробіологічні матеріали за рахунок врахування специфіки модельованого процесу і багатошарової структури досліджуваного об'єкта.

**Матеріали і методи дослідження.** У роботі застосовувалися методи математичного моделювання систем з розподіленими параметрами для побудови прикладних задач оптимізації шуканих параметрів, чисельні методи для розв'язання багатовимірних, нелінійних і нестационарних задач оптимізації, методи синтезу програмно-апаратних спеціалізованих моделюючих пристроїв для підвищення ефективності (швидкості та точності) розв'язання задач моделювання та оптимізації систем з розподіленими параметрами.

**Результати досліджень та їх обговорення.** У публікації [7] розглянута основна оптимізаційна задача пошуку раціональних параметрів багатошарових систем, які містять локальні, дискретні джерела температурних полів. Основна задача – оптимізація параметрів дії лазера на мікробіологічний матеріал з урахуванням обмежень на технічні параметри лазера та характер розподілення температурного поля в багатошаровій системі для забезпечення життєздатності сегментів матеріалу. Це дасть можливість здійснити автоматизацію досліджень прикладних оптимізаційних математичних моделей, які є частковими випадками основної оптимізаційної задачі, і забезпечити якість біотехнологічного процесу.

Розглянемо концепцію побудови спеціалізованих процесорів для підвищення ефективності реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей і дамо характеристику основних блоків, необхідних для реалізації основної оптимізаційної задачі на апаратному рівні.

Для підготовки вихідних даних про стадію розвитку, структуру і геометричні характеристики мікробіологічного матеріалу необхідний мікроскоп, підключений до телевізійної камери, сигнали з якої надходять на вхід до комп'ютера. Це дасть можливість отримати необхідну вихідну інформацію для виконання процедур

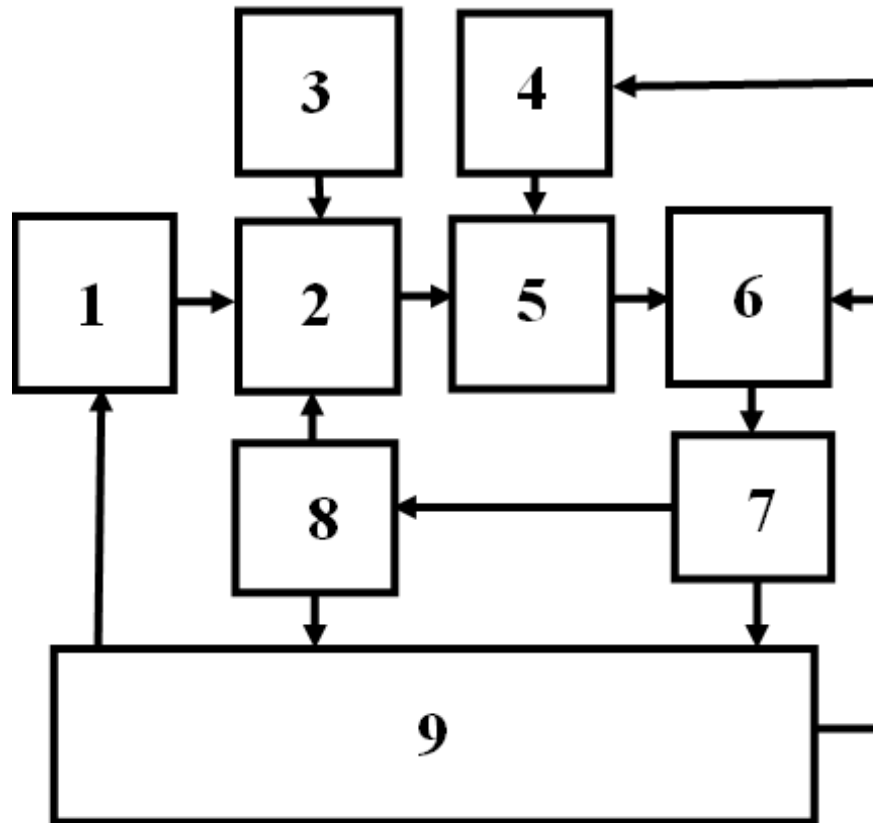
моделювання і пошукового обчислювального процесу. Крім того, на основі цих даних за допомогою програми «Трасування» визначається безліч припустимих траєкторій переміщення лазерного променя.

Необхідно також долучити в апаратні засоби блоки, що моделюють спектр відповідних крайових задач. При цьому доцільно використовувати аналогові або гібридні сіткові процесори зі змінною структурою і параметрами. Застосування аналогових сіткових процесорів дозволить практично миттєво здійснити реалізацію якої завгодно складної крайової задачі, що дає можливість звести до мінімуму час розв'язання відповідної крайової задачі на кожній ітерації процесу пошуку параметрів лазерної дії. Відзначимо, що в публікації [8] наведена чисельна реалізація розрахункової математичної моделі процесу лазерної дії на багат шаровий мікробіологічний об'єкт (ембріон).

Для реалізації процедури завдання вихідних параметрів теплової дії доцільно використовувати відповідні засоби і пристрої: для визначення розміру області багат шарового мікробіологічного матеріалу, інтенсивності лазерного джерела, енергії лазерної дії, місця розташування лазерного джерела, швидкості його переміщення мікробіологічним матеріалом, щільності теплового впливу. Для реалізації процедури оцінки параметрів на їх припустимість доцільно передбачити наявність блоку порівняння значень температурного поля мікробіологічного матеріалу в досліджуваній точці в заданий момент часу і заданого припустимого значення.

Крім того, доцільно передбачити зв'язок між блоком порівняння і блоком розрахунку параметрів, за яким сигнал величини неузгодженості між отриманими на сітковій моделі значеннями температурного поля і заданим припустимим значенням надійде на вхід блоку розрахунку параметрів. Залежно від цього сигналу приймається рішення про припустимість параметрів, отриманих на даній ітерації або їх неприпустимість. Для реалізації процедури пошуку раціональних значень шуканих параметрів теплового впливу, на безлічі припустимих, доцільно використати блоки, що реалізують пошукові методи оптимізації.

На рисунку наведена концептуальна структура апаратної реалізації математичних моделей.



**Рис. Концептуальна структура апаратної реалізації математичних моделей:**

1 – блок завдання параметрів сіткової моделі області матеріалу; 2 – сіткова модель області матеріалу; 3 – блок завдання початкових, граничних умов і умов спряження; 4 – блок завдання припустимих значень контрольованих параметрів; 5 – блок порівняння; 6 – блок розрахунку параметрів лазера; 7 – блок пошуку раціональних параметрів лазера; 8 – блок завдання параметрів лазера; 9 – блок завдання та реєстрації інформації

Підготовка пристрою до роботи починається з введення в блок 9 вихідної інформації. Далі з блоку 9 на вхід блоку 4 надходить допустиме значення контрольованого фізичного параметра, наприклад, допустиме значення температурного поля в точках досить малого околу границі дії лазерного джерела. У блок 1 завдання параметрів сіткової моделі подаються вихідні значення відповідних параметрів для їх установки на сітковій моделі 2. З блоку 9 на вхід блоку 6

розрахунку параметрів лазера надходить інформація про експертні значення параметрів дії лазерного променя на мікробіологічний матеріал, а саме: інтенсивність джерела лазерного променя, енергія і тривалість лазерної дії, траєкторія і швидкість руху лазерного джерела, щільність лазерної дії, геометричні розміри лазерного джерела. З блоку 3 надходить інформація про початкові, граничні та умови спряження в багатошаровому мікробіологічному матеріалі. На цьому підготовка пристрою до роботи закінчена.

Пристрій працює так. Вихідні параметри лазера з блоку 6 через блок 7 надходять в блок 8, а потім на сіткову модель 2 області лазерної дії, що дає можливість здійснити моделювання дії лазерного променя на мікробіологічний матеріал. Значення температурного поля з контрольованих точок сіткової моделі 2 надходять на вхід блоку 5, де здійснюється порівняння з припустимими значеннями температури, які задані раніше в блоці 4. У блоці 5 здійснюється порівняння заданого припустимого значення температурного поля з отриманим на сіткової моделі 2. Якщо температурне поле на сітковій моделі 2 вище наперед заданого, то з блоку 5 в блок 6 розрахунку параметрів лазера надходить сигнал, за яким здійснюється корекція параметрів лазера. Блок 9 реєстрації проводить фіксацію відповідних параметрів лазера. Таким чином, за кілька ітерацій за заданими обмеженнями на значення температурного поля в точках досить малого околу границі дії лазерного джерела, визначаються раціональні значення параметрів лазера.

Відзначимо, що така апаратна реалізація дозволить скоротити часові витрати порівняно з витратами часу при реалізації на комп'ютерах. Це зумовлено відсутністю етапу створення і налагодження відповідного програмного забезпечення. Скорочення часу розв'язку задач оптимізації на пристрої (рисунок) також забезпечується паралельним виконанням окремих етапів алгоритму. Це зумовлено, наприклад, застосуванням сіткового процесору (блоки 1–3, 8 на рисунку). Загальний час розв'язання прикладних задач на цьому пристрої та витрати пам'яті залежать від кількості шарів в матеріалі. Точність розв'язання задач на

пристрої залежить від точності завдання вихідних даних і точності реалізації блоками 1–3, 8 (рисунок) серії відповідних крайових задач.

**Висновки і перспективи.** У статті запропоновано один з можливих підходів до розробки програмно-апаратних засобів для реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей пошуку раціональних параметрів дії лазерного променя на багат шарові мікробіологічні матеріали. Авторами розроблена і детально досліджена концептуальна структура базового алгоритму для здійснення розрахунку і оптимізації багат шарових систем, які містять локальні, дискретні джерела термічного навантаження з метою підвищення ефективності реалізації математичних моделей. Проведені авторами дослідження можливо застосувати для забезпечення реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей для технічних і біотехнологічних систем. Застосування зазначеного підходу дозволить забезпечити автоматизацію проектування технічних і біотехнологічних багат шарових систем, а також підвищити якість технологічних процесів у медицині, офтальмології, біотехнології та інших областях.

#### **Список використаних джерел**

1. Стоян Ю. Г. Оптимизация технических систем с источниками физических полей [Текст] / Ю. Г. Стоян, В. П. Путятин. – К.: Наук. думка, 1988. – С. 44–48.
2. Чубаров Е. П. Управление системами с подвижными источниками воздействия [Текст] / 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. Levkina R. Current approaches to biotechnology in animal husbandry. / R. Levkina, A. Levkin, A. Petrenko, N. Kolomiec. // International Journal of Advanced Science and Technology. – 2020. – Vol. 29, Issue 8. – P. 2463–2469.
5. Levkin A. Economic Security as a Result of Modern Biotechnology Implementation [Текст]. 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. pp. 139–142.
6. Modeling of reliability of logistic systems of urban freight transportation taking into account street congestion [Текст] / V. Vojtov, O. Kutiya, N. Berezhnaja, M. Karnaukh, O. Bilyaeva. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2019. – Vol. 4, No. 3. – P. 15–21. DOI: 10. 15587/1729-4061.2019. 175064.
7. Левкін Д. А. Математичні моделі оптимізації параметрів дії лазерного променя на багат шарові біосистеми [Текст] / Д. А. Левкін. // Вісник Національного



технічного університету «ХПІ». Збірник наукових праць. Серія «Механіко-технологічні системи та комплекси». – Х.: НТУ «ХПІ», 2014. – №60 (1102). – С. 77–84.

8. Левкин Д. А. Аналитическое решение уравнения теплопроводности для многослойного микробиологического объекта [Текст] / Д. А. Левкин. // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2012. – Vol. 4, No. 58. – P. 29–31.

### 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. Chubarov, E. P. (1985). Upravlenye systemamy s podvyzhnyimy ystochnykamy vozdeistviya [Management of systems with mobile sources of impact]. М.: 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. DOI: 10.1117/1.1353796

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

5. 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.

6. Vojtov, V., Kutiya, O., Berezhnaja, N., Karnaukh, M., Bilyaeva, O. (2019). Modeling of reliability of logistic systems of urban freight transportation taking into account street congestion. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (3). 15–21. DOI: 10.15587/1729-4061.2019.175064.

7. Levkin, D. A. (2014). Matematychni modeli optymizatsii 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. Seriya: Mekhaniko-tekhnolohichni systemy ta komplekxy. Kh.: NTU «KhPI», 60 (1102), 77–84.

8. Levkin, D. A. (2012). Analiticheskoe reshenie uravneniya teploprovodnosti dlya mnogoslownogo mикrобиологического объекта [Analytical solution of the heat equation for the multilayer microbiological object]. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 4 (58), 29–31.

## ОПТИМИЗАЦИЯ БИОТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ

**Д.А. Левкин, А.А. Макаров, В.Н. Кашына**

**Аннотация.** *Рассмотрены вопросы разработки программно-аппаратных средств для автоматизации проектирования многослойных биотехнологических систем, содержащих источники термической нагрузки, включая источники сканируемого лазерного излучения. В качестве объекта исследования авторов выступает многослойный микробиологический материал под воздействием источников лазерного излучения.*

*Цель исследования – разработка принципов построения программно-аппаратных средств для повышения качества процесса воздействия посредством учета многослойной структуры исследуемого материала и технических параметров излучателей.*

*Авторами приведена основная оптимизационная задача поиска рациональных параметров действия лазерного луча на многослойный микробиологический материал с учётом ограничений на результирующее температурное поле материала для контроля за использованием технических ресурсов излучателей и обеспечения жизнеспособности сегментов микробиологического материала. Важно отметить, что для осуществления расчета и оптимизации температуры лазерного воздействия, а также технических параметров излучателей в связи с многослойным строением исследуемого объекта авторы предлагают использовать систему нестационарных, неоднородных, многомерных дифференциальных уравнений теплопроводности с соответствующими начальными, граничными и условиями сопряжения в слоях материала.*

*Отмеченные особенности требуют значительных временных затрат при реализации процедуры решения серии краевых задач и обеспечения итерационного процесса поиска рациональных параметров теплового воздействия. Поэтому реализацию этой процедуры 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 лазера.*

**Ключевые слова:** *программно-аппаратные средства, автоматизация, основная оптимизационная задача, краевые задачи*

## **OPTIMIZATION OF BIOTECHNOLOGICAL SYSTEMS**

*D. Levkin, O. Makarov, V. Kashyna*

**Abstract.** *The article considers the issues of software and hardware development for the automatization of the design of multilayer biotechnological systems that contain sources of thermal load, including sources of scanned laser radiation. The object of the authors' research is a multilayer microbiological material under the action of laser radiation sources.*

*The purpose of the study is to develop principles for building software and hardware to improve the quality of the action process by taking into account the multilayer structure of the material under study and the technical parameters of the emitters.*

*The authors present the main optimization problem of finding rational parameters of laser beam action on multilayer microbiological material taking into account restrictions on the resulting temperature field of the material to control the use of technical resources of emitters and ensure the viability of segments of microbiological material. It should be stated that to calculate and optimize the temperature of the laser, as well as the technical parameters of the radiators, in connection with the multilayer structure of the object, the authors propose to use a system of non-stationary, inhomogeneous, multidimensional differential equations of thermal conductivity with appropriate initial, boundary and conjugation conditions. layers of microbiological material.*

*These features require significant time in the implementation of the procedure for solving a series of boundary value problems and providing an iterative process of finding rational parameters of thermal exposure. Therefore, it is advisable to implement this procedure on a specialized network analog or hybrid model. This will significantly reduce the time to solve edge problems at each iteration, which will increase the accuracy of solving the entire problem of finding laser parameters.*

**Key words:** *software and hardware, automation, basic optimization problem, boundary value problems*