

КРАВЦОВ А. Г.

<https://orcid.org/0000-0003-3103-6594>e-mail: kravcov_84@ukr.net

ЛЕВКІН Д. А.

<https://orcid.org/0000-0002-1980-4426>e-mail: dimalevkin23@gmail.com

БЕРЕЖНА Н. Г.

<https://orcid.org/0000-0001-8740-3387>e-mail: bereg_nat@ukr.net

Державний біотехнологічний університет

МЕТОДИКА КОНТРОЛЮ МОЖЛИВИХ РИЗИКІВ У РОЗВ'ЯЗАННІ ПРИКЛАДНИХ ЗАДАЧ

В статті розроблені математичні моделі та вдосконалені обчислювальні методи в частині врахування специфіки модельованих процесів для прогнозування та контролю можливих ризиків з метою підвищення ефективності розв'язання прикладних задач. Авторами запропонована методика управління технологічними інноваціями для підвищення ефективності функціонування складних систем. В якості демонстрації її універсальності в статті здійснені розрахунок і оптимізація технічних параметрів лазерних випромінювачів для підвищення швидкості і точності лазерного поділу ембріона. У зв'язку з технічними характеристиками випромінювачів і особливостями геометрії ембріона, для опису стану модельованої системи застосовані нелокальні крайові задачі систем багатовимірних, нелінійних диференціальних рівнянь теплопровідності. Для доказу умов існування і єдиності їх розв'язку використані методи з теорії диференціальних рівнянь в просторі узагальнених функцій. Це дозволило гарантувати коректність розрахункових і прикладних оптимізаційних математичних моделей.

Авторами сформована сіткова модель дискретизації оптимізованих параметрів, розв'язані крайові задачі, використовуючи метод спрямованого перебору локальних екстремумів, виконане порівняння травмованості клітин, яка досягається в вузлових точках сіткової моделі. З метою підвищення точності оптимізації здійснене подрібнення кроків сіткової моделі. Подрібнення і поточковий аналіз травмованості клітин ембріона продовжується до поки не буде вичерпаний час, відведений на оптимізацію, чи не буде досягнута задана точність оптимізації. На думку авторів статті, проведені дослідження дали змогу розширити коло задач економіко-математичного моделювання з прогнозування і контролю можливих ризиків для підвищення ефективності розрахунку і оптимізації управляючих параметрів складних систем.

Ключові слова: прогнозування, контроль, ризики, оптимізація, крайові задачі, економіко-математичне моделювання.

ANDRII KRAVTSOV, DMYTRO LEVKIN, NATALIJA BEREZHNAJA
State Biotechnological University

POSSIBLE RISKS CONTROL METHODOLOGY IN SOLVING APPLIED PROBLEMS

The article deals with developed mathematical models and improved computational methods in terms of taking into account the specifics of the simulated processes to predict and control possible risks in order to increase the efficiency of solving applied problems. The authors propose a method of technological innovations managing to improve the efficiency of complex systems. As a demonstration of its universality, the article calculates and optimizes the technical parameters of laser emitters to increase the speed and accuracy of laser separation of the embryo. Due to the technical characteristics of the emitters and the geometry of the embryo, nonlocal boundary value problems of systems of multidimensional, non-linear differential equations of thermal conductivity are used to describe the state of the simulated system. Methods from the theory of differential equations in the space of generalized functions are used to prove the conditions of existence and the uniqueness of their solution. This allowed to guarantee the correctness of computational and applied optimization mathematical models.

The authors have formed a grid model of discretization of optimized parameters, solved boundary value problems using the method of directed search of local extremums, compared to the trauma of cells, which is achieved at the nodes of the grid model. In order to increase the accuracy of optimization, the steps of the grid model were ground. Grinding and spot analysis of embryonic cell injury continues until the time allotted for optimization is exhausted or the specified optimization accuracy is achieved. According to the authors of the article, the research allowed to expand the range of tasks of economic and mathematical modeling for forecasting and control of possible risks to improve the efficiency of calculation and optimization of control parameters of complex systems.

Keywords: forecasting, control, risks, optimization, boundary value problems, economic and mathematical modeling.

Постановка проблеми у загальному вигляді

та її зв'язок із важливими науковими чи практичними завданнями

Одним із завдань сучасної теорії економіко-математичного моделювання є розробка математичних моделей і методів прогнозування та контролю можливих ризиків для збільшення швидкості і точності розв'язання прикладних задач. Це можливо досягти за рахунок об'єднання досліджень тих науковців, які займаються розв'язанням споріднених задач. Таким чином, необхідно запропонувати методологічний підхід стосовно до розрахунку і оптимізації управляючих параметрів пристроїв, які забезпечують функціонування певних процесів: лазерного зварювання біоматеріалу, ділення натуральної шкіри. Методологічний підхід, який базується на вже відомих математичних моделях та обчислювальних методах, в залежності від

обраного досліджуваного процесу може бути застосований для розрахунку управляючих параметрів будь-яких складних систем. Розвиток інформаційних технологій і широке застосування автоматизованих систем керування в практично всі сфери діяльності людини дозволяє майже миттєво реалізувати деякі етапи алгоритму за рахунок застосування комп'ютерів. Точність розрахунку параметрів процесів досягається за рахунок великої кількості ітерацій з побудови і розв'язання крайових задач, які описують стан модельованих систем. Отже, на етапі математичного моделювання за рахунок збільшення швидкості і точності розрахунку управляючих параметрів складних систем можливо збільшити точність розв'язання прикладних задач економіко-математичного моделювання, що дасть змогу розширити коло прикладних задач економіко-математичного моделювання.

Аналіз досліджень та публікацій

На основі здійсненого авторами даної статті всебічного детального аналізу наукових публікацій, які стосуються тематики управління технологічними інноваціями для прогнозування та контролю можливих ризиків при розв'язанні прикладних задач, виділені наукові публікації [1–11]. В статтях [1–3] розв'язані задачі прогнозування, виявлення та контролю можливих ризиків для підвищення ефективності товарообігу аграрних підприємств в умовах ринкової економіки. Детально досліджені питання розрахунку та оптимізації технічних систем з метою підвищення ефективності функціонування деяких технологічних процесів [4–6]. В публікаціях [7, 8] побудовані математичні моделі і вдосконалені чисельні методи з метою уточнення технічних характеристик пристроїв для забезпечення кріоконсервації ембріонів в рідкому азоті. Математичне моделювання та оптимізація складних систем для збільшення якості функціонування деяких біотехнологічних процесів виконані в публікаціях [9, 10]. Авторами статті [11] досліджені деякі аспекти побудови та реалізації розрахункових математичних моделей, а також їх застосування для розв'язання прикладних задач.

На думку авторів статті, з метою підвищення швидкості і точності розв'язання прикладних задач необхідно запропонувати цілісний (для споріднених процесів) підхід, який буде базуватися на математичних моделях і обчислювальних методах. Результати застосування запропонованої методики використані для розрахунку та оптимізації біотехнологічних систем.

Формлювання цілей статті

Метою роботи є запропонувати методику прогнозування і контролю можливих ризиків у розв'язанні прикладних задач економіко-математичного моделювання.

Виклад основного матеріалу

З урахуванням інформації про час та потужність лазерної дії на ембріон, просторову форму ембріона, коефіцієнти теплопровідності, температуропровідності та густини в шарах мікробіологічного об'єкта, система диференціальних рівнянь з крайовою задачею, яка описує стан модельованої біотехнологічної системи має вид:

$$\begin{cases} 5.46 \frac{\partial T_1}{\partial t} = 0.71 \left(\frac{\partial^2 T_1}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_1}{\partial r} \right) + 55.02, \text{ при } r \in [20; 50], t \in [400; 2250]; \\ 5.13 \frac{\partial T_2}{\partial t} = 0.91 \left(\frac{\partial^2 T_2}{\partial r^2} + \frac{2}{r} \frac{\partial T_2}{\partial r} \right) + 452.4, \text{ при } r \in [50; 60], t \in [2250; 2500]. \end{cases} \quad (1)$$

Граничні умови на зовнішній оболонці (зоні пелюцида) та в клітинах зародків, на початку і наприкінці, відповідно, термічної дії:

$$\begin{cases} T(0; 0) = 100 \text{ } ^\circ\text{C}; \\ T(53; 2550) = 37 \text{ } ^\circ\text{C}. \end{cases} \quad (2)$$

Граничні умови питомого теплового потоку на зоні пелюцида:

$$-0,67 \frac{\partial T_1}{\partial r}(0, t) = 4,4. \quad (3)$$

Рівності розділу в шарах ембріона:

$$T_1(20; 400) = T_2(50; 2500), -0,71 \frac{\partial T_1}{\partial r} = -0,96 \frac{\partial T_2}{\partial r}. \quad (4)$$

Рівності неперервності температурних полів в зоні пелюцида та в клітинах зародків:

$$\begin{cases} T(20; 400 - 0) = T(20; 400 + 0); \\ T(50; 2500 - 0) = T(50; 2500 + 0). \end{cases} \quad (5)$$

Крайова задача (1)–(5) коректна в просторі функцій степеневого зростання, оскільки система (1) є збуренням рівняння теплопровідності, при чому, символ збуреного диференціального оператора підлеглий символу оператора рівняння теплопровідності.

Провівши редукцію розмірності технічних параметрів випромінювачів, сформувавши рівномірну сіткову модель дискретизації потужності та часу лазерної дії. Будемо шукати розв'язок диференціального

рівняння теплопровідності з системи (1) у виді степеневого ряду:

$$u(r) = \left(\sum_{k=0}^{\infty} c_k r^{k-1} \right) e^{ct}. \quad (6)$$

Застосувавши метод відокремлених змінних, отримали два диференціальні рівняння:

$$v'(t) = cv(t), \quad (7)$$

$$u''(r) + \frac{2}{r} u'(r) = \frac{c}{a} u(r). \quad (8)$$

Розв'язок рівняння (7) знайти не складно ($v(t) = e^{ct}$) тоді, як для розв'язання рівняння (8) потрібно побудувати характеристичний поліном:

$$\lambda^2 + \lambda = 0 \quad (9)$$

Провівши алгебраїчні обчислення отримали розв'язок рівняння з системи (1) для зони пелюцида і клітин зародків, відповідно:

$$T_1(r, t) = \left(\sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k r^{2k-1}}{(0,13)^k ((2k)!!)^2} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k r^{2k}}{(0,13)^k ((2k+1)!!)^2} \right) e^{ct} - 70,5r^2, \quad (10)$$

$$T_2(r, t) = \left(\sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k r^{2k-1}}{(0,18)^k ((2k)!!)^2} + \sum_{k=0}^{\infty} \frac{c^k r^{2k}}{(0,18)^k ((2k+1)!!)^2} \right) e^{ct} - 419r^2. \quad (11)$$

Методом невизначених коефіцієнтів обчислили температуру лазерної дії на зону пелюцида ($92,4 \text{ } ^\circ\text{C}$) і клітини зародків ($61,7 \text{ } ^\circ\text{C}$). Для розрахунку травмованості клітин скористалися формулою:

$$V_{\text{segm.}} = \frac{\pi \left(r_1 h_1 - \frac{h_1^3}{3} \right)}{138430,7\pi}, \quad (12)$$

де r_1, h_1 – відрізки просторової координати розподілу температури.

Покроковий аналіз травмованості, яка досягається в вузлах крупної рівномірної сітки (вузли сітки відповідають значенням потужності і часу лазерної дії на ембріон) провели методом спрямованого перебору локальних екстремумів температурного поля. Отримали, що в вузлах рівномірної сіткової моделі травмованість зародків становить від 8% до 20%. З метою пошуку оптимальних значень потужності і часу термічної дії на ембріон здійснене подрібнення кроків сіткової моделі і процес пошуку і спрямованого перебору локальних екстремумів повторюється до поки не буде вичерпаний час, відведений на оптимізацію або не буде досягнута задана точність оптимізації. Після проведених ітерацій з розв'язання крайових задач і покрокового аналізу локальних екстремумів температурного поля, отримали раціональні значення потужності (110 мВт) і часу лазерної дії (3 мкс) на ембріон, за якими травмованість клітин зародків становить 8,4%. На заключному етапі оптимізації управляючих параметрів процесу виводяться оптимальні значення технічних параметрів, температури нагріву зони пелюцида і клітин зародків. Математичне моделювання та оптимізація інших складних систем розглядалися в публікаціях авторів [12–14].

Висновки з даного дослідження і перспективи подальших розвідок у даному напрямі

У статті запропонована та детально досліджена методика розв'язання прикладних задач економіко-математичного моделювання з прогнозування та контролю можливих ризиків для підвищення ефективності розрахунку і оптимізації управляючих параметрів складних систем. Авторами застосована методика для збільшення швидкості і точності біотехнологічного процесу лазерного поділу ембріона. Відзначимо, що у разі вибору іншого досліджуваного об'єкта зазнають зміни математичні моделі і обчислювальні методи, які входять до побудованої структури, але набір структурних елементів в запропонованій методиці можливо залишити без змін.

References

1. Babenko V. Aspects of program control over technological innovations with consideration of risks / V. Babenko, O. Nazarenko, I. Nazarenko, O. Mandych, M. Krutko // Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2018. – Vol. 3. No. 4 (93): Mathematics and Cybernetics applied aspects. – P. 6–14. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2018.133603>
2. Levkina R.V. The economic-mathematical model of risk analysis in agriculture in conditions of uncertainty / R.V. Levkina, I.I. Kravchuk, I.V. Sakhno, K.M. Kramarenko, A.A. Shevchenko // Financial and credit activity: problems of theory and practice. – 2019. – Vol. 3. No. 30. – P. 248–255.
3. Potyshniak O. Assessment of the effectiveness of the strategic management system of investment activities of companies / O. Potyshniak, L. Dobuliak, V. Filippov, Y. Malakhovskiy, O. Lozova // Academy of Strategic Management Journal. – 2019. – Vol. 18. Issue. 4. – Pp. 1–5.
4. Scoblo T.S. Features of the carbide phase degradation under heating and deformation / T.S. Scoblo, O.Y. Klochko, V.N. Romanchenko, E.L. Belkin // Letters on Materials. – 2021. – Vol. 11. No. 1. – P. 22–27. <https://doi.org/10.22226/2410-3535-2021-1-22-27>
5. Vojtov V.A. Criteria for evaluation of tribus system practices and its communication with tribological characteristics / V.A. Vojtov, A.SH. Bekirov, A.V. Voitov // Problems of Tribology. – 2018. – Vol. 88. No. 2. – P. 35–42.

6. Vojtov V.A. Running-in Procedures and Performance Tests for Tribosystems / V.A. Vojtov, A.Sh. Biekirov, A.V. Voitov, B.M. Tsymbal // *Journal of Friction and Wear*. – 2019. – Vol. 40. Issue. 5. – P. 376–383. <https://doi.org/10.3103/S1068366619050192>
7. Shakhova Yu.Yu. Use of multicomponent cryoprotective media during cryopreservation of murine embryos by vitrification / Yu.Yu. Shakhova, A.P. Paliy, A.P. Paliy, V.O. Shigimaga, V.M. Kis, V.I. Ivanov // *Problems of Cryobiology and Cryomedicine*. – 2020. – Vol. 30. No. 2. – P. 203–206. <https://doi.org/10.15407/cryo30.02.203>
8. Smolyaninova Y.I. Electric conductivity and resistance of mouse oocyte membranes to effect of pulsed electric field in cryoprotectant solutions / Y.I. Smolyaninova, V.A. Shigimaga, A.A. Kolesnikova, L.I. Popivnenko, A.F. Todrin // *Problems of Cryobiology and Cryomedicine*. – 2018. – Vol. 28. No. 4. – P. 311–321. <https://doi.org/10.15407/cryo28.04.311>
9. Paliy A.P. Species composition of microbiota of cows udder and raw milk quality at mastitis / A.P. Paliy, Y.S. Ulko, O.O. Bogomolov, L.V. Kis-Korkishchenko, M.D. Kambur, A.A. Zamazyi et al. // *Ukrainian journal of ecology*. – 2020. – Vol. 10. No. 4. – P. 78–85. DOI: 10.15421/2020_171
10. Levkina R. Current approaches to biotechnology in animal husbandry / R. Levkina, A. Petrenko, N. Kolomiets // *International Journal of Advanced Science and Technology*. – 2020. – Vol. 29. Issue. 8 Special issue. – P. 2463–2469.
11. Asrorov F. Finding of bounded solutions to linear impulsive systems / F. Asrorov, V. Sobchuk, O. Kurylko // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2019. – Vol. 6. No. 4 (102): Mathematics and Cybernetics - applied aspects. – P. 14–20. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2019.178635>
12. Skoblo T.S. Influence of Stresses on Structural Changes in Gray Cast Iron / T.S. Skoblo, O.I. Sidashenko, O.V. Saichuk, O.Yu. Klochko, D.A. Levkin // *Materials Science*. – 2020. – Vol. 56. No. 3. – P. 347–358. <https://doi.org/10.1007/s11003-020-00436-8>
13. Kravtsov A. Development of a rheological model of stress relaxation in the structure of an oil film on the friction surface with fullerene additives / A. Kravtsov, A. Suska, A. Biekirov, D. Levkin // *Eastern-European Journal of Enterprise Technologies*. – 2021. – Vol. 3. No. 7 (111): Applied mechanics. – P. 93–99. <https://doi.org/10.15587/1729-4061.2021.235468>
14. Volkov V. Determining the efficient management system for a specialized transport enterprise / V. Volkov, I. Taran, T. Volkova, O. Pavlenko, N. Berezhnaja // *Scientific Bulletin of National Mining University*. – 2020. – Vol. 4. – P. 185–191. <https://doi.org/10.33271/nvngu/2020-4/185>

Рецензія/Peer review : 26.01.2022 р.

Надрукована/Printed : 27.02.2022 р.