

Міністерство освіти і науки України
Харківський національний університет радіоелектроніки

ЛЕВКІН ДМИТРО АРТУРОВИЧ



УДК 519.6:001.5

**МАТЕМАТИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ТА ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ ДІЇ
ЛАЗЕРНОГО ПРОМЕНЯ НА БАГАТОШАРОВІ БІОСИСТЕМИ**

01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи

Автореферат
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків – 2016

Дисертацією є рукопис.

Робота виконана у Харківському національному технічному університеті сільського господарства ім. П. Василенка, Міністерство освіти і науки України.

Науковий керівник: доктор технічних наук, професор
Мегель Юрій Євгенович,
Харківський національний технічний університет
сільського господарства ім. П. Василенка,
завідувач кафедри кібернетики.

Офіційні опоненти: доктор технічних наук, професор
Комяк Валентина Михайлівна,
Національний університет цивільного захисту
України, професор кафедри фізико-математичних
дисциплін;

доктор технічних наук, професор
Смеляков Кирило Сергійович,
Харківський університет повітряних сил
ім. І. Кожедуба, професор кафедри математичного
та програмного забезпечення АСУ.

Захист відбудеться «07» червня 2016 р. о 14:30 годині на засіданні спеціалізованої вченої ради Д 64.052.02 у Харківському національному університеті радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України за адресою: 61166, м. Харків, пр. Науки 14.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці Харківського національного університету радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України за адресою: пр. Науки 14, м. Харків, 61166.

Автореферат розісланий «06» травня 2016 р.

Вчений секретар
спеціалізованої вченої ради
кандидат технічних наук, доцент



Л.В. Колесник

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність теми. Успішне розв'язання задач розрахунку і оптимізації фізичних полів у багатошарових системах, які знаходяться під впливом зосереджених рухомих джерел, включаючи скановані джерела лазерного випромінювання, вимагає розробки і дослідження відповідних адекватних математичних моделей. Забезпечення цього дозволить розширити арсенал ефективних засобів аналізу та оптимізації такого типу складних систем.

Система, що розглядається в даній роботі, є багатошаровим мікробіологічним матеріалом, на який діє лазерне випромінювання для здійснення його сегментації (ділення, розкрою). При цьому ставиться основна задача: оптимізація параметрів теплової дії лазера за відповідними обмеженнями з забезпеченням життєздатності сегментів матеріалу.

Така постановка основної задачі може використовуватись для підвищення якості процесу ділення штучної і натуральної шкіри при лікуванні великих опіків, зварювання біоматеріалу, ділення ранніх елітних ембріонів, з метою їх подальшої трансплантації, використання методики в практиці мікрохірургії, офтальмології, косметології і інших галузях.

Наукова актуальність цієї проблеми і її практична значущість привертали увагу до цих питань багатьох вчених: Бутковського А.Г., Комяк В. М., Макарова О. А., Мацевітого Ю. М., Мегеля Ю.Є., Путятіна В. П., Рвачева В. Л., Слесаренка А. П., Смелякова К. С., Сметанкіної Н. В., Стояна Ю. Г., Чубарова Є. П., Яковлева С. В., Antinori S., Panci C., Obruca A., Douglas D. H., Rienzi L., Nagy Z. P., Rink K., Delacretaz G.

Проте, отримані на сьогодні результати досліджень носять, в основному, вузькопрофесійний характер і задача не розглядалася в цілому. Для її цілісного розгляду необхідно запропонувати міждисциплінарний підхід, який би базувався на останніх досягненнях теорії математичного моделювання, математичної фізики, теплофізики, теорії розрахунку та оптимізації багатошарових систем, методів управління рухомою дією в системах з розподіленими параметрами. Розвитку цього напрямку і присвячена дана дисертаційна робота.

Зв'язок роботи з науковими програмами, планами, темами. Дисертаційна робота виконана відповідно до науково-дослідної роботи та дослідно-конструкторської роботи Харківського національного технічного університету сільського господарства ім. Петра Василенка, де виконувалися науково-технічні роботи за темами: «Моделювання процесу теплового нагріву багатошарового біологічного об'єкта» (довідка впровадження від 21.12.2012 р., № 21-1-7/268); «Розробка методів лазерного ділення ембріонів великої рогатої худоби» (довідка впровадження від 12.04.2013 р., № 0206U000717); «Розробити і оптимізувати системи клонування, химеризації, гібридизації та біофізичної оцінки якості ооцитів, ембріонів і репродуктивної функції самців» (довідка впровадження від 12.03.2014 р., № 0111U003445); «Результати експериментальних досліджень по впливу ЕМП КВЧ діапазону на біологічні об'єкти» (акт впровадження від 4.06.2015 р., № 0104U003721).

Мета і задачі дослідження. Метою дослідження є розробка математичних моделей, чисельних методів, алгоритмів і спеціалізованих моделюючих пристроїв для підвищення якості біотехнологічного процесу лазерної сегментації багатошарового мікробіологічного матеріалу за критерієм життєздатності його частин.

Для досягнення поставленої мети в роботі необхідно вирішити такі основні задачі.

1. Провести аналіз існуючих біотехнологічних процесів лазерної сегментації мікробіологічного матеріалу в мікробіології, медицині та ветеринарії.

2. Удосконалити математичну модель основної оптимізаційної задачі пошуку раціональних значень параметрів теплової дії на багатошаровий мікробіологічний матеріал в частині врахування специфіки імпульсного теплового впливу лазера на мікробіологічного матеріалу складної структури.

3. На основі існуючої математичної моделі основної оптимізаційної задачі пошуку раціональних значень параметрів теплової дії запропонувати прикладні оптимізаційні моделі і шляхи їх ефективних чисельних реалізацій.

4. Розглянути часткові випадки основної задачі і відповідні прикладні математичні моделі для оптимізації параметрів теплової дії на багатошаровий мікробіологічний матеріал.

5. Обґрунтувати і апробувати чисельні методи реалізації прикладних математичних моделей оптимізації параметрів теплової дії та провести чисельну реалізацію математичної моделі задачі мінімізації об'ємів термічно травмованих клітин біологічного об'єкту.

6. Розробити принципи створення програмно-апаратних засобів для автоматизації досліджень прикладних оптимізаційних математичних моделей.

Об'єкт дослідження – теплофізичний процес дії лазерного променя на багатошаровий мікробіологічний матеріал.

Предмет дослідження – математичні моделі розрахунку та оптимізації параметрів біотехнологічного процесу лазерної сегментації багатошарового мікробіологічного матеріалу за критерієм життєздатності його сегментів.

Методи дослідження – методи математичного моделювання систем з розподіленими параметрами для формалізації задач оптимізації параметрів лазерної дії на біоматеріал; 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 і оптимізації систем з розподіленими параметрами.

Наукова новизна отриманих результатів. Проведені в дисертаційній роботі дослідження дозволили запропонувати та теоретично обґрунтувати чисельні, програмні та апаратні засоби для реалізації процесу моделювання і оптимізації основних параметрів теплової дії лазера на багатошаровий мікробіологічний матеріал з урахуванням вимоги забезпечення життєздатності сегментованих частин біоматеріалу. В рамках розв'язання цієї основної задачі отримані наступні результати:

1. Удосконалена математична модель основної оптимізаційної задачі, що є багатовимірною, нестационарною, нелінійною і багатоекстремальною задачею оптимізації параметрів процесу лазерної локальної теплової дії на багатошаровий мікробіологічний матеріал з урахуванням обмежень на результуюче температурне поле біоматеріалу. Здійснена формалізація і систематизація прикладних задач оптимізації, які є частковими випадками основної оптимізаційної задачі. Досліджені характерні особливості їх математичних моделей, що дозволило обґрунтовано здійснити вибір методів їх чисельної та програмно-апаратної реалізації.

2. Вперше досліджена багатоточкова крайова задача для багатошарового мікробіологічного середовища і доведена коректність такої задачі за малими збуреннями. Цей результат дозволяє гарантувати адекватність розрахункових та прикладних оптимізаційних математичних моделей, що описують процес дії променя лазера на багатошарові (N-шарові) мікробіологічні матеріали.

3. Удосконалено пошуковий метод оптимізації основних параметрів дії лазерного променя в частині врахування специфіки параметрів сканованих лазерних джерел та математичних моделей, що заснований на композиції послідовно вживаних чисельних методів, які створюють обчислювальну структуру. Запропонована структурна схема базового алгоритму для реалізації обчислювальної структури. Це дозволяє при чисельній реалізації прикладних оптимізаційних моделей змінювати тільки композицію чисельних методів у відповідних обчислювальних структурах.

4. Отримали подальший розвиток методи і засоби програмно-апаратної реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей пошуку раціональних значень технічних параметрів лазерного випромінювання для багатошарового мікробіологічного матеріалу. Запропоновані спосіб та два пристрої для реалізації математичних моделей, що дає можливість підвищити ефективність (за витратами часу і пам'яті) реалізації цих моделей та дозволяє за рахунок застосування функціонально-орієнтованих блоків для реалізації підзадач підвищити точність розв'язання прикладних задач.

Практичне значення отриманих результатів. Одержані результати можуть бути застосовані для: підвищення якості процесу ділення штучної і натуральної шкіри при лікуванні великих опіків; зварювання біоматеріалу; ділення ранніх елітних ембріонів, з метою подальшої трансплантації частин ембріонів; використання в практиці мікрохірургії, офтальмології, косметології і інших галузях.

Впровадження математичних моделей, чисельних методів, алгоритмів і програмно-апаратних спеціалізованих моделюючих пристроїв підтверджується довідками та актами про їх використання в: Департаменті фінансово-кредитної політики та бухгалтерського обліку Міністерства аграрної політики і продовольства України (довідка впровадження від 21.12.2012 р.); на Племінному заводі «Червоний велетень» (довідка впровадження від 12.04.2013 р.); Лівобережному Лісостеповому Науково-Інноваційному Центрі НААН (довідка впровадження від 12.03.2014 р.); Науково-дослідному технологічному інституті Харківського національного технічного університету

сільського господарства ім. Петра Василенка (акт впровадження від 10.04.2014 р.); Інституті проблем кріобіології і кріомедицини НАН України (акт впровадження від 4.06.2015 р.).

Особистий внесок здобувача. Всі результати дисертаційної роботи отримано автором особисто та опубліковано в роботах [1 – 18]. У роботах, опублікованих у співавторстві, дисертанту належать такі результати: у роботах [1, 2, 8] доведена адекватність розрахункової математичної моделі; у роботі [4] автором на основі поверхнево-об'ємного співвідношення запропонований розрахунок об'єму клітини з урахуванням нерівностей мембрани клітини; у патенті [9] на корисну модель автором запропонована апаратна реалізація математичної моделі процесу дії лазера на багатошаровий мікробіологічний матеріал; у патенті [10] на корисну модель автором запропонована апаратна реалізація математичної моделі процесу дії лазерного променя на ембріон, з урахуванням неоднорідної, багатовимірної, нестационарної, нелінійної структури останнього; у патенті [11] на корисну модель автором запропонований спосіб і його реалізація для аналізу теплового стану ембріона, що піддається точковій дії лазерного променя; у [12] автором розглянуті особливості побудови розрахункової математичної моделі для багатошарового (3-х шарового) мікробіологічного об'єкта (ембріона); у [13] для знаходження основних коефіцієнтів системи рівнянь теплопровідності для багатошарового кулястого біоматеріалу з неоднорідними включеннями автором проведені математичні розрахунки, що лежать в основі математичної моделі ймовірностної електропорації мембрани клітини; у [14] автором здійснений аналіз методів ділення ранніх елітних ембріонів в племінному тваринництві та на його основі зроблений висновок про переваги використання саме лазерного випромінювання для забезпечення процесу ділення.

Апробація результатів дисертації. Основні положення дисертаційної роботи доповідалися й обговорювалися на: Міжнародній науковій конференції «Наукова періодика слов'янських країн в умовах глобалізації», секція «Математичне моделювання – прикладні аспекти» (Київ, 2012 р.); науково-практичній конференції «Наукові підсумки 2012 р.», секція «Математичне моделювання – прикладні аспекти» (Харків, 2012 р.); 55-й науковій конференції МФТІ «Молекулярная и биологическая физика», секція високопродуктивних обчислювальних систем (Москва, 2012 р.); II Міжнародній науково-технічній конференції «Обчислювальний інтелект (ОІ – 2013)», секція «Інформаційні технології та математичне моделювання» (Черкаси, 2013 р.).

Публікації. За темою дисертації опубліковано 18 робіт [1 – 18] із них 6 статей [2 – 7] – в спеціалізованих виданнях України за технічними науками, 2 статті [1, 8] – у наукових журналах інших видань України, 3 патенти [9 – 11] України на корисні моделі, 3 статті [12 – 14] в закордонних виданнях, 4 публікацій [15 – 18] – матеріали і тези міжнародних наукових та науково-практичних конференцій.

Структура роботи. Дисертація складається із вступу, п'яти розділів, висновків, списку використаних джерел і одного додатку (5 с.). Загальний обсяг

дисертації 174 сторінки, у тому числі 18 рисунків (15 с.), 3 таблиці (2 с.), список використаних джерел з 163 найменувань (17 с.).

ОСНОВНИЙ ЗМІСТ РОБОТИ

Вступ містить обґрунтування актуальності роботи, формулювання мети, об'єкта, предмета і задач дослідження, сукупність наукових результатів, що виносяться на захист, відомості про їх апробацію та реалізацію.

Розділ 1. Стан проблеми та постановка нових задач дослідження. Аналіз наукових публікацій показав, що існуючі нечисленні математичні моделі задач розрахунку і оптимізації параметрів дії лазерного випромінювання на багат шарові мікробіологічні матеріали розглядалися раніше за принципом: математична модель під конкретну задачу. При цьому математичним моделям оптимізації параметрів дії лазерного випромінювання присвячено відносно мало праць і пов'язано це, перш за все, з необхідністю та складністю розв'язання специфічних, багатовимірних, багатоекстремальних задач. Причому, стан об'єкта дослідження (багат шаровий мікробіоматеріал під дією лазерного випромінювання) описується крайовою задачею для системи диференціальних рівнянь з частинними похідними (система з розподіленими параметрами). У розділі формулюється змістовна постановка основної оптимізаційної задачі та прикладних задач, що є частковими випадками основної.

Розділ 2. Умови коректності крайової задачі для багат шарового мікробіологічного середовища. З метою забезпечення адекватності розрахункових математичних моделей (крайових задач), що описують процес дії лазерного променя, запропоновано метод дослідження задачі Коші для системи збурених псевдодиференціальних рівнянь. На основі цього визначені та обґрунтовані умови коректності вказаної задачі. Отримані результати дозволяють застосувати вказаний вище метод для коректної постановки крайової задачі теплопровідності, яка є основою розрахункової математичної моделі, наприклад, для кулястого біоматеріалу з неоднорідними включеннями. Це дає можливість гарантувати існування і єдиність розв'язку даної крайової задачі.

Досліджені умови коректності багатоточкових крайових задач для багат шарового середовища. На основі цього зроблено висновок про те, що дана крайова задача коректна в просторах Собольова-Слободецького за достатньо малими обуреннями. Це гарантує адекватність реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей.

Основні результати другого розділу опубліковано у роботах [1, 2, 8].

Розділ 3. Математична модель основної оптимізаційної задачі та її застосувань. В роботі запропоновано спосіб параметричного представлення розв'язку крайової задачі залежно від змінних параметрів дії лазерного променя на багат шаровий мікробіологічний матеріал. Таким шуканим вектором параметрів лазера є вектор $z^* = (u, E, s, v, Q, S)$, де u – інтенсивність джерела

лазерного променя, тобто пята; E – енергія теплового впливу на багат шаровий мікробіологічний матеріал; s – траєкторія руху лазерного джерела; v – швидкість руху джерела; Q – густина теплового впливу; S – діаметр лазерного джерела. У загальному випадку деякі перелічені параметри залежать від часу t та обмежені відповідними умовами їх зміни. На такі параметри, як u , E , s, v, Q , S можуть накладатися порівняльно прості двосторонні умови їх зміни. Параметр s траєкторії руху джерела теплової дії вважається заданим та попередньо визначається, наприклад, для ембріонів, виходячи зі структури розташування зародків ембріона.

Здійснена формалізація основної оптимізаційної задачі пошуку раціональних значень параметрів теплової дії на мікробіоматеріал. В загальному випадку, цільова функція має вигляд:

$$T = T(x, y, z, t, z^*), \quad (1)$$

де $T(x, y, z, t, z^*)$ – температурне поле;

$(x, y, z) \in \Omega$ – область багат шарового (N-шарового) мікробіологічного матеріалу;

t_0 – початковий момент часу t ;

t^* – кінцевий момент часу t ;

z^* – вектор параметрів теплової дії лазера на багат шаровий (N-шаровий) мікробіологічний матеріал.

Таким чином, необхідно знайти

$$\underset{\substack{(x, y, z) \in \Omega^* \\ t \in [t_0; t^*] \\ z^* \in Z}}{extr} T(x, y, z, t, z^*), \quad (2)$$

де Z – область допустимих значень шуканих параметрів z^* лазера, яка описується системою відповідних обмежень.

Тобто, необхідно знайти такі параметри вектора z^* , які б забезпечували виконання екстремуму (2) в області Ω . Ними будуть

$$z_0^* = \arg \underset{\substack{(x, y, z) \in \Omega^* \\ t \in [t_0; t^*] \\ z^* \in Z}}{extr} T(x, y, z, t, z^*), \quad (3)$$

де z_0^* – вектор параметрів лазера.

Досліджені особливості математичної моделі основної оптимізаційної задачі та прикладних математичних моделей.

1. Даний клас систем (багатошарові мікробіологічні матеріали, на які діє промінь лазера) відноситься до класу систем з розподіленими параметрами. Це обумовлено тією обставиною, що процес дії променя лазера на матеріал, в загальному випадку, описується системою нестационарних, багатовимірних диференціальних рівнянь теплопровідності з частинними похідними.

За класифікацією систем з розподіленими параметрами А.Г. Бутковського, розглянуті нами системи (навіть в лінійній постановці крайових задач), відносяться до класу з індексами (3.1.2), де перший параметр – розмірність просторової області Ω^* біоматеріалу, в якій визначена функція T (температурного поля) даної задачі, другий параметр – найвищий порядок похідної функції T по незалежній часовій змінній t (час) в основному рівнянні задачі, а третій параметр – найвищий порядок похідної функції T по просторовій змінній в основному рівнянні задачі.

2. Розмірність простору шуканих параметрів залежить від числа змінних характеристик теплової дії на багатошарові мікробіологічні матеріали: потужність, радіус пляма променя лазера, швидкість руху пляма, його траєкторія переміщення та ін. До цих параметрів додатково додається число та координати точок контролю температурного поля багатошарового мікробіологічного матеріалу.

3. Цільові функції в прикладних оптимізаційних математичних моделях є нестационарними, нелінійними, багатовимірними. Крім того, обчислення значень функцій мети вимагає багаторазового розв'язання відповідних крайових задач.

4. Система обмежень, що накладається на межі зміни шуканих параметрів, в загальному випадку, є нелінійною. Число обмежень залежить від числа шуканих (змінних) параметрів. При цьому найбільш трудомісткими обмеженнями, за витратами часу на їх аналіз, є нелінійні обмеження на температурне поле багатошарового мікробіологічного матеріалу. Це пов'язано з необхідністю багатократного розв'язання крайової задачі для аналізу відповідних обмежень.

5. Область допустимих розв'язків, в загальному випадку, багатозв'язна. Це витікає вже з того, що мікробіологічний матеріал може мати складну просторову форму з наявністю областей заборони на проходження трас розподілу матеріалу (зони заборони).

6. На основі приведених вище особливостей, можна зробити висновок про те, що, з одного боку, даний клас задач відноситься до задач управління багатовимірними системами з розподіленими параметрами (див. першу особливість), а з іншого – до неklasичних задач нелінійного математичного програмування. При цьому зведення задачі управління до задачі математичного програмування здійснюється вже на етапі чисельної реалізації, після застосування процедури просторово-часової апроксимації.

7. Багатоекстремальність даних задач оптимізації обумовлена приведеними особливостями пунктів 3 – 5, що утрудняє пошук оптимального розв'язку (глобального екстремуму). На практиці частіше за все зупиняються на раціональному (рекордному) значенні цільової функції.

8. Число локальних екстремумів залежить від розмірності простору шуканих параметрів, просторової форми початкової області ділення біоматеріалу, просторових форм областей заборони на траєкторії пересування променя лазера.

9. Враховуючи те, що в загальному випадку дані крайові задачі є багатовимірними, нелінійними і нестационарними, то розраховувати на використання відповідних аналітичних розв'язків не доводиться. Ці труднощі необхідно долати на основі застосування чисельних методів.

10. З обчислювальної точки зору основна специфіка чисельної реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей полягає в тому, що для організації процедур пошуку і спрямованого перебору локальних екстремумів необхідне багатократне розв'язання відповідних крайових задач для кожної ітерації. Це, у свою чергу, вимагає значних часових витрат цифрових ПЕОМ і тим самим знижує точність розв'язку оптимізаційної задачі в цілому.

11. Відзначимо, що одним з шляхів подолання складнощів (див. пункти 9 і 10 особливостей) чисельної реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей, є застосування спеціалізованих аналогових або аналого-цифрових (гібридних) сіткових процесорів.

Далі у цьому розділі розглянуто одинадцять прикладних задач, для яких запропоновані відповідні математичні моделі. Наведемо приклади двох задач оптимізації та їх математичні моделі.

Приклад 1. Необхідно мінімізувати, за параметрами теплової дії лазерного променя, максимальне значення температурного поля в області багат шарового біологічного матеріалу. Тобто знайти такі параметри z^* теплової дії лазера, щоб забезпечити ділення матеріалу і при цьому

$$\min_{z^* \in Z} \max_{\substack{(x,y,z) \in \Omega^* \\ t \in [t_0; t^*]}} T(x, y, z, t, z^*), \quad (4)$$

де Z – область допустимих значень шуканих параметрів z^* лазера, яка описується відповідною системою обмежень.

Приклад 2. У разі, коли достатньо мати об'ємну характеристику життєздатних зародків, наприклад, при діленні ембріона, то така постановка задачі приводить до пошуку та максимізації відсотка K життєздатності зародків:

$$K = \frac{V_{\text{сегм.бл.}}(T)}{V_1} \times 100\%, \quad (5)$$

При цьому: $V_{\text{сегм.бл.}}(T)$ – об'єм опроміненого сегмента зародків багат шарового (3-х шарового) мікробіологічного об'єкта (ембріона); V_1 – об'єм слою зародків.

У свою чергу, об'єм опроміненого сегмента багат шарового мікробіологічного об'єкта (ембріона) можливо знайти за наступною формулою

$$V_{\text{сегм.бл.}}(T) = \pi \left(r_1 h_1^2 - \frac{h_1^3}{3} \right), \quad (6)$$

При цьому: r_1 – глибина проникнення лазерного променя в зародки; h_1 – відрізок просторової координати r_1 .

Крім того, для оцінки локального нагріву зародків повинна виконуватися наступна система:

$$V_{\text{сегм.бл.}}(T) = \begin{cases} V_{\text{сегм.1}}, & \text{якщо } T_i > T^*; \\ V_{\text{сегм.2}}, & \text{якщо } T_i \leq T^*, \end{cases} \quad (7)$$

де $V_{\text{сегм.1}}$ – об'єм термічно-травмованого сегмента зародків;

$V_{\text{сегм.2}}$ – об'єм життєздатних зародків.

Необхідно також врахувати, що T_i – значення температурного поля в точках зародків, T^* – допустима температура в точках, що належать зародкам.

Виходячи зі співвідношень (5) – (7), справедлива наступна математична модель оптимізації шуканих параметрів:

$$\left\{ \begin{array}{l} K \rightarrow \min_{\substack{(x_i, y_i, z_i) \in \Omega_i \in \Omega \\ t \in [t_0; t^*] \\ z^* \in Z \\ i=1, N}}, \quad \text{якщо } V_{\text{сегм.бл.}}(T) = V_{\text{сегм.1}}; \\ K \rightarrow \max_{\substack{(x_i, y_i, z_i) \in \Omega_i \in \Omega \\ t \in [t_0; t^*] \\ z^* \in Z \\ i=1, N}}, \quad \text{якщо } V_{\text{сегм.бл.}}(T) = V_{\text{сегм.2}}. \end{array} \right. \quad (8)$$

При цьому: $V_{\text{сегм.1}}$ – об'єм термічно-травмованого сегмента зародків; $V_{\text{сегм.2}}$ – об'єм життєздатного сегмента зародків; $(x_i, y_i, z_i) \in \Omega_i \subset \Omega^*, i=1, \dots, N$ – область зародків багат шарового (3-х шарового) мікробіологічного об'єкта (ембріона) Ω ; z^* – вектор шуканих параметрів дії лазера на зародки; Z – область допустимих значень шуканих параметрів z^* лазера, яка описується відповідною системою обмежень.

Наведені у розділі 3 особливості даних прикладних математичних моделей дають необхідну інформацію для обґрунтування чисельного метода їх реалізації.

Основні результати третього розділу опубліковано у роботах [12, 16, 17].

Розділ 4. Чисельна реалізація математичних моделей. У розділі запропоновано та досліджено модифікацію пошукового метода оптимізації, який

враховує особливості математичних моделей та базується на композиції чисельних методів, що створюють обчислювальну структуру. Наведемо базовий алгоритм, який складається з: введення вихідних даних: просторової форми мікробіоматеріалу; геометричних розмірів мікробіоматеріалу; кроків дискретизації мікробіоматеріалу; коефіцієнтів, що входять у постановку вихідної крайової задачі; параметрів обчислювального процесу для чисельної реалізації крайової задачі; параметрів обчислювального процесу для чисельної реалізації крокового методу оптимізації; критеріїв припинення пошуку локального екстремуму й перебору локальних екстремумів.

Далі задається перше наближення компонентів вектора z^* параметрів теплового впливу. Ця вихідна інформація може бути сформована на основі експертного оцінювання результатів застосування подібної лазерної технології та погоджена з можливостями застосовуваних існуючих технічних засобів.

Після цього здійснюється аналіз виконання заданої системи обмежень на компоненти вектора z^* параметрів теплового впливу.

Якщо обмеження на параметри не виконуються, то здійснюється повернення до попереднього блоку завдання вихідних значень параметрів теплового впливу й процес повторюється.

Якщо обмеження виконуються і технічні засоби дозволяють забезпечити завдання цих значень параметрів, то здійснюється перехід до наступного блоку розв'язку відповідної крайової задачі.

Для цього на основі попередньо заданих вихідних даних здійснюється формування й розв'язання крайової задачі, що описує температурне поле в мікробіоматеріалі при впливі на нього лазерного променя.

Далі, відповідно до виду цільової функції математичної моделі задачі оптимізації, здійснюється пошук і аналіз локальних екстремумів цільової функції.

Отримані значення локальних екстремумів аналізуються за наперед заданим критерієм припинення пошукового процесу перебору локальних екстремумів.

Якщо відповідний критерій виконується, то процес оптимізації припиняється й на виході фіксується рекордне значення цільової функції, а також відповідний рекордний вектор z^* раціональних параметрів теплового впливу лазера на мікробіоматеріал.

Якщо критерій припинення пошукового процесу перебору локальних екстремумів не виконується, то здійснюється завдання (корекція) нових значень параметрів лазерного впливу й далі обчислювальний процес повторюється.

Наведемо результати чисельної реалізації сітково-крокової оптимізації параметрів (потужність-час теплового впливу) дії лазера на ембріон за критерієм життєздатності його зародків. Відзначимо, що наведений вище базовий алгоритм оптимізації параметрів лазерної дії на мікробіологічні матеріали значно спрощується, якщо серед всіх шуканих параметрів виділити основні, а значення інших задати або виходячи з експертного оцінювання, або на основі заданих обмежень. З метою зменшення термічної травмованості

ембріона розглянемо оптимізацію основних параметрів (потужність і час теплового впливу) лазерного променя. Згідно з результатами роботи Douglas-Hamilton D. H. (Thermal effects in laser-assisted pre-embryo zona drilling // J. Biomed Opt. – 2001. – № 6(2). – pp. 205 – 213.), у якості першого наближення шуканих параметрів приймається: потужність в 140 мВт і тривалість 3 мкс теплової дії. З метою знаходження кращих значень основних параметрів сформуємо рівномірну сіткову модель (крупну рівномірну сітку) дискретизації потужності та часу теплової дії, узявши однією з вузлових точок, точку з координатами (140;3). Для розрахунку відсотка травмованості зародків ембріона при дії лазерного променя з величинами потужності та часу дії, що відповідають вузлам рівномірної сіткової моделі (крупної рівномірної сітки), застосуємо формулу (5). При цьому, для визначення об'єму сегмента опроміненних зародків скористаємося формулою (6). Для розрахунку об'єму опроміненого сегменту зародків ембріона використовується пошаровий розподіл температурних полів в ембріоні.

В результаті проведених розрахунків (таблиця) отримуємо, що у точці з координатами (140;3), зародки травмовані приблизно на 11%. Для пошуку більш раціональних значень параметрів теплової дії (потужність та час теплового впливу), забезпечуючих лазерну різку багат шарового (3-х шарового) мікробіологічного об'єкта (ембріона) проведемо подрібнення крупної рівномірної сітки. Використовуючи формули (5), (6), розраховуємо травмованість зародків ембріона у вузлах подрібненої рівномірної сітки. При цьому, якщо серед точок подрібненої рівномірної сітки є хоча б одна точка з кращим значенням контролюючого критерію, ніж точка, що вказана в роботі Douglas-Hamilton D. H., то обчислювальний процес переноситься в цю точку. Подрібнення сітки може продовжуватися та поточковий аналіз вузлових точок повторюється. В таблиці 1 наведена термічна травмованість (у %) зародків ембріона в залежності від потужності (мВт) та часу (мкс) дії лазерного променя.

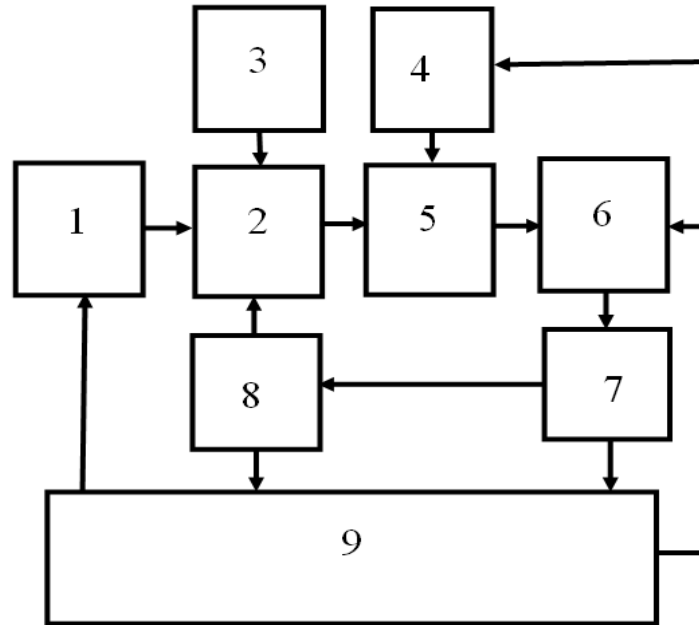
Таблиця 1 – Термічна травмованість (у %) зародків ембріона в залежності від потужності (мВт) та часу (мкс) дії лазерного променя

| Технічні параметри: | Варіанти: | | | | | |
|------------------------------|-----------|-----|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Потужність W (мВт) | 135 | 140 | 110 | 150 | 160 | 164 |
| Час t (мс) | 3 | 3 | 4 | 3 | 3 | 3 |
| Енергія E (мДж) | 405 | 420 | 440 | 450 | 480 | 492 |
| Номер вузла № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| Травмованість Υ (%) | 10 | 11 | 11,4 | 12,1 | 12,6 | 13,4 |

З таблиці 1 видно, що у вузлі подрібненої рівномірної сітки, в якому досягається потужність 135 мВт та час дії лазера 3 мкс, забезпечується покращене значення критерію життєздатності зародків ембріона (10% травмованості). При цьому зменшується їх термічна травмованість (на 1%).

Основні результати четвертого розділу опубліковано у роботах [3 – 7], [13 – 15, 18].

Розділ 5. Апаратна реалізація математичних моделей. На основі узагальнення апаратних реалізацій математичних моделей (за матеріалами патентів [9 – 11]), запропонована та обґрунтована основна структура і склад блоків апаратної реалізації математичних моделей (рис. 1) для моделювання процесу дії лазерного променя на багат шаровий мікробіологічний матеріал.



- 1 – блок задання параметрів сіткової моделі області матеріала;
- 2 – сіткова модель області матеріала;
- 3 – блок задання початкових, граничних умов та умов спряження;
- 4 – блок задання допустимих значень температурного поля;
- 5 – блок порівняння;
- 6 – блок розрахунку параметрів лазера;
- 7 – блок пошуку раціональних параметрів лазера;
- 8 – блок задання параметрів лазера;
- 9 – блок задання та реєстрації інформації.

Рисунок 1 – Концептуальна структура апаратної реалізації математичних моделей (за матеріалами патентів [9 – 11])

Це дозволяє: збільшити коло задач моделювання; розширити функціональні можливості існуючих технічних засобів моделювання; запропонувати шляхи автоматизації процесу моделювання. Окрім того це дає можливість скоротити часові витрати (в порівнянні з ПЕОМ) за рахунок: відсутності етапу створення відповідного програмного забезпечення; застосування аналогових сіткових процесорів для розв'язання серії крайових задач; паралельності виконання окремих етапів алгоритму. У даному розділі наведена порівняльна оцінка часових витрат ПЕОМ, запропонованих моделюючих пристроїв [9 – 10] та способу [11], яка дорівнює $\pm 8\%$.

Основні результати п'ятого розділу опубліковано у роботах [9 – 11].

ВИСНОВКИ

Запропоновані математичні моделі, чисельні методи, алгоритми, а також спеціалізовані моделюючі пристрої для реалізації відповідних математичних моделей є подальшим розвитком методів математичного моделювання і програмно-апаратних засобів, що дозволяють автоматизувати процес міждисциплінарного дослідження математичних моделей теплового впливу сканованих джерел лазерного випромінювання на багат шарові мікробіологічні об'єкти. Крім того, це дає можливість здійснити ефективне розв'язання важливих прикладних задач, пов'язаних з оптимізацією теплофізичних процесів в мікробіологічних системах. За наслідками проведеного дослідження можна зробити такі основні висновки.

1. Вперше запропонована математична модель основної оптимізаційної задачі, що є багатовимірною, нестационарною, нелінійною і багатоекстремальною задачею оптимізації параметрів процесу лазерної локальної теплової дії на багат шаровий мікробіологічний матеріал з урахуванням обмежень на результуюче температурне поле біоматеріалу. Здійснена формалізація і систематизація прикладних задач оптимізації, які є частковими випадками основної оптимізаційної задачі. Досліджені специфічні особливості їх математичних моделей, що дозволило обґрунтовано здійснити вибір методів їх чисельної та програмно-апаратної реалізації.

2. Вперше з метою побудови адекватних оптимізаційних математичних моделей обґрунтована адекватність розрахункових математичних моделей, що описують процес дії променя лазера на багат шарові (N-шарові) мікробіологічні матеріали. З цією метою досліджена багатоточкова крайова задача для багат шарового мікробіологічного середовища і доведена коректність такої задачі за малими збуреннями. Цей результат дозволяє гарантувати адекватність прикладних оптимізаційних математичних моделей.

3. Удосконалено пошуковий метод оптимізації основних параметрів дії лазерного променя в частині врахування специфіки параметрів сканованих лазерних джерел та математичних моделей, що заснований на композиції послідовно вживаних чисельних методів, створюючих обчислювальну структуру. Запропонована структурна схема базового алгоритма для реалізації обчислювальної структури. Це дозволяє при чисельній реалізації прикладних оптимізаційних моделей змінювати тільки композицію чисельних методів у відповідних обчислювальних структурах.

4. Отримали подальший розвиток методи і засоби програмно-апаратної реалізації прикладних оптимізаційних математичних моделей пошуку раціональних значень технічних параметрів лазерного випромінювання для багат шарового мікробіологічного матеріалу. Запропоновані спосіб та два пристрої для реалізації математичних моделей, що дає можливість підвищити ефективність (за витратами часу і пам'яті) реалізації цих моделей та дозволяє за рахунок застосування функціонально-орієнтованих блоків для реалізації підзадач підвищити точність розв'язання прикладних задач.

5. Розроблені в дисертаційній роботі математичні моделі, чисельні методи і програмно-апаратні засоби, дозволяють автоматизувати міждисциплінарне дослідження, як математичних моделей, так і самого процесу взаємодії лазерного випромінювання з багатошаровим мікробіологічним матеріалом.

6. Апробація та впровадження математичних моделей, чисельних методів, алгоритмів і програмно-апаратних засобів здійснена в Департаменті фінансово-кредитної політики та бухгалтерського обліку Міністерства аграрної політики і продовольства України (довідка впровадження від 21.12.2012 р.), на Племінному заводі «Червоний велетень» (довідка впровадження від 12.04.2013 р.), Лівобережному Лісостеповому Науково-Інноваційному Центрі НААН (довідка впровадження від 12.03.2014 р.), Науково-дослідницькому технологічному інституті ХНТУСХ ім. Петра Василенка (акт впровадження від 10.04.2014 р.), Інституті проблем кріобіології і кріомедицини НАН України (ІПКіК НАН України) (акт впровадження від 4.06.2015 р.).

7. Розроблені математичні моделі, чисельні методи, алгоритми і спеціалізовані обчислювальні пристрої підвищують якість процесу ділення штучної та натуральної шкіри при лікуванні великих опіків, використовуються для зварювання біоматеріалу, ділення ранніх елітних ембріонів, з метою їх трансплантації, а також можуть бути використані в практиці мікрохірургії, офтальмології, косметології та інших галузях.

СПИСОК ОПУБЛІКОВАНИХ ПРАЦЬ ЗА ТЕМОЮ ДИСЕРТАЦІЇ

1. Макаров А. А. Задача Коши для експоненціально-корректних псевдодифференціальних операторов / А. А. Макаров, Д. А. Левкин. // Вісник Харківського національного університету імені В. Н. Каразіна. Серія «Математика, прикладна математика і механіка» – 2012. – Вип. 64, № 990. – С. 42 – 47..

2. Мегель Ю. Е. Математическая модель теплового нагрева многослойного микробиологического объекта / Ю. Е. Мегель, Д. А. Левкин. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 3/4 (57). – С. 4 – 8.

3. Левкин Д. А. Аналитическое решение уравнения теплопроводности для многослойного микробиологического объекта / Левкин Д. А. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 4/4 (58). – С. 29 – 32.

4. Шигимага В. А. Математическое моделирование мембраны в связи с проводимостью клетки в различных растворах / Шигимага В. А., Левкин Д. А., Мегель Ю. Е. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2012. – № 4/4(58) – С. 32 – 35.

5. Левкин Д. А. Расчет распределения температуры в многослойной структуре эмбриона / Левкин Д. А. // Восточно-Европейский журнал передовых технологий. – 2013. – № 1/4 (58). – С. 18 – 21.

6. Левкін Д. А. Математичні моделі оптимізації параметрів дії лазерного променя на багатошарові біосистеми / Левкін Д. А. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія

«Механіко-технологічні системи та комплекси». – 2014. – № 60 (1102). – С. 77 – 84.

7. Левкин Д. А. Результаты математического моделирования распределения температуры в многослойном биообъекте / Левкин Д. А. // Системи обробки інформації. – 2015. – Вип. 8 (133). – С. 93 – 96.

8. 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». – 2014. – Вип. 69, № 1120. – С. 64 – 74.

9. Пат. 87678 Україна, МПК А61D 19/02. Пристрій для моделювання дії лазера на багатошаровий мікробіологічний матеріал / Путятін В. П., Мегель Ю. Є., Левкін Д. А.; замовник та патентовласник Харків. нац. техн. ун-т сільськ. госп. ім. П. Василенка. – № у 2013 11617; заявл. 02.10.2013; опубл. 10.02.2014, Бюл. № 3.

10. Пат. 87570 Україна, МПК А61D 19/02. Пристрій для моделювання ембріона, що опромінюється лазером / Путятін В. П., Мегель Ю. Є., Левкін Д. А.; замовник та патентовласник Харків. нац. техн. ун-т сільськ. госп. ім. П. Василенка. – № у 2013 10964; заявл. 13.09.2013; опубл. 10.02. 2014, Бюл. № 3.

11. Пат. 87569 Україна, МПК А61D 19/02. Спосіб аналізу теплового стану ембріона, що опромінюється лазером / Путятін В. П., Мегель Ю. Є., Левкін Д. А.; замовник та патентовласник Харків. нац. техн. ун-т сільськ. госп. ім. П. Василенка. – № у 2013 10963; заявл. 13.09.2013; опубл. 10.02. 2014, Бюл. № 3.

12. 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. – Мотрол – LUBLIN – RZESZOV, 2013. – Vol. 15, No 7. – pp. 68 – 73.

13. Measuring and modeling assessments conductivity cell: Proceedings 23th National scientific symposium “Metrology and metrology assurance 2013”, (Sozopol, Bulgaria, 9-13.09.2013) / [Y. E. Megely, V. A. Shigimaga, D. A. Levkin, I. I. Kalimanova и др]. – Sozopol, Bulgaria, 2013. – pp. 260 – 267.

14. Мегель Ю. Є. Аналіз методів ділення ембріонів та їх використання в племінному тваринництві / [Ю. Є. Мегель, В. П. Путятін, А. В. Левкін, Д. А. Левкін] // MOTROL. Commission of Motorization and Energetics in Agriculture. – Мотрол – LUBLIN – RZESZOV, 2014. – Vol. 16, No. 7. – pp. 134 – 139.

15. Левкин Д. А. Исследование уравнения теплопроводности для эмбриона / Д. А. Левкин // Технологический аудит и резервы производства. – Київ. – 2012. – № 5/2 (7). – С. 33 – 34. – (по матер. конференції «Наукова періодика слов'янських країн в умовах глобалізації»).

16. Левкин Д. А. Математическая модель распределения температуры в эмбрионе / Д. А. Левкин // Технологический аудит и резервы производства. – Харків. – 2012. – № 6/3(8). – С. 29 – 31. – (по матер. конференції «Наукові підсумки 2012»).

17. Левкин Д. А. Математические методы повышения жизнеспособности эмбриона при тепловом воздействии лазера / Д. А. Левкин // Молекулярная и биологическая физика: материалы 55-й научн. конф., 19-25 ноября 2012 г., Москва–Долгопрудный–Жуковский. – Москва: МФТИ, 2012. – С. 52 – 53.

18. Левкин Д. А. Математическое моделирование процесса распределения температуры по клеткам бластомера в эмбрионе / Д. А. Левкин // Обчислювальний інтелект (ОІ –2013): матеріали другої міжн. наук.-техн. конф., 14–17 травня 2013 р., м. Черкаси. – Черкаси: Маклаут, 2013. – С. 384 – 385.

АНОТАЦІЯ

Левкін Д.А. Математичне моделювання та оптимізація параметрів дії лазерного променя на багатошарові біосистеми. – На правах рукопису.

Дисертація на здобуття наукового ступеня кандидата технічних наук за спеціальністю 01.05.02 – математичне моделювання та обчислювальні методи. – Харківський національний університет радіоелектроніки Міністерства освіти і науки України, Харків, 2016.

Для побудови адекватних оптимізаційних математичних моделей, обґрунтована адекватність розрахункових математичних моделей, що описують процес дії променя лазера на багатошарові (N-шарові) мікробіологічні матеріали. З цією метою досліджена багатоточкова крайова задача для багатошарового мікробіологічного середовища і доведена коректність такої задачі за малими збуреннями. Цей результат дозволяє гарантувати адекватність прикладних оптимізаційних математичних моделей. Запропонована математична модель основної оптимізаційної задачі, що є багатовимірною, нестационарною, нелінійною і багатоекстремальною задачею оптимізації параметрів процесу лазерної локальної теплової дії на багатошаровий мікробіологічний матеріал з урахуванням обмежень на результуюче температурне поле біоматеріалу. Здійснена формалізація і систематизація прикладних задач оптимізації, які є частковими випадками основної оптимізаційної задачі. Досліджені специфічні особливості їх математичних моделей, що дозволило обґрунтовано здійснити вибір методів їх чисельної та програмно-апаратної реалізацій. Удосконалено пошуковий метод оптимізації основних параметрів дії лазерного променя в частині врахування специфіки параметрів сканованих лазерних джерел та математичних моделей, що заснований на композиції послідовно вживаних чисельних методів, створюючих обчислювальну структуру.

Ключові слова: крайові задачі, оптимізаційні моделі, адекватність, коректність, реалізація моделей, лазер, сегментація, мікробіологічний матеріал.

АННОТАЦИЯ

Левкин Д.А. Математическое моделирование и оптимизация параметров действия лазерного луча на многослойные биосистемы. – На правах рукописи.

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 01.05.02. – математическое моделирование и вычислительные методы. – Харьковский национальный университет радиоэлектроники Министерства образования и науки Украины, Харьков, 2016.

Целью диссертационной работы является разработка математических моделей, численных методов, алгоритмов и специализированных моделирующих устройств, повышающих качество биотехнологического процесса лазерной сегментации многослойного микробиологического материала по критерию жизнеспособности.

Объектом исследования является теплофизический процесс действия лазерного луча на многослойный микробиологический материал.

Предметом исследования являются математические модели расчёта и оптимизации параметров биотехнологического процесса лазерной сегментации многослойного микробиологического материала по критерию жизнеспособности его сегментов.

Проведённые исследования позволили предложить способ для реализации моделирования и оптимизации основных параметров теплового воздействия на многослойный микробиологический материал с учётом требования обеспечения жизнеспособности сегментируемых частей биоматериала. В рамках решения этой основной задачи получены следующие результаты.

Впервые предложена математическая модель основной оптимизационной задачи, представляющей собой многомерную, нестационарную, нелинейную и многоэкстремальную задачу оптимизации параметров процесса лазерного локального теплового воздействия на многослойный микробиологический материал с учетом ограничений на результирующее температурное поле биоматериала.

Осуществлена формализация и систематизация прикладных задач оптимизации, которые являются частными случаями основной оптимизационной задачи. Исследованы особенности их математических моделей, что позволило обосновано осуществить выбор методов их численной и программно-аппаратной реализаций.

Впервые, с целью построения адекватных оптимизационных математических моделей, обоснована адекватность расчётных математических моделей, описывающих процесс действия луча лазера на многослойные (N-слойные) микробиологические материалы.

С этой целью исследована многоточечная краевая задача для многослойной микробиологической среды и доказана корректность такой задачи при малых возмущениях. Этот результат позволяет гарантировать адекватность прикладных оптимизационных математических моделей.

Усовершенствован поисковый метод оптимизации, учитывающий специфику параметров сканируемых лазерных источников и математических моделей, который основанный на композиции последовательно применяемых численных методов, образующих вычислительную структуру.

Предложен базовый алгоритм для реализации вычислительной структуры. При этом численная реализация прикладных оптимизационных математических моделей требует изменения только лишь композиции численных методов в соответствующих вычислительных структурах.

Получили дальнейшее развитие методы и средства программно-аппаратной реализации прикладных оптимизационных математических моделей поиска рациональных значений технических параметров лазерного излучения для многослойного микробиологического материала. Предложен способ и два устройства для реализации математических моделей, что даёт возможность повысить эффективность (по затратам времени и памяти) реализации этих моделей и позволяет за счет применения функционально-ориентированных блоков для реализации подзадач повысить точность решения прикладных задач.

Практическое значение полученных результатов состоит в следующем. Разработанные в диссертационной работе математические модели, численные методы и программно-аппаратные средства моделирования, позволяют автоматизировать междисциплинарное исследование, как математических моделей, так и самого процесса взаимодействия лазерного излучения с многослойным микробиологическим материалом.

Кроме того, это даёт возможность осуществить применение указанных средств для повышения качества биотехнологического процесса деления искусственной и натуральной кожи при лечении обширных ожогов, сварки биоматериала, деления ранних элитных эмбрионов, с целью их последующей трансплантации, использовать в практике микрохирургии, офтальмологии, косметологии и других отраслях.

Внедрение математических моделей, численных методов, алгоритмов и программно-аппаратных специализированных моделирующих устройств подтверждается справками и актами об их использовании в Департаменте финансово-кредитной политики и бухгалтерского учета Министерства аграрной политики и продовольствия Украины (справка внедрения от 21.12.2012 г.), на Племенном заводе «Червоний велетень» (справка внедрения от 12.04.2013 г.), Левобережном Лесостеповом Научно-Инновационном Центре НААН (справка внедрения от 12.03.2013 г.), Научно-исследовательском технологическом институте Харьковского национального технического университета сельского хозяйства им. Петра Василенка (акт внедрения от 10.04.2014 г.), Институте проблем криобиологии и криомедицины НАН Украины (ИПКиК НАН Украины) (акт внедрения от 4.06.2015 г.).

Ключевые слова: краевые задачи, оптимизационные модели, адекватность, корректность, реализация моделей, лазер, сегментация, микробиологический материал.

ABSTRACT

Levkin D.A. Mathematical design and optimization of parameters of action of laser ray on the multi-layered biosystems. – The manuscript.

The thesis is presented for scientific degree of candidate of technical sciences, speciality 01.05.02 – mathematical modeling and computational methods. – Kharkiv National University of Radio Electronics, Ministry of Education and Science of Ukraine, Kharkov, 2016.

For the construction of adequate optimization mathematical models, reasonable adequacy of calculation mathematical models that describe the process of action of ray of laser on (N-layer) microbiological laminates. To that end a multidrop regional task for a multi-layered microbiological environment and well-proven correctness of such task are investigational after small indignations. This result allows to guarantee adequacy of the applied optimization mathematical models. Offered mathematical model of basic optimization task that is the multidimensional, non-stationary, nonlinear and multi-extreme task of optimization of parameters of process of the laser local thermal operating on a microbiological laminate taking into account limits on the resulting temperature field of biomaterial. Realizable formalization and systematization of the applied tasks of optimization, that are the partial cases of basic optimization task. Investigational specific features them mathematical models, that allowed reasonably to carry out the choice of methods them numeral and software-hardware realization. The searching method of optimization of basic parameters of action of laser ray is improved in part of taking into account of specific parameters of the scanned laser sources and mathematical models, that based on composition consistently the used numeral methods formative a calculable structure.

Keywords: regional tasks, optimization models, adequacy, correctness, realization of models, laser, segmentation, microbiological material.