

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Приладобудівний факультет
Кафедра виробництва приладів**

«На правах рукопису»
УДК 621.831.6

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

«__» _____ 20__ р.

Магістерська дисертація

на здобуття ступеня магістра

**зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна
техніка**

на тему: «Метод фоторегенерації біологічних тканин організму»

Виконала:

студентка VI курсу, групи ПБ-62м

Грибанова Ірина Олександрівна _____

Керівник:

Ст.н.с., доцент, к.т.н.

Клочко Т.Р. _____

Консультант з розробки стартап проекту:

Доцент, к.е.н.

Бояринова К.О., _____

Рецензент:

Професор, професор, д.т.н.

Безвесільна О.М. _____

Засвідчую, що у цій магістерській
дисертації немає запозичень з праць
інших авторів без відповідних
посилань.

Студентка _____

Київ – 2018 року

Національний технічний університет України
«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Приладобудівний факультет

Кафедра виробництва приладів

Рівень вищої освіти – другий (магістерський) за освітньо-науковою програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 152 Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка (Біомедична вимірвальна техніка)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

«__» _____ 20__ р.

ЗАВДАННЯ
на магістерську дисертацію студенту
Грибановій Ірині Олександрівні

1. Тема дисертації «Метод фоторегенерації біологічних тканин організму», науковий керівник дисертації Ключко Тетяна Реджинальдівна, ст.н.с, к.т.н., затверджені наказом по університету від «23» березня 2018 р. №1006-С
2. Термін подання студентом дисертації 18 травня 2018 р.
3. Об'єкт дослідження: методологія впливу низькоінтенсивним лазерним випромінюванням на процес регенерації структур живого організму.
4. Предмет дослідження: температурні зміни опромінених тканин з довжинами хвиль $\lambda = 530$ нм, $\lambda = 460$ нм у комплексі з $\lambda = 630$ на прикладі експериментальної моделі фантома біологічних тканин.
5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1) Провести порівняльний аналіз існуючих методів і систем лікувального впливу електромагнітним випромінюванням на структури біологічних організмів. 2) Розробити та дослідити метод щодо підвищення ефективності лікувального впливу електромагнітного інтегрованого випромінювання використовуючи розроблений фантом. 3) Створити та досліджувати аналітичну модель формалізованого опису розподілу енергетичних перетворень електромагнітного випромінювання при розповсюдженні в біологічній тканині. 4) Створити експериментальний зразок фантому для використання при наукових дослідженнях та метод регенерації біотканин.

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: зображення вихідної періодичної послідовності прямокутних імпульсів, зображення експериментального зразку фантому, режими випромінювання, діаграми зміни температури експериментального зразка до і після опромінення одним із режимів.

7. Орієнтовний перелік публікацій: наукова стаття в фаховому виданні, наукова стаття, патент на корисну модель, 1 теза на міжнародній конференції.

8. Консультанти розділів дисертації

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Теоретичний	Клочко Т.Р., доцент		
Експериментальний	Клочко Т.Р., доцент		
Розроблення стартап-проекту	Бояринова К.О., доцент		

9. Дата видачі завдання 23 березня 2018 р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел	23.03.2018	
2	Постановка задачі дослідження	26.03.2018	
3	Розробка аналітичної моделі модуляції сигналу	02.04.2018	
4	Розробка експериментальної установки	9.04.2018	
5	Проведення експериментів	16.04.2018	
6	Обробка отриманих результатів	23.04.2018	
7	Підготовка ПЗ	07.05.2018	
8	Презентація	14.05.2018	

Студент

І.О. Грибанова

Науковий керівник дисертації

Т.Р. Клочко

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи: 99 сторінки.

Кількість ілюстрацій: 29 ілюстрацій.

Кількість таблиць: 37 таблиць.

Кількість джерел за переліком посилань: 48 джерел.

Актуальність теми

Поточні дослідження, щодо регенерації тканин живого організму при хромотерапії, демонструють хороші результати порівняно з стандартними методами лікування. Загоювання уражених, інфікованих тканин є складним, багаторівневим процесом. Саме тому, актуально використовувати лазерне випромінювання з метою пришвидшення регенерації пошкоджених, відкритих, поверхневих ділянок шкіри. Це дозволяє ввести у сферу невідкладної медичної допомоги, спортивну, військову та ін. апарати на основі використання такого типу лікування.

Наразі значна кількість дослідів проводиться із застосуванням червоного або інфрачервоного випромінювання [0]. Однак застосування оптичного випромінювання з довжинами хвиль $\lambda = 530$ нм, $\lambda = 470$ нм у комплексі з добре дослідженим випромінюванням $\lambda = 630$ нм може значно підвищити рівень такого лікування. Тому актуально дослідити вплив таких хвиль електромагнітного випромінювання, звертаючи увагу на розповсюдження теплових полів у представленому зразці та підібрати найбільш оптимальні режими для лікування порушень цілісності біологічних тканин. Причому згідно з дослідженнями [2] опромінення тканин слід проводити через день, так як фотостимуляція кожного дня дає такий самий терапевтичний ефект. Актуальним питанням також є пояснення тих фізіологічних процесів які відбуваються під дією лазерного випромінювання, яким чином відбувається

процес регенерації, на які структури живого організму впливає таке опромінення.

Проблема полягає у побудові ефективних режимів випромінювання тканин при пошкодженні останніх.

Мета дослідження: удосконалити існуючі методи регенерації біологічних тканин організму за рахунок експериментальних даних на спроектованому фантомі.

Необхідно виконати такі **задачі:**

1. Провести порівняльний аналіз існуючих методів і систем лікувального впливу електромагнітним випромінюванням на структури біологічних організмів для вибору доцільного шляху створення методу фоторегенерації тканин організму.
2. Створити та досліджувати аналітичну модель формалізованого опису розподілу енергетичних перетворень електромагнітного випромінювання при розповсюдженні в біологічній тканині.
3. Створити експериментальний зразок фантому для використання при наукових дослідженнях та метод регенерації біотканин.
4. Розробити та дослідити метод щодо підвищення ефективності лікувального впливу електромагнітного інтегрованого випромінювання використовуючи розроблений фантом.

Об'єктом дослідження в даній магістерській дисертації є методологія впливу низькоінтенсивним лазерним випромінюванням на процес регенерації структур живого організму.

Предмет дослідження: температурні зміни опромінених тканин з довжинами хвиль $\lambda = 530$ нм, $\lambda = 460$ нм у комплексі з $\lambda = 630$ на прикладі експериментальної моделі фантома біологічних тканин.

Наукова новизна одержаних результатів: вперше створено методику лікування поверхневих ран живого організму за допомогою використання НЛІВ модульованим імпульсним сигналом при обраних режимах випромінювання.

Вперше запропоновано технічні рекомендації для створення методики лікування.

Практичне значення одержаних результатів

Розробка технічних рекомендацій для лікування шкірних пошкоджень комбінованим випромінюванням низької інтенсивності використовуючи кілька довжин хвиль при обраних режимах випромінювання. Результати роботи вносять науковий вклад в дослідженні температурних змін спроектованого зразка фантома при використанні конкретних режимів випромінювання та можуть використовуватись у інших наукових дослідженнях.

Впровадження підтвердженні відповідним актом:

- акт впровадження в науково-дослідну роботу результатів магістерської дисертації Грибанової Ірини Олександрівни на тему «Метод фоторегенерації біологічних тканин організму» в спільних роботах з НТУУ «КПІ імені Ігоря Сікорського».

Апробація результатів дослідження

Основні положення та результати роботи доповідалися та обговорювалися на науково – технічних конференціях:

- XVII Міжнародна науково-технічна конференція “ПРИЛАДОБУДУВАННЯ: стан і перспективи” КПІ ім.Ігоря Сікорського, м. Київ, 15-16 травня 2018
- XI Всеукраїнська науково-практична конференція студентів та аспірантів «Погляд у майбутнє приладобудування» КПІ ім. Ігоря Сікорського, м. Київ, 15-16 травня 2018

Отримано патент на корисну модель, заявка №U201607314. Згідно з результатами досліджень подано статтю у фаховий журнал «ВІСНИК НТУУ «КПІ» серія приладобудування», Вип. 55 (1) 2018

Публікації

За темою магістерської дисертації опубліковано 4 наукові праці, серед них 1 стаття – у провідному фаховому виданні, 1 – у збірнику статей науково

практичної конференції і 1 теза доповідей, а також отримано 1 деклараційний патент на корисну модель. Список наукових праць наведено у *Додатку Б*.

Ключові слова: НИЗЬКОІНТЕНСИВНЕ ЛАЗЕРНЕ ВИПРОМІНЮВАННЯ, КОМБІНАЦІЯ ТРЬОХ ДОВЖИН ХВИЛЬ, РЕГЕНЕРАЦІЯ ТКАНИН, РЕЖИМИ ВИПРОМІНЮВАННЯ.

ABSTRACT

Workload: 99 pages.

Number of illustrations: 29 illustrations.

Number of tables: 37 tables.

Number of sources by the list of references: 48 sources.

Actuality of theme

Current studies on the regeneration of living tissue tissues in chromotherapy show good results compared to standard treatment methods. Healing of the affected, infected tissues is a complex, multilevel process. That is why it is important to use laser radiation to accelerate the regeneration of damaged, open, surface skin areas. This allows for the introduction of emergency medical care, sports, military, etc. devices based on the use of this type of treatment.

At present, a significant amount of experiments is carried out using red or infrared radiation [1]. However, the use of optical radiation with wavelengths of $\lambda = 530 \text{ nm}$ $\lambda = 470 \text{ nm}$, in combination with well-studied radiation of $\lambda = 630 \text{ nm}$ can significantly increase the level of such treatment. Therefore, it is important to investigate the effect of such waves of electromagnetic radiation, paying attention to the distribution of thermal fields in the presented sample and to select the most optimal regimes for the treatment of violations of the integrity of biological tissues. Moreover, according to studies [2], irradiation of tissues should be done every other day, since photostimulation every day gives the same therapeutic effect. An urgent question is also an explanation of those physiological processes that occur under the action of laser radiation, how the regeneration process takes place, on which structures of a living organism are affected by such radiation.

The problem is to build effective tissue emission regimes when the latter are damaged.

The purpose of the study: to improve the existing methods of regeneration of biological tissues of the body at the expense of experimental data on a projected phantom.

The following **tasks** must be performed:

1. To conduct a comparative analysis of existing methods and systems of therapeutic influence by electromagnetic radiation on structures of biological organisms in order to choose the appropriate way of creating a method of photoregeneration of body tissues.

2. To create and study the analytical model of the formal description of the distribution of energy transformations of electromagnetic radiation in distribution in biological tissue.

3. Create a prototype phantom for use in scientific research and a bio-regeneration method.

4. To develop and investigate a method for increasing the effectiveness of the therapeutic effects of electromagnetic integrated radiation using phantom developed.

The object of research in this master's thesis is the methodology of the influence of low-intensity laser radiation on the process of regeneration of structures of a living organism.

Subject of research: temperature changes of irradiated tissues with wavelengths $\lambda = 530$ nm, $\lambda = 460$ nm y комплексі з $\lambda = 630$ nm on the example of the experimental model of phantom of biological tissues.

Scientific novelty of the obtained results: for the first time the method of treatment of superficial wounds of a living organism was created with the help of the use of NILV by a modulated pulse signal at selected modes of radiation. For the first time, technical recommendations for the development of a treatment method are proposed.

The practical value of the results

Development of technical recommendations for the treatment of skin lesions by combined radiation of low intensity using several wavelengths at selected radiation

modes. The results of the research make a scientific contribution to the study of temperature changes of the projected phantom sample with the use of specific radiation modes and can be used in other scientific studies.

Introduction of confirmation by the relevant act:

- an act of introduction in the research work of the results of the master's thesis Gribanova Irina Oleksandrivna on the topic "Method of photoregeneration of biological tissues of the body" in joint work with NTUU "KPI named after Igor Sikorsky".

Approval of research results

The main provisions and results of work were reported and discussed at the scientific and technical conferences:

- VIVI International Scientific and Technical Conference "EQUIPMENT: status and prospects" Igor Sikorsky KPI, May 15-16, 2018, Kyiv

- XI All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students and Postgraduates "View to the Future of Instrumentation", Igor Sikorsky KPI, Kyiv, May 15-16, 2018

The patent for the utility model, application №U201607314 has been received. According to the results of the research, an article is published in the professional journal "Bulletin of NTUU" KPI "series of instrument making", Vip. 55 (1) 2018

Publications

On the theme of the master's thesis 4 scientific works were published, among them 1 article - in the leading professional edition, 1 - in the collection of articles of the scientific practical conference and 1 thesis of reports, and also 1 patent application for the utility model was received. The list of scientific works is given in Appendix B.

Key words: LOW-INTENSIVE LASER RADIATION, COMBINATION OF THREE LENGTH WAVES, TISSUE REGENERATION, RADIATION MODES.

ЗМІСТ

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ.....	13
ВСТУП.....	14
РОЗДІЛ I. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ.....	16
1.1 Огляд та аналіз літературних джерел за темою дослідження.....	16
1.2 Огляд сучасних промислових апаратів для фототерапії.....	23
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ I.....	33
РОЗДІЛ II. ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ ЖИВОГО ОРГАНІЗМУ	34
2.1 Будова шкірного покриву	34
2.2 Розповсюдження електромагнітного випромінювання в біотканині	37
2.3 Вплив низькоінтенсивного лазерного випромінювання на стан живого організму.....	39
2.4 Методи і характер впливу лазерним випромінюванням	40
2.5 Аналітична модель інтегрованого оптичного сигналу, що опромінює біологічний об'єкт	43
2.6 Показання та протипоказання до застосування низькоінтенсивного лазерного випромінювання.....	50
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ II	52
РОЗДІЛ III. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЗНАЧЕНИХ РЕЖИМІВ ОПРОМІНЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН.....	53
3.1 Методика лазерного опромінення спроектованого зразка фантому	53
3.2 Розрахунок параметрів інтегрованого випромінювання	62
3.3 Аналіз результатів дослідження.....	66
3.4 Технічні рекомендації для створення методики лікувального впливу ...	74
ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ III	75
РОЗДІЛ IV. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ «МЕТОД ФОТОРЕГЕНЕРАЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ОРГАНІЗМУ».....	76
4.1 Опис ідеї проекту	76
4.2 Технологічний аудит ідеї проекту	78
4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту.....	79
4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту	87
4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту.....	91

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ IV	96
ВИСНОВКИ	97
СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:.....	98

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ЦНС – центральна нервова система;

НІЛВ – низькоінтенсивне лазерне випромінювання

НІЛТ– низькоінтенсивна лазерна терапія

ЛТ – лазерна терапія

ІЧ – інфрачервоний спектр випромінювання

АІМ – амплітудо-імпульсна модуляція

ВСТУП

Важливою проблемою у медицині наразі є регенерація біологічних тканин організму. Регенерація – процес відновлення зруйнованих або втрачених частин тканин, органів. Регенерація буває фізіологічною і патологічною. Фізіологічна регенерація — це процес постійного відновлення клітин багатоклітинного організму. Особливо інтенсивно ці процеси проходять для клітин крові та епідермальних структур (епідерміс, волосся, нігті). Патологічна регенерація — це процес відновлення органів і тканин після їх пошкодження [3].

Наразі для відновлення тканин і органів використовують лікарські речовини, а застосування електромагнітного випромінювання є визнаним, високоефективним способом. У деяких випадках повністю регенерувати тканини організму за допомогою дії ліків неможливо, а негативний вплив медикаментозних засобів погіршує ситуацію, особливо якщо у пацієнта з'являються алергічні реакції.

Лазерна терапія – сучасний етап розвитку світлотерапії, але при використанні сучасних джерел світла – лазерів, що володіють такими цінними властивостями, як монохроматичність, когерентність, поляризованість. Дія низькоінтенсивного лазерного випромінювання на біологічні об'єкти неспецифічне, як наслідок цього, максимально універсальне. Саме лазерне світло не є терапевтичним агентом і нічого не лікує, а лише ініціює відповідну реакцію організму [4].

Під впливом лазерного випромінювання стимулюються процеси регенерації, кровотворення, прискорюється заживлення ран, опікових поверхонь, ураження слизової оболонки. Лазерне випромінювання має обезболюючу, протизапальну, судиннорозширюючу дію, покращує периферичний кровообіг [5].

Абсолютна безпека лазерного випромінювання доведена десятками тисяч досліджень, проведених на різних експериментальних і клінічних моделях в усьому світі.

Лазерна терапія впливає на біологічний об'єкт світлом (електромагнітним випромінюванням), покращує не тільки загальний стан організму в цілому, а й має місцеву дію. Численні дослідження доводять, що вплив лазерним випромінюванням надає сил, покращує резистивність імунітету, відбувається насичення крові киснем, поліпшується такий природний фізіологічний процес як сон та мікроциркуляція.

РОЗДІЛ I. АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

1.1 Огляд та аналіз літературних джерел за темою дослідження

За малий проміжок часу лазерні технології було впроваджено майже у всі галузі медицини. Спочатку їх почали використовувати у хірургічних цілях так як висока щільність потужності разом із високою спрямованістю випромінювання дає можливість використовувати лазер як скальпель. У подальшому область використання електромагнітного випромінювання значно збільшилась [6]. Наприкінці шістдесятих років минулого століття угорський лікар Ендре Местер (Endre Mester) почав серію експериментів для перевірки потенціалу лазерів, використовуючи низькоінтенсивний рубіновий лазер (694 нм) на мишах. Вчений припускав, що використання лазера може спровокувати рак, але гіпотеза не справдилась. Спостерігалось покращення росту волосся, яке було видалене зі спини тварин для цілей експерименту. Так було вперше продемонстровано фотобіостимуляцію з використанням низькоінтенсивного лазерного випромінювання, відкриваючи у такий спосіб нові перспективи розвитку медичної науки. Такий випадковий експеримент підштовхнуло науковця провести інші дослідження, щоб довести ефективність використання червоного спектру випромінювання при загоєнні ран. З того часу і розпочалось лікування живих організмів когерентними і некогерентними джерелами світла (лазерами і світлодіодами відповідно). Використання НІЛВ відтепер використовується до багатьох тисяч людей по всьому світу щодня для різних медичних маніпуляцій [7].

Так сьогодні є можливість проводити лікування світловими променями багатьох захворювань шкірного покриву, наприклад акне, вітиліго, герпес, лишай, псоріаз, вугрі, фурункули, екзема, різного роду дерматити, травми, опіки, обмороження та інші [8]. Вплив лазерного випромінювання на різні елементи шкірного покриву не досліджений до кінця хоча існує багато напрацювань щодо захворювань шкіри [9,10,11].

При впливі низькоінтенсивним лазерним випромінюванням (НІЛВ) на живий організм не відбувається внесення чогось нового ззовні, а здійснюється лише вплив на систему саморегуляції та підтримання внутрішнього середовища у допустимих нормах. Використання НІЛВ дозволяє керувати нормальними фізіологічними процесами в організмі в залежності від дози, режимів випромінювання, особливостей хвороби, при цьому прискорюючи чи уповільнюючи реакції організму. Численні дослідження виявили, що навіть однократне опромінення НІЛВ викликає значні зміни біохімічних показників і ця дія триває протягом одного місяця. Мікроциркуляція тканин яка виникає при опроміненні слугує так званим індикатором який показує, що вплив на структури організму мав місце і відбувається їхнє переналаштовування. Розуміючи механізми роботи структур живого організму і їхню взаємодію з обраними режимами випромінювання можна забезпечити безпечно і ефективно використання запропонованого методу регенерації біологічних структур організму. [12].

Згідно з роботою [13] не завжди можна зробити лабораторну оцінку проведеного лікування на відкритих ділянках шкіри, особливо на обличчі, так як взяття матеріалу безпосередньо у місці опромінення є ускладненим, тому часто вивчають стан формених елементів крові, а особливо еритроцитів, але упускають, що різні довжини хвиль неоднорідно впливають на показники крові. Визначено, що світлодіодні матриці з довжинами хвиль 470 нм, 940 нм, 525 нм дають не менш позитивний ефект на лікування вугрів, ніж при опроміненні лазерним випромінюванням з довжинами хвиль 630 і 830 нм. Слід додати, що лазерне випромінювання відрізняється від світлодіодного тим, що воно є вузьконаправленим і дія його спрямована на конкретні елементи крові, тому у порівнянні дії лазерів і світлодіодів потрібно враховувати цей аспект. У цьому випадку лікування проводилось кожного дня, а тривалість сеансу складала 5-7 хвилин протягом 10 днів. Відповідно до викладених раніше даних сеанси хромотерапії не потрібно проводити кожного дня, так як збільшення кількості сеансів не дає кращого ефекту. Щодо прикладання випромінюючої матриці до

ураженої шкіри застосовуючи при цьому чохол з тонкого поліетилену, то це не є доцільно. Дослідники також відмітили, що післяопераційні рубці, які часто виникають при звичайному, медикаментозному лікуванні, при використанні обох видів опромінення, майже не формувались (всього 2-4 %).

Досліджено [14] вплив довжини хвилі 470 нм на висічені кругові рани щурів та порівняно лікувальний ефект з довжиною хвилі 630 нм та інтенсивністю 50 мВт/см². Процедура проводилась п'ять днів поспіль протягом 10 хвилин. Результати показали, що використання світлодіодів при 470 нм теж мають значний ефект на епітелізацію та на регенерацію в цілому тканин живого організму.

Наведені нижче патенти відносяться до апаратів для фотобіостимуляції НІЛВ та методів здійснення регенерації тканин живого організму за допомогою комбінованого лазерного випромінювання, яке включає синій спектр випромінювання.

Досліджено механізм регенерації [15] та створено систему фоторадіаційного опромінення тканин і використано ксеноновий іонний лазер для одночасної регенерації. Лазерне випромінювання з довжинами хвиль приблизно 406-427 нм блакитного кольору та 627 нм червоного кольору формується використовуючи дзеркала, що мають часткову передачу променів та розташовані на протилежних кінцях лазерного резонатора. Одне з вказаних дзеркал має покриття, яке значно відображає лазерне випромінювання блакитного кольору і частково передає лазерне випромінювання червоного спектру. Вихідне світло 406 - 427 нм передається в діагностичний опромінювач тканин для висвітлення живих структур та для діагностування їхнього стану. Система передачі з використанням оптичного волокна забезпечує передачу лазерного випромінювання червоного спектру в тканини для лікування.

У вищезгаданому способі забезпечується впровадження засобів, за допомогою яких один лазер може одночасно забезпечувати обидві частоти, необхідні для діагностики та лікування тканин, одночасно підтримуючи необхідний рівень зручності та економічності для практичного застосування.

Згідно до відомого методу [16] забезпечено збалансована терапія блакитним спектром випромінювання за допомогою освітлювальних приладів. Пристрій містить джерело світла (суміш синього світла та білого світла в межах джерела світла, діапазон якого становить приблизно (від 90%) від 420 до 490 нм синього світла та приблизно (10%) білого світла). Освітлювальний пристрій містить: масив флуоресцентних ламп або LED, світлодіоди, що містять синє світло і біле світло. Прилад додатково містить одну лампочку з однієї сторони, що випромінює синє світло, а з іншої сторони — біле світло. Таким чином, здійснюється випромінювання збалансованого світла. Також апарат включає в себе механізм переключення регулювання рівня синього та білого (нічного та денного) світла, що впливає на рівень мелатоніну.

Розкрито метод лікування різних дерматологічних станів [17] з використанням електромагнітного випромінювання. Особливо звернено увагу на вузькосмугові випромінювачі з багат шаровим електромагнітним випромінюванням, що мають домінуючу емісійну довжину хвилі, що відповідає довжині хвилі пікового поглинання тканини ссавців, призначених для лікування. Точні композиції розкриваються для попередньої обробки цільової тканини для зміни пікової довжини хвилі поглинання тканини.

Метод маніпулювання вмістом клітин колагену, фібробластів та фібробластів у тканинах ссавців, що включає: піддаючи зазначену раніше тканину опроміненню множиною імпульсів, принаймні одним джерелом вузькосмугового багатокольорового електромагнітного випромінювання, що має домінуючу емісійну довжину хвилі приблизно від 300 нм до 1600 нм, при цьому згадані імпульси мають тривалість приблизно від 0,1 фемтосекунд до 100 секунд, проміжок між затримками імпульсу становить приблизно від 0,1 до 1000 мілісекунд, а щільність потужності, отримана вказаною тканиною, становить менше, ніж 10 джоулів на квадратний сантиметр.

Пристрій має джерело вузькосмугового багат шарового електромагнітного випромінювання, також містить фільтровий елемент для зменшення інтенсивності інфрачервоного випромінювання, Спосіб за яким

щільність потужності отриманий на цій тканині, становить $1 \text{ Дж} / \text{см}^2$ або менше. Запропонований спосіб відрізняється від попередніх тим, що енергія щільності потужності перевищує $1 \text{ Дж} / \text{см}^2$ і додатково включає охолодження зазначених тканин. До існуючого патенту додано класифікацію за якою відбувається лікування шкірних захворювань за запропонованим методом
Рисунок 0.

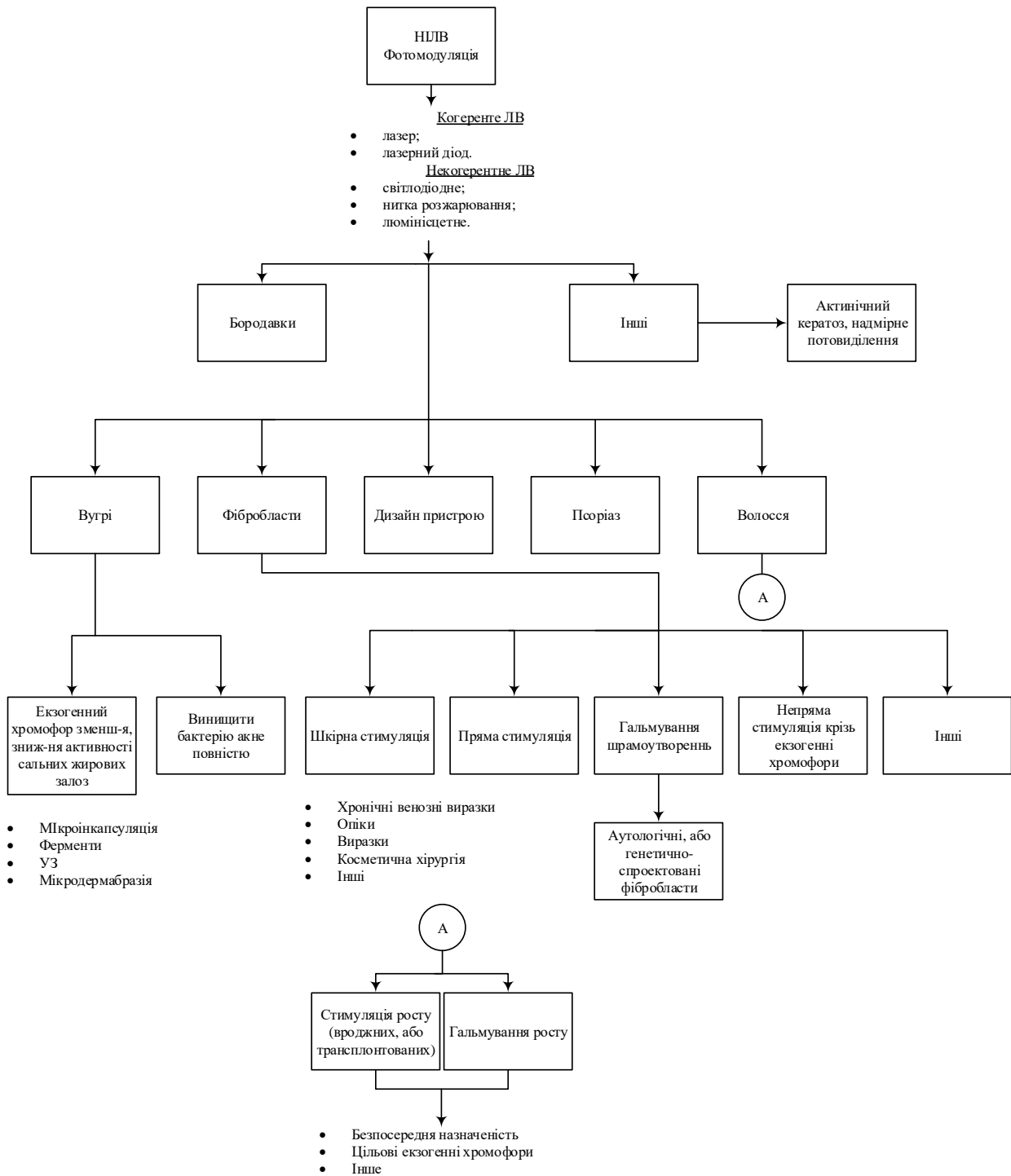


Рисунок 1.1 Запропонована класифікація щодо регенерації тканин організму за допомогою низькоінтенсивного лазерного випромінювання

Згідно даних [18] створено спосіб для фотодинамічного лікування вугрів. Метод включає в себе місцеве застосування композиції фотосенсибілізатора, що включає в себе гідрофобні зелені порфірини, такі як лемутепорфірін

(lemuteporfin), поліетиленгліколь (polyethylene glycol) та підсилювачі проникнення шкіри, такі як олеїловий спирт і транскутол (Transcutol TM), на шкіру, що постраждала від вугрів, і наступний вплив лазерного випромінювання на цю шкіру, що активує фотосенсибілізатор.

Лікування таким способом передбачає використання пристроєм що містить світлодіоди, що випромінюють червоне світло та світлодіоди, що випромінюють блакитне світло із зазначеними довжинами хвиль у діапазоні від 600-750 нм або 390-450 нм.

У роботі [19] розкрито систему та спосіб лікування шкірних розладів. Процес лікування спрямований на зменшення бактерій, пов'язаних з вуграми, з використанням світлотерапії з низькою інтенсивністю. В ілюстративному втіленні, шкіра, що містить бактерії, обробляється серією імпульсів світла від світлодіода. Світлодіод має домінуючу емісійну довжину хвилі близько 660 нм та потужність близько 4 мВт. Бактерії, що містяться у вуграх, піддаються імпульсному впливу від джерела світла протягом приблизно 250 мс з інтервалом близько 100 мілісекунд. Спосіб, в якому домінуючу емісійну довжину хвилі вибирають з групи, яка складається з 400 нм, 420 нм, 430 нм, 445 нм, 475 нм, 590 нм, 635 нм, 655 нм, 660 нм, 670 нм, 780 нм, 785 нм, 810 нм, 830 нм, 840 нм, 860 нм, 904 нм, 915 нм, 980 нм, 1015 нм, 1060 нм, 1260 нм та 1400 нм.

У розглянутому патенті [20] представлено спосіб лікування вугрів похідними нафтоїнової кислоти та особливо адапалену в комбінації з світловою терапією.

Схема для лікування захворювань, пов'язаних з вуграми, що включає введення для індивідуального суб'єкта, який потребує лікування, ефективної кількості похідного нафтоїнової кислоти в комбінації з експозицією червоного та / або синього світла. Згідно з цим способом світлове опромінення здійснюється принаймні один раз на добу від кожного другого дня до одного разу на тиждень. Режим, в якому випромінювання здійснюється з довжинами хвиль від 405 нм до 420 нм, бажано від 410 нм до 420 нм, краще при 415 нм.

Отже, оглянувши літературні джерела, можна стверджувати, що використання кількох довжин хвиль з метою прискорення регенерації тканин живого організму є актуальним, але потребує подальшого вдосконалення режимів для лікування пошкоджень.

1.2 Огляд сучасних промислових апаратів для фототерапії

Представлено сучасні апарати для фототерапії які різняться за формою, розмірами, областю використанням.

1. Апарат фототерапевтичний Дюна-Т (Росія) [21]



Рисунок 1.2 Апарат фототерапевтичний Дюна-Т

Фототерапевтичний апарат Дюна-Т (Рисунок 1.2) застосовується для безболісного лікування безлічі захворювань впливом на організм пацієнта світловим потоком червоного і інфрачервоного діапазону хвиль. Дюна-Т має

загальну стимулюючу дію на організм в цілому, покращуючи функціональний стан клітин, тканин, органів, систем органів. Покращує характеристикти показників крові, відновлює лімфо і кровообіг тканин.

Апарат для фототерапії Дюна-Т має такі функціональні особливості: світлодіодна матриця складається з 21 червоного та 16 інфрачервоних світлодіодних генераторів світла; Найбільш ефективний при додатковому застосуванні кремів або мазей; Можливе застосування як в медустановах, так і в домашніх умовах.

Застосовується апарат для фототерапії Дюна-Т в наступних випадках при:

- лор-захворюваннях (отит, тонзиліт, фарингіт, гайморит);
- стоматологічних захворюваннях;
- лікуванні вірусних і простудних захворювань;
- переломах кісток, суглобів, розтягненні зв'язок;
- різних невралгіях;
- серцево-сосудістих захворюваннях;
- лікуванні тріщин сосків;
- ослабленні захисних механізмів організму;
- поліпшення обмінних процесів;

Таблиця 1.1 Технічні характеристики апарату Дюна-Т

Параметр	Значення
Довжина хвилі, нм	632,7 840
Сумарна щільність випромінювання, <i>мВт / см²</i>	не більше 2
Площа впливу, <i>см²</i>	не менше 12
Живлення від мережі, <i>В</i>	220±10%
Частота, <i>Гц</i>	50–60
Потужність, <i>В</i>	6

Габарити, см	16,7×6×4
Вага, г	250

2. Апарат світлодіодний для фототерапії, портативний серії Геска-Універсал Маг (Росія) [22]



Рисунок 1.3 Загальний вигляд апарату Геска-Універсал Маг

Апарат світлодіодний для фототерапії портативний серії Геска-Універсал Маг (Рисунок 1.3) призначений для впливу на патологічний осередок в фазі загострення запального процесу синім і ІЧ-випромінюванням з метою усунення гострої фази, а потім червоним і ІЧ-випромінюванням для лікування запалення в фазі ремісії, а з насадкою - повільно мінливим магнітним полем постійного магніту або сукупністю магнітного поля і оптичних випромінювань. Апарат Геска Універсал Маг може застосовуватися в поліклініках, лікарнях, профілактичних закладах, а також в індивідуально-побутових умовах.

Червоне випромінювання ефективно для лікування шкірних захворювань і післяопераційних ран, для лікування виразок діабетичного походження, герпесу, вугрів, а також звичайних подряпин, забитих місць і опіків. ІЧ-випромінювання ефективно для зняття болю в суглобах, лікуванні ревматизму і

розтягувань. - надає загальний вплив на весь організм, починаючи зі структурно-функціональних одиниць клітини і кінчаючи органами, системою і цілісним організмом; Дозволяє швидко загоювати опікові поверхні і різні рани

Застосовується апарат для фототерапії Дюна-Т в наступних випадках при:

- захворюваннях опорно-рухового апарату (ревматоїдний та інфекційно-алергійний артрити, артрози);
- патологіях нервової системи (остеохондроз і остеоартроз хребта, неврит лицьового нерва, невралгія трійчастого нерва, вегетосудинна та нейроциркуляторна дистонія);
- захворюваннях бронхолегеневої системи (гострі респіраторні інфекції, трахеїти, бронхіти, гострі пневмонії, бронхіальна астма, профілактика грипу, гострих респіраторних захворювань);
- хірургічних патологіях (гострі гнійні захворювання, трофічні виразки, що довго не загоюються, рани, переломи кісток, розтягнення зв'язок і т.д.);
- шкірних захворюваннях (атрофічний дерматит, екзема, псоріатичний артрит, склеродермія, псоріаз, герпетичні захворювання шкіри);
- захворюваннях вуха, горла, носа (отит, етмоїдит, риніт, гайморит, фронтит, тонзиліт, фарингіт, ларингіт);
- серцево-судинних захворюваннях (гіпертонічна хвороба, ішемічна хвороба серця, варикозне розширення вен);

Лікування апаратами серії Геска потрібно починати якомога раніше, буквально з перших годин захворювання, і дуже інтенсивно проводити в першу та другу добу (до 3-5 разів на день). Вплив синім спектром випромінювання дозволяє за 3-4 процедури повністю зняти гостру фазу запального процесу, після цього використовуючи червоний спектр лікується запальний процес. ІЧ спектр сприяє збільшенню глибини впливу.

Таблиця 1.2 Технічні характеристики апарату Геска-Універсал Маг

Параметр	Значення		
Довжина хвилі випромінювання, <i>нм</i>	430 ± 30, 660 ± 15, 840 – 950		
Сумарна щільність потужності випромінювання, <i>мВт / см²</i>	1,5 – 10		
Щільність потужності випромінювання на довжинах хвиль, <i>мВт / см²</i>	430 ± 30 _{нм} : 0,5 – 2	660 ± 15 _{нм} : 1 – 7	840 – 950 _{нм} : 2 – 10
Магнітна індукція, <i>мТл</i>	20		
Площа опромінення, <i>см²</i>	10		
Напруга мережі (змінного струму частотою 50Гц), <i>В</i>	220		
Споживана потужність, <i>Вт</i>	8		

3. Апарат для лікування ран ВіоВеам 660 (Ізраїль) [23]



Рисунок 1.4 Загальний вигляд апарату для лікування ран ВіоВеам 660

Апарат для лікування ран ВіоВеам 660 (Рисунок 1.4) - низкорівнева технологія вузького діапазону хвиль, призначена для лікування діабетичних

виразок, пролежнів, венозних виразок, післяопераційних рубців і різних типів гангрени.

Система лікування BioBeam 660 використовує терапевтичні якості вузького пучка світла, сконцентрованого в області 660 нм довжини хвилі оптичного спектру. Дослідження показали, що у пацієнтів, які проходили лікування за допомогою апарату для лікування ран BioBeam 660, показник загоєння ран підвищився до 89%.

Режими приладу BioBeam 660: незатухаюча хвиля - для максимальної загальної потужності. Також використовуються короткі імпульси великої потужності для максимальної глибини проникнення довжини хвилі 660 нм.

Таблиця 1.3 Технічні характеристики апарату BioBeam 660

Параметр	Значення
довжина хвилі, <i>нм</i>	660
площа променя на фокусі, <i>см²</i>	2
<u>неприривна хвиля:</u>	
загальна потужність світлового потоку, <i>мВт</i>	65
Потужність на фокусі (типова), <i>мВт / см²</i>	18
<u>пульсуюча хвиля:</u>	
Пікова потужність світлового потоку у фокусі, <i>мВт</i>	210
Потужність на фокусі (типова), <i>мВт / см²</i>	60
Частота (типова), <i>Гц</i>	130
коефіцієнт навантаження, %	10
Середня потужність світлового	21

поток у фокусі, <i>мВт</i>	
Вхідна напруга, <i>В</i>	100 – 240
Частота струму живлення, <i>Гц</i>	50 – 60

4. Апарат для лікування ревматизму BioBeam 940 (Ізраїль) [24]



Рисунок 1.5 Загальний вигляд апарату для лікування ревматизму
BioBeam 940

Апарат для лікування болю і ревматичних захворювань BioBeam 940 (Рисунок 1.5) використовується для полегшення хронічних болів, пов'язаного з ревматичними і ревматоїдними артритами в суглобах і для лікування легких порушень тканин, таких як сухожилля. Також застосовується для лікування болю, травм, синців, гематом, розтягувань.

Цей прилад може використовуватися як альтернативний спосіб лікування і в поєднанні з фармацевтикою, фізіотерапією.

Апарат фототерапевтичний BioBeam 940 використовує терапевтичні якості вузького пучка світла, сконцентрованого в області 940 нм довжини хвилі оптичного спектру.

Режими приладу BioBeam 940 так як і в попередньому випадку використовують незатухаючу хвилю і короткі імпульси великої потужності для максимальної глибини проникнення довжини хвилі 940 нм.

Таблиця 1.4 Технічні характеристики апарату BioBeam 940

Параметр	Значення
довжина хвилі, <i>нм</i>	940
площа променя на фокусі, <i>см²</i>	2
<u>неприривна хвиля:</u>	
загальна потужність світлового потоку, <i>мВт</i>	60
Потужність на фокусі (типова), <i>мВт / см²</i>	10
<u>пульсуюча хвиля:</u>	
Пікова потужність світлового потоку у фокусі, <i>мВт</i>	210
Потужність на фокусі (типова), <i>мВт / см²</i>	35
Частота (типова), <i>Гц</i>	130
коефіцієнт навантаження, %	10
Середня потужність світлового потоку у фокусі, <i>мВт</i>	21
Вхідна напруга, <i>В</i>	100–240
Частота струму живлення, <i>Гц</i>	50–60

5. Прилад для LED фототерапії US MEDICA Therapy Gold (США) [25]



Рисунок 1.6 Загальний вигляд апарату для LED фототерапії US MEDICA Therapy Gold

Прилад для LED-фототерапії Therapy Gold (Рисунок 1.6) розроблений компанією US MEDICA. Пристрій дає змогу використовувати кілька спектрів світлового випромінювання для більш комплексного впливу на шкіру обличчя і тіла.

Дія приладу Therapy Gold базується на використанні трьох довжин хвиль оптичного випромінювання для боротьби з вуграми, запаленнями, призначений для відбілювання пігментних плям, поліпшення тону шкіри, розгладження зморшок. Застосування Therapy Gold працює в двох режимах: пульсуючого впливу і непреривного впливу. Для досягнення оптимального косметичного ефекту, рекомендується використовувати насадку потрібного спектру 9 хвилин в режимі пульсуючого впливу і 15 хвилин в режимі непреривного впливу. З приладом в комплекті йдуть три змінні насадки: Синій спектр має довжину хвилі 415 нм і ідеально підходить для роботи зі шкірою, схильної до жирності і запалень. Під

впливом синього світлового випромінювання гинуть бактерії, що спричиняють запалення на шкірі. Процедури з такою насадкою допоможуть позбутися від прищів, блиску, розширених пор. Зелений спектр (золота насадка) має довжину 525 нм і застосовується для боротьби з пігментацією, веснянками і віковими змінами кольору шкіри. Крім того, зелений спектр ефективно знижує роздратування і почервоніння. Червона насадка і червоний світловий спектр ідеально підходить для догляду за зрілою шкірою, оскільки стимулює діяльність фібробластів - клітин, що виробляють власний колаген та еластин. Проникаючи в глибокі шари дерми, світлова хвиля довжиною 660 нм допомагає зміцнити стінки судин, стимулює клітини інтенсивніше виробляти власний колаген та еластин.

Таблиця 1.5 Технічні характеристики апарату Therapy Gold

Параметр	Значення
Довжини хвиль, <i>нм</i>	415, 525, 660
Живлення, <i>В</i>	220 – 240
Частота, <i>Гц</i>	50 – 60
Час процедури (таймер), <i>хв</i>	24
Розміри (без насадки), <i>мм</i>	178×52×57
<u>Робочий режим</u>	
Температура, °С	10 – 40
Вологість, %	30 – 85

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ I

З огляду на патенти, наукові статті, розроблені апарати для лікування різних захворювань шкірних покривів, визначено, що використання фототерапії з метою активації структур тканин демонструє дієвий ефект та дає шанс впровадити такий метод лікування у військово-польову, екстримальну медицину, але при умові удосконалення апаратної частини та визначення оптимальних режимів використання лазеротерапії при регенерації тканин живого організму у цьому випадку.

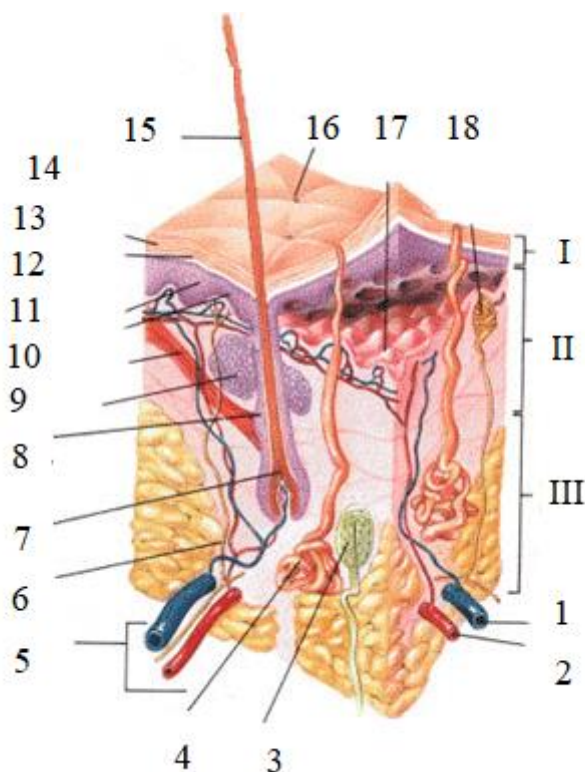
Тому виникає потреба у дослідженні обраних режимів випромінювання, визначенні розповсюдження теплових полів у тканинах при використанні комбінації кількох довжин хвиль видимого спектру випромінювання.

РОЗДІЛ II. ВПЛИВ ЛАЗЕРНОГО ВИПРОМІНЮВАННЯ НА БІОЛОГІЧНІ ТКАНИНИ ЖИВОГО ОРГАНІЗМУ

2.1 Будова шкірного покриву

Для того, щоб визначити оптимальні режими випромінювання для регенерації шкірного покриву необхідно розглянути будову та основні клітини вистилаючого органу.

Шкіра — орган який вистилає зовнішній покрив тіла людини. Покрівний шар організму на межі між зовнішнім і внутрішнім середовищем, завдяки цьому на нього впливають різні фактори як внутрішнього так і зовнішнього середовища. Згідно з анатомічною будовою шкіра складається з трьох основних шарів: епідермісу, дерми, гіподерми (Рисунок 2.1).



I – епідерміс, II – дерма, III – гіподерма; 1 – вена; 2 – артерія; 3 – терморецептор; 4 – потова залоза; 5 – кров’яні і лімфатичні судини; 6 – нервові волокна; 7 – волосяна цибулина; 8 – волосяний фолікул; 9 – сальна залоза; 10 – м’яз фолікула; 11 – базальна мембрана; 12 – роговий шар; 13 – пігментний шар;

14 – поверхневий шар рогівки; 15 – волосина; 16 – потова залоза; 17 – дермальні сосочки; 18 – тактильне нервово закінчення [26]

Рисунок 2.1 Будова шкірного покриву

Епідерміс складається з п'яти шарів:

1. *Базальний шар* являє собою один ряд циліндричних клітин і називається основним, так як в ньому відбувається зародження нових клітин та їхній поділ. Ядра клітин містять одне або два ядра. Для цитоплазми характерний високий вміст рибосом і мітохондрій. У клітинах протікають активні процеси синтезу волокнистого білка, полісахаридів і ліпідів. В середньому за 26 - 28 днів, в залежності від різних факторів, відбувається повне оновлення клітин епідермісу.
2. *Шипуватий шар* в нормі складається з 5 - 6 рядів епідермоцитів, які оточені плазмолемою з виростами (шипи), що проникають у відповідні поглиблення сусідніх клітин і утворюють з'єднання. По мірі просування догори клітини стають більш плоскими і витягнутими паралельно поверхні епідермісу, а ядра зменшуються. У них містяться нейтральні ліпіди, полісахариди.
3. *Зернистий шар* в нормі складається з 1-2 рядів клітин ромбовидної форми розташованих паралельно до поверхні шкіри, з ядрами овальної або витягнутої форми. У цитоплазмі містяться зерна особливої білкової речовини - кератогіалін, передвісника процесу ороговіння клітин і філагрін - основного білка кератогіалінових гранул.
4. *Блискучий шар* складається з 1 - 3 рядів видовжених клітин. Цей шар добре виражений на долонях і підшвах.
5. *Роговий шар* складається з 5 - 6 рядів ороговілих без'ядерних клітин. Він містить білкову речовину - кератин, жир і полісахариди. Товщина рогового шару в середньому становить 13 - 15 мкм

Дерма складається з двох шарів: сосочкового і сітчастого. Волокниста структура представлена колагеновими, еластичними і ретикулярними

волокнами. Колагенові волокна складаються з численних тонких фібрил. Особливо багато еластичних волокон в сітчастому шарі, які оточують волосяні фолікули, сальні і потові залози, проникають з дерми в підшкірно - жирову клітковину. Волокна відіграють велику роль в захисті шкіри. Найбільше еластичні волокна розвинені на долонях, підшвах, над суглобами.

Клітинні елементи дерми являють собою клітини сполучної тканини: фібробласти і фіброцити; гістіоцити (макрофаги), гладкі клітини (лаброцити, мастоцити) розташовуються у верхніх відділах дерми, навколо кровоносних судин. У них містяться біологічно активні речовини: гістамін, гепарин, серотонін, гіалурінова кислота; плазматичні, клітини, лімфоцити та інші.

Підшкірно - жирова клітковина складається з сполучної тканини — мережі колагенових, еластичних і ретикулярних волокон, в яких знаходяться скупчення жирової тканини у вигляді жирових часточок. Підшкірно-жирова клітковина містить велику кількість поживних речовин. [27].

Відповідно до [28] шкіра на різних ділянках тіла має різну товщину. Такий параметр покриву залежить від віку, кольору шкірного покриву, статі, стану здоров'я і локалізації. В таблиці 2.1 Наведено дані щодо товщин різних шарів шкіри дорослої людини.

Таблиця 2.1 Товщина різних шарів шкіри дорослої людини

Частина тіла	Епідерміс, мм	Роговий шар епідермісу, мм	Дерма, мм	Гіподерма, мм
Груди	0,035 - 0,084	0,018 - 0,035	1,97 - 3	0,4 - 1,1
Живіт	0,063 - 0,126	0,022 - 0,028	1,64 - 2,32	2,18 - 18,83
Спина	0,092 - 0,125	0,024 - 0,038	2,66 - 4,76	0,55 - 1,11
Стегно: поверхня, що згинається	0,076 - 0,148	0,022 - 0,035	1,8 - 2,28	1,14 - 1,33
Стегно: поверхня, що розгинається	0,087 - 0,163	0,025 - 0,058	2,47 - 3,06	0,62 - 0,89
Долоні	0,22 - 0,726	0,171 - 0,618	0,66 - 1,9	0,56 - 3,06

Тил стопи	0,15 - 0,256	0,088 - 0,184	0,99 - 2	0,64 - 0,98
Ступня (підощва)	0,389 - 0,986	0,225 - 0,641	0,64 - 1,75	0,58 - 2,42
Лоб (середина)	0,097 - 0,125	0,024 - 0,041	1,92 - 2,07	0,68 - 1,03
Ніс (кінчик)	0,093 - 0,136	0,025 - 0,041	1,67 - 2,09	відсутньо
Верхня губа (близько червоної кайми)	0,097 - 0,214	0,033 - 0,05	1,57 - 1,85	відсутньо

2.2 Розповсюдження електромагнітного випромінювання в біотканині

Проходячи через різні шари шкіри фотони поглинаються, розсіюються, проходять крізь тканини, відбиваються на межі розподілу двох середовищ. На (Рисунок 2.2) представлено узагальнену схему шляху фотонів через біологічні структури живого організму. Для достовірності моделі, що розроблена, автори провели кілька дослідів на таких біологічних структурах як епідерміс, дерма, зрозки крові зі спектральним діапазоном 400-1200 нм. Товщина разків людського епідермісу та дерми склали 50 мкм. У результаті експерименту (Рисунок 2.3) отримано залежність коефіцієнта поглинання різних шарів шкіри від довжин хвиль [29].

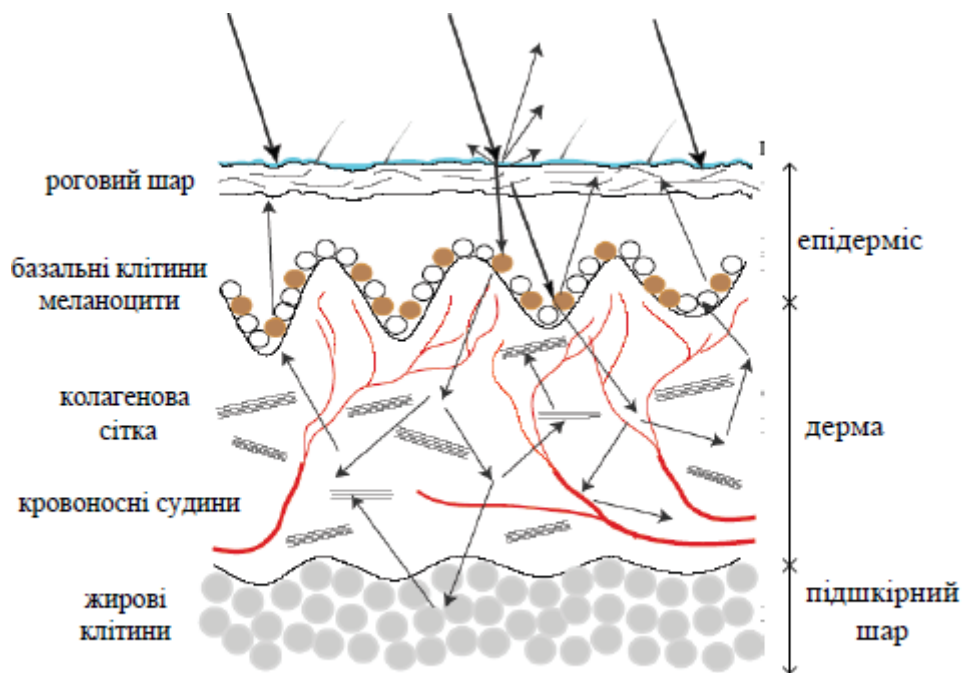


Рисунок 2.2 Узагальнена схема траєкторії руху світлових променів у шкірі

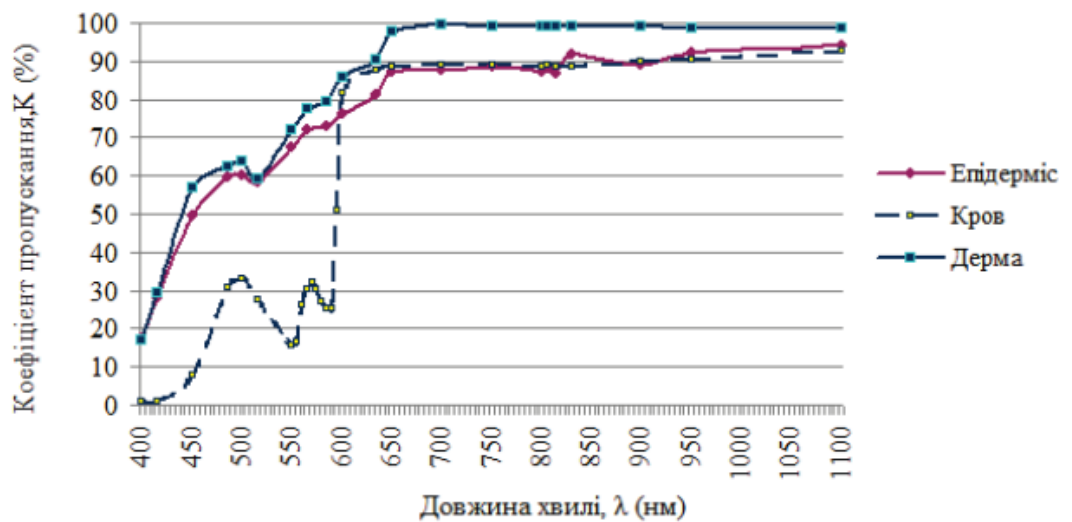


Рисунок 2.3 Залежність коефіцієнта пропускання біологічних тканин від визначених довжин хвиль

2.3 Вплив низькоінтенсивного лазерного випромінювання на стан живого організму

На сьогодні існує багато теорій які пояснюють вплив лазерного випромінювання на основну структурну одиницю живого організму – клітину. Одні вчені погоджуються, що електромагнітне випромінювання взаємодіє з електричними полями клітин, відбувається поглинання квантів світла молекулою з подальшим її збудженням. При виникненні різниці потенціалів між ділянками, які освітлюються, активізуються фізіологічні процеси в організмі. Інші стверджують, що механізм дії пов'язаний в першу чергу з ферментами (каталази, нікотинамідфосфат (НАДФ), оксидазою, фосфатази, НАДФ), або речовинами, що мають в складі іони металу (гемоглобін). Енергія лазерного випромінювання поглинається цими ферментами, вони переходять в активний стан і запускають систему регенерації.

Лазерне випромінювання в терапевтичних цілях діє на молекулярному рівні. Воно стимулює окисно-відновні процеси, збільшує швидкість синтезу ферментів, білка, змінює потенціал мембрани, змінює рН міжклітинної рідини; Крім того, воно активує залози внутрішньої секреції, імунну систему і мікроциркуляцію, нормалізує центральну і вегетативну нервові системи

Низькоінтенсивне лазерне випромінювання (НЛІВ) стимулює активність капілярів за рахунок їх дилатації і розкриття резервних можливостей. При кожному наступному опроміненні спостерігається збільшення капілярів. За рахунок лазерного випромінювання швидкість регенерації мікросудин зростає вдвічі [30]. Слід використовувати мінімальні характеристики випромінювання при лікуванні, бо в наукових довідниках інформація різниться в сотні і більше разів [31], і тому краще починати лікування з менших доз.

В останні роки лазеротерапію успішно застосовують при запальних процесах пов'язаних з хворобами центральної нервової системи (ЦНС). За рахунок властивості лазерів покращувати мікроциркуляцію підвищується ефективність лікування багатьох гострих і хронічних захворювань.

Змінюючи час впливу на уражену ділянку можна змінити дозу лазерного випромінювання. Тоді будемо отримувати різні реакції організму, як позитивні, так і негативні. Як правило, малі дози прискорюють ріст капілярів, покращують мікроциркуляцію, зменшують набряк тканин і больові відчуття. Якщо доза недостатня, тоді ніякого впливу на організм не буде.

Великі дози лазерного випромінювання викликають негативні явища: спазм артерійол, пригнічення репаративних процесів, посилення больового синдрому збільшення набряку тканин. Прикладом цього може служити дослідження Е. В. Луцевич з співавт. [32], в якому показано, що якщо в перші три сеанси лазеротерапії впливати на рану дозою 0,002-0,005 Дж / см², то збільшуються регенеративні процеси, зникає біль. Якщо доза вища за 0,005 Дж / см², то стан пацієнта погіршується, збільшується запалення.

Лазерне випромінювання в терапевтичних дозах, яке не викликає будь-яких патологічних змін клітин, можна розглядати як фізіологічний подразник. У терапевтичних дозах лазерна терапія абсолютно нешкідлива.

Сутність лазерної терапії полягає в підтриманні гомеостазу за рахунок відновлення фізіологічних концентрацій найважливіших молекулярних структур, порушених при патологічних процесах [33].

Точність дозування низькоінтенсивного лазерного випромінювання перевершує будь-які фармакологічні методи. Сучасна апаратура дозволяє опромінювати зону впливу будь-якої форми з великою точністю.

У хірургії використовують високоінтенсивні лазери, які викликають незворотні зміни в тканинах, а у терапії застосовують низькоінтенсивні лазери ультрафіолетового, видимого червоного і інфрачервоного спектрів [34].

2.4 Методи і характер впливу лазерним випромінюванням

Існують такі методи впливу лазерним випромінюванням:

- дистанційний (випромінювач розташовується на відстані від біологічного об'єкта);

- контактний (випромінювач дотикається до з шкірного покриву пацієнта);
- внутрішньосудинний (оптоволокну знаходиться в судині);
- надсудинний (випромінювач фіксується над кровоносною судиною);
- внутрішньоорганний (оптоволокну перебуває всередині органа);
- внутрішньополосний (оптоволокну знаходиться всередині природної порожнини (внутрішньополосне опромінення спинномозкового ліквору).

У медичній практиці користуються такими способами впливу низькоінтенсивним лазерним випромінюванням на уражену область: стабільний і лабільний. При стабільному способі випромінювач встановлюють над вогнищем і не переміщують його. Якщо виникла потреба у впливові на глибоку область, то потрібно надавити випромінювачем на шкіру і зробити компресію. При лабільній методиці випромінювач ведуть над раною зі швидкістю 1 см / с, починаючи зі здорових областей. Низькоінтенсивне лазерне випромінювання в залежності від дози впливу може стимулювати фізіологічні процеси в організмі людини або їх пригнічувати. Тому лазерна терапія при правильному застосуванні дозволяє організму відновити порушену системну рівновагу.

Параметри, за якими контролюється лазерне випромінювання:

Довжина хвилі випромінювання визначається типом лазера і вказується в документації виробником.

Частота повторення імпульсів випромінювання, або частота модуляції, задається на панелі базового блоку. Інформація про точне значення частоти подається або цифровим індикатором у вигляді конкретних цифр, або фіксацією дискретного перемикача в потрібному положенні. Необхідно зауважити, що в другому випадку кожна дискретна позначка обов'язково повинна містити інформацію про конкретне значення і розмірність параметра, наприклад: 80, 150, 300 ... Гц.

Час сеансу. Крім вимог, які пред'являються до індикації частоти, необхідно забезпечити також звукову індикацію початку і закінчення роботи.

Потужність випромінювання. Особливо хочеться звернути увагу на контроль енергетичних параметрів випромінювання, що особливо актуально при роботі з інфрачервоними випромінюванням, якого ми не бачимо, і неможливо візуально визначити їх працездатність. Постійний контроль потужності випромінювання необхідний для забезпечення як оптимальної дози впливу так і безпеки персоналу і пацієнтів.

Виділяють методи випромінювання:

1. контактний;
2. неконтактний.

У випадку неконтактного прилягання випромінювача до біологічного об'єкту He-Ne лазера приблизно 50% випромінювання відбивається, розсіюється у простір і ще 20-30% відбивається різними шарами тканин. При контактному впливі глибина проникнення світла набагато збільшується. Тому при щільному контакті шкіри і випромінюючої головки лазерне випромінювання здатне в більшій мірі досягти всіх біологічних структур пацієнта. При контактній методиці в простір відбивається тільки та частина лазерного випромінювання, що йде з глибини тканини. Такий метод ефективніший і впливає на більшу кількість структур, які лежать близько до поверхні і ті, що глибше. Це дозволяє активувати можливості організму для боротьби з тим чи іншим ураженням, захворюванням.

Переваги використання інтегрованого електромагнітного випромінювання перед загальноприйнятим медикаментозним лікуванням:

- відсутність алергічних і токсичних реакцій;
- розширення можливостей амбулаторної реабілітації та профілактики;
- простота, безпека і висока мобільність технологій;
- екологічна чистота і стерильність лазерного світла;
- зниження захворюваності з мінімальними витратами на профілактичні заходи.

2.5 Аналітична модель інтегрованого оптичного сигналу, що опромінює біологічний об'єкт

В основу сучасних апаратів для фототерапії покладено неперервне випромінювання. Проте найбільш впливовим для регенерації біологічних тканин є світлові сигнали, які модульовані за своїми параметрами. Так нами пропонується амплітудна модуляція імпульсних сигналів, що мають різні частоти слідування імпульсів. Зміна параметрів випромінювання має бути узгоджена, наприклад, з власними частотами біологічних тканин, органів для стимуляції регенерації можливих пошкоджень тканин або органу. Водночас, має біотропне значення частота модуляції сигналу, яка визначає також спектральні параметри власних полів об'єкту. Це обумовлено тим, що кожний тип біологічної тканини, органу має власні частоти коливань. Отже, варіації частот сигналу, що створює форму лазерного випромінювання на виході інтегрованого випромінювача, можуть бути підібрані залежно від об'єкту, на який впливають активним чином для стимуляції метаболічних процесів організму. Врешті це призводить до локальної регенерації тканини у проблемній площині.

Таким чином, для створення інтегрованої фізіотерапевтичної хвилі світлового випромінювання запропоновано дію сигналу складної форми, що є імпульсним сигналом, який модульований за амплітудою прямокутним сигналом $s(t) = S \text{rect} \Omega t$ низької частоти Ω , оскільки вона відповідає власним коливанням органу, на який впливаємо.

Водночас, запропоновано використання інтегрованого світлового випромінювання, котре містить довжини хвилі, що відповідають селективним характеристикам поглинання біологічних компонентів, які сприяють підвищенню відновлювальних процесів живого організму. Таким чином, активно впливаючи на ці компоненти, світлове випромінювання стимулює

регенерацію біологічних тканин шляхом поєднання режимів світлового випромінювання.

Якщо визначити розподіл у часі полів інтегрованого оптичного випромінювання в площині об'єкту, який опромінюємо, то враховуємо обрані довжини хвиль та параметри сигналу, який формує вихідні характеристики вихідного сигналу випромінювача. Розподіл у часі для конкретного випадку обраного режиму набуває вигляду залежно від цих параметрів як

$$U_c(t) = \sum_1^n U_n \sum_1^i [1 + m u_i(t)] e^{j\omega_n t}$$

де U_n - амплітуда кожної довжини хвилі світлового випромінювання, обраного відповідно біологічному компоненту, на який впливають,

ω - частота світлового випромінювання,

n - кількість обраних довжин хвиль випромінювання,

i - кількість обраних режимів модуляції випромінювання,

m - глибина модуляції світлового сигналу,

$u_i(t)$ - сигнал, що модулює світлове випромінювання.

Вираз сигналу модуляції світлового випромінювання визначає режими, які відповідають конкретному типу захворювання та типу біологічного об'єкта

$$u_i(t) = U [1 + M \cdot \cos(\Omega t)] \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t - kT}{\tau_i}\right), \quad (2.1)$$

де $T = \frac{2\pi}{\omega_0}$ — період слідування імпульсів,

де $k = 0, 1, 2, \dots; M = k_A \frac{S}{U} = \frac{\Delta U}{U}$ — коефіцієнт модуляції сигналу.

Оскільки частота випромінювання, як було наведено вище, впливає на біологічний компонент, а режими промодульованого сигналу найбільш впливають на регенерацію тканини, далі розглядаємо вираз для модульованого сигналу.

Представляючи періодичну послідовність імпульсів $S_{II}(t)$ рядом Фур'є, визначаємо:

$$S_{II}(t) = U \sum_{k=-\infty}^{\infty} \text{rect}\left(\frac{t-kT}{\tau_i}\right) = \frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_0 t + \varphi_n) \quad (2.2)$$

де $\omega_0 = \frac{2\pi}{T}$, — тактова частота імпульсів, підставляючи (2.2) у вираз (2.1),

отримаємо

$$u_i = U(1 + M \cdot \text{rect}(\Omega t)) \left[\frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_0 t + \varphi_n) \right] =$$

$$\frac{A_0}{2} + \sum_{n=1}^{\infty} A_n \cos(n\omega_0 t + \varphi_n) + \frac{1}{2} A_0 M \cdot \cos(\Omega t) +$$

$$\sum_{n=1}^{\infty} \left\{ \frac{1}{2} A_n M \cdot \cos[(n\omega_0 + \Omega)t + \varphi_n] + \frac{1}{2} A_n M \cdot \cos[(n\omega_0 - \Omega)t + \varphi_n] \right\}$$

На рисунку 2.4 (а) зображена вихідна періодична послідовність прямокутних імпульсів $S_{II}(t)$, які мають тривалість τ_i , амплітуду U і період слідування T , а на рисунку 2.4 (б) — та ж послідовність, промодульована прямокутним сигналом $s(t)$.

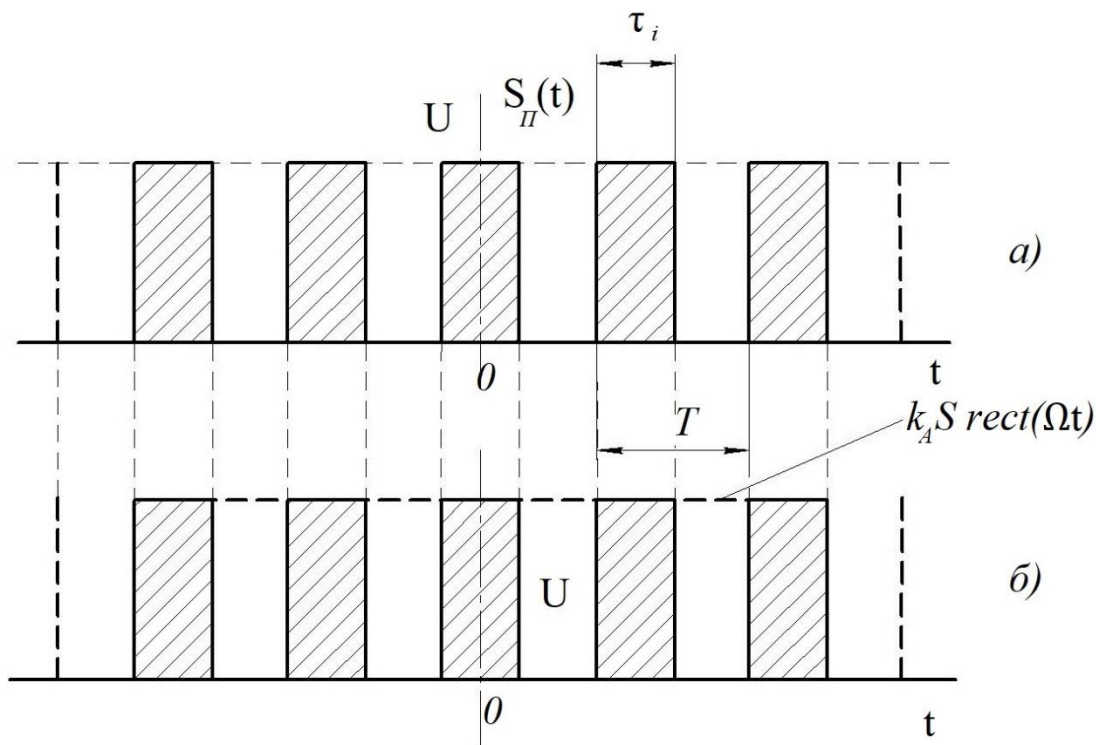


Рисунок 2.4 Вихідна періодична послідовність прямокутних імпульсів $S_{II}(t)$

У патенті на корисну модель [34] виконано проектування автоматичного комплексу для лікування наслідків виходу конкрементів з сечовидільних протоків, запропоновано спосіб руйнування конкрементів в організмі людини. Згідно з ним, лікування відбувається за рахунок використання 2-х лазерів: напівпровідникового УФ-го та гелій-неонового у червоному видимому спектрі випромінювання з довжиною хвилі 632 нм. Тому актуально продовжувати дослідження процесу регенерації тканин організму.

Глибина проникнення різних довжин хвиль у шкірному покриві та вплив на основні компоненти тканин живого організму

Проникаюча властивість лазерного випромінювання визначається у довжинах хвиль і виражається в одиницях вимірювання — нанометрах (нм). Різні довжини хвиль мають різні хромофори і мають різний вплив на тканини. Довжини хвиль часто згадуються з використанням пов'язаного з ними кольору та включають блакитний (400-470 нм), зелений (470-550 нм), червоний (630-700 нм) та ІЧ (700-1200). Взагалі, чим довша довжина хвилі, тим глибше відбувається проникнення в тканини оптичного випромінювання.

Залежно від типу тканини глибина проникнення становить менше 1 мм при 400 нм, від 0,5 - 2 мм при 514 нм, від 1 - 6 мм при 630 нм, а максимальна - від 700 до 900 нм. На рисунку 2.5 продемонстровано оптичну глибину проникнення різних довжин хвиль у шкірному покриві.

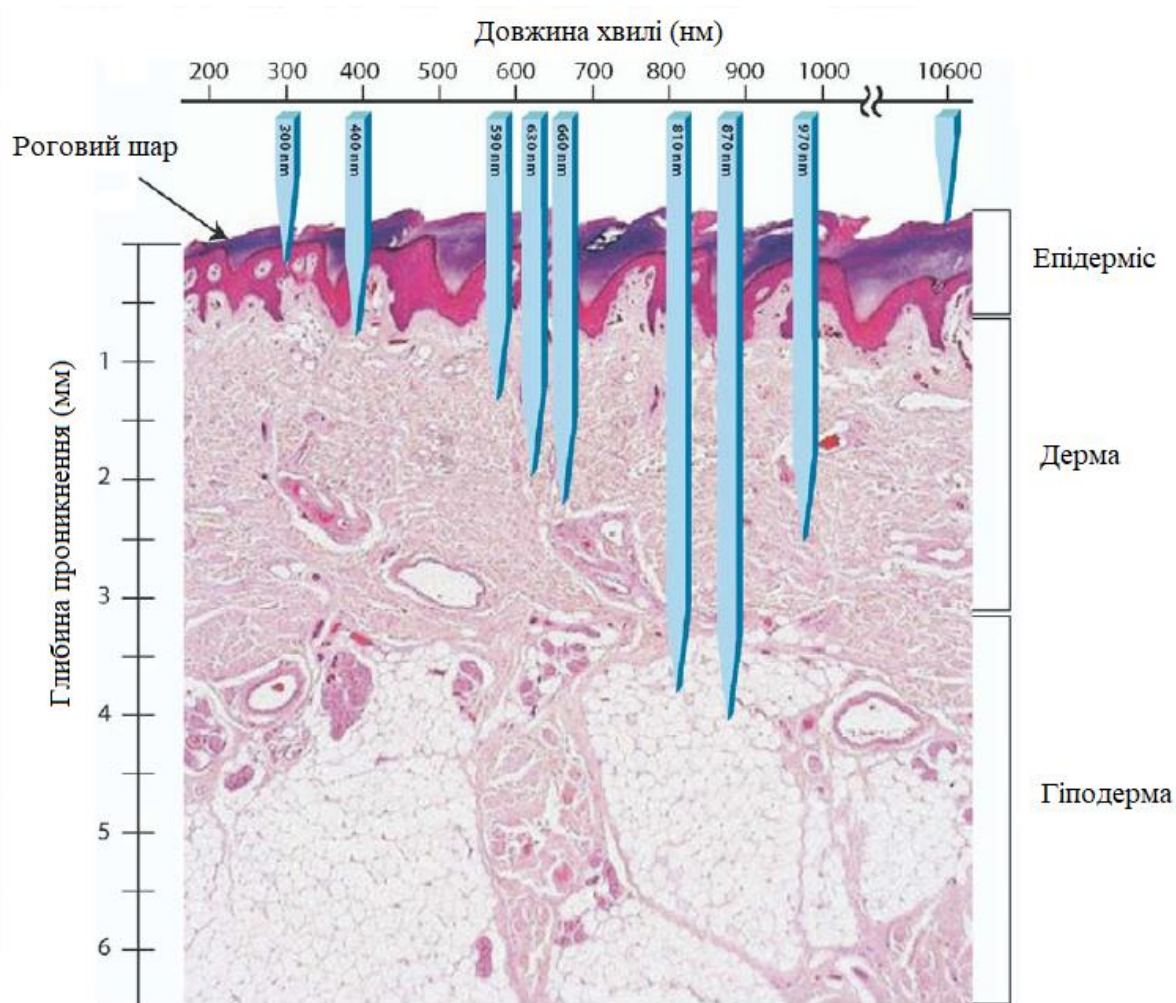


Рисунок 2.5 Оптична глибина проникнення різних довжин хвиль у шкірному покриві живого організму

В живому організмі кожній клітині і тканині відповідає своя власна унікальна характеристика поглинання певної довжини хвилі. Для активації певного процесу в організмі і для кращих ефектів використовується довжина хвилі повинна мати оптимальне проникнення світла в бажані для нас клітини або тканини. Світло червоного спектру випромінювання може успішно використовуватися для глибокого проникнення, наприклад, до сальних залоз, а для лікування шкірних покривів, що локалізовані в межах епідермісу зручно використовувати випромінювання з довжинами хвиль у межах 450 – 490 нм. Для того, щоб вплинути якомога на більшу кількість фібробластів (дерма), бажано використовувати найбільш проникаючу довжину хвилі, наприклад, 660 нм. Тому для регенерації електромагнітним випромінюванням важливо вірно

підбирати довжини хвиль згідно поставлених цілей. Використана довжина хвилі також повинна бути в межах спектру поглинання молекули хромофору або фотоакцептора. Оскільки цитохром с оксидаза є найбільш імовірними хромофорами в НІЛВ, то розглядаються два піки абсорбції в червоному (660 нм) та ІЧ (850 нм) спектрах [34].

Автори [37] досліджували вплив довжин хвиль 600-1000 нм на основні компоненти тканин. На Рисунку 2.6 представлений спектр поглинання цих тканин в діапазоні від 600 до 1000 нм. Це дезоксигемоглобін (Hb) оксигемоглобін (HbO₂) ліпіди (Lipids), вода (Water).

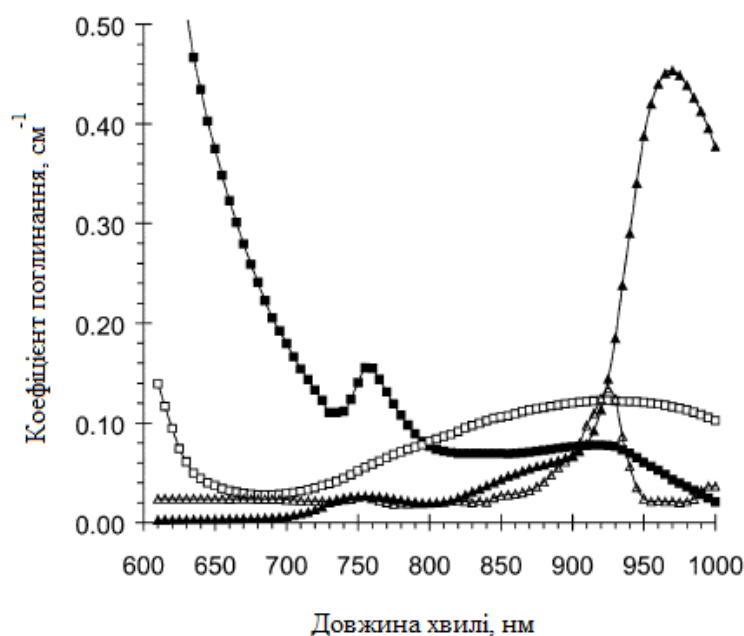


Рисунок 2.6 Спектр поглинання чотирьох основних тканин при довжині хвилі в діапазоні 600-1000 нм

■ дезоксигемоглобін, □ оксигемоглобін, ▲ вода, ★ ліпіди

Дезоксигемоглобін має два піки поглинання електромагнітного випромінювання при 600 нм та 760 нм, оксигемоглобін — близько при 900 нм, ліпіди — 930 нм, вода максимум при 970 нм.

Відповідно до таблиці 2.2 [38] визначено діапазон поглинання деяких біологічних структур та визначено їхні пікові точки.

Таблиця 2.2 Смуги поглинання деякими біологічними компонентами

Біологічні з'єднання	Смуги поглинання, нм	Примітки
Амінокислоти, білки	260-280	
Коензими	260-360	
Цитохром	450-600	
Оксидаза	440-600	
Дезоксигемоглобін	431,556	2 смуги, λ_{\max}
Оксигемоглобін	415,542,577	3 смуги, λ_{\max}
Карбогемоглобін	420,570	2 смуги, λ_{\max}
Ціанметгемоглобін	421,540	2 смуги, λ_{\max}
Еритроцити	530,630	2 смуги, λ_{\max}
Лейкоцити	480	

Гемоглобін (Hb) — складний залізовмісний білок живого організму, що, здатний зв'язуватися з киснем, забезпечуючи його перенесення в тканини. Існує декілька нормальних форм гемоглобіна і одними з цих форм є — *оксигемоглобін (HbO₂)*, утворюється при зв'язуванні кисню в легенях, *карбогемоглобін (HbCO₂)*, утворюється при зв'язуванні вуглекислого газу в тканинах. При патологічних формах виникає – *карбоксигемоглобін (Hb-CO)*, утворюється при наявності CO (чадний газ) у повітрі яке вдихає пацієнт. Він постійно присутній в крові в малих концентраціях, але його частка може коливатися від умов і способу життя [39]. Для активування регенерації тканин дуже важливо наситити місце ураження киснем. Тому використання електромагнітного випромінювання з довжиною хвилі 530 нм є актуальним.

Ціанметгемоглобін (CN-Hb) — з'єднання, що утворюється в крові при отруєнні ціанідами. Внаслідок отруєння ціанідами кров набуває вишнево-червоний колір [40].

Цитохроми, складні білки (гемопротейди) біологічна функція яких полягає в перенесенні електронів і здійснюється (в процесі тканинного

дихання) шляхом зворотної зміни валентності атомів заліза, що входять до складу гема [41].

Оксигеназа - це фермент, що каталізує активування O₂ і подальше включення одного або двох його атомів в молекули різних субстратів. Якщо субстратом (акцептором O₂) служить водень, фермент називають оксидазою (окислювальним ферментом) [42].

Лейкоцити — білі кров'яні клітини, що відіграють головну роль в захисті організму від зовнішніх і внутрішніх патогенних агентів, а також в реалізації типових патологічних процесів [43].

Еритроцити в крові транспортують кисень з легень до інших органів і тканин і переносять вуглекислий газ у зворотному напрямку, а також беруть участь у формуванні кислотно-лужної рівноваги і водно-сольового обміну [44].

2.6 Показання та протипоказання до застосування низькоінтенсивного лазерного випромінювання

Основне *показання* при захворюваннях шкірних покривів — доцільність застосування, зокрема необхідність стимуляції крово- та лімфообігу, процесів регенерації, знеболювання і зняття запального процесу, посилення утворення колагену, активізації реакції біосинтезу за рахунок збільшення припливу кисню до тканин), підвищення біоенергетичного потенціалу клітин. Також назначають лазеротерапію при алергії організму на медикаментозні засоби, захворювання запального характеру, локальному порушенні мікроциркуляції тканин, больових синдромах, погіршенні імунітету, необхідності стимулювати на системи регуляції гомеостазу.

В літературі [45] згадуються такі загальні *протипоказання* при застосуванні лазерного випромінювання низької інтенсивності Рисунок 2.7:



Рисунок 2.7 Загальні протипоказання при застосуванні НЛВ

Часто сучасні пристрої для лазеротерапії спроектовані таким чином, щоб фахівець мав змогу вибрати індивідуальні, оптимальні режими випромінювання в залежності від перебігу та виду захворювання для кожного пацієнта, тому у кожному конкретному випадку лікар самостійно визначає можливість проведення лікування за допомогою НЛВ. Деякі протипоказання для загальноклінічної практики аж ніяк не є такими для вузьких фахівців, що працюють в спеціалізованих установах або підрозділах. Наприклад, існують публікації, що підтверджують безболісність і ефективність лазерної терапії при лікуванні хворих на епілепсію, але використовувати метод можуть тільки фахівці-неврологи. Також проведено дослідження з позитивними результатами при застосуванні ЛТ у випадку такого супутнього захворювання як гемофілія [46]. Однак на даний момент не дозволено застосовувати ЛТ при гемофілії. Тим не менш автор [47] вказує на необхідність перегляду довгого переліку протипоказань які було затверджено у 1970 році при урахуванні особливостей випромінювання гелій-неонового лазера. На думку автора, призначати лазерні терапевтичні процедури повинні фізіотерапевт і вузькопрофільний фахівець, що володіє навиками та особливостями лікування певної категорії пацієнтів.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ II

Узагальнюючи можна стверджувати, що існує чотири основних компоненти поглинання електро-магнітного випромінювання в тканинах живого організму — оксигемоглобін, дезоксигемоглобін, вода, ліпіди. Спектри поглинання таких пігментів різняться один від одного і для максимального ефекту на регенерацію тканин, необхідно впливати саме на них. Процедуру слід проводити через день, тривалість процедури (зазвичай 5 -7 сеансів) буде залежати від площі ураження та локалізації.

При визначенні та проектуванні шляху проходження оптичного випромінювання через шари тканин потрібно враховувати низку чинників. Відомо, що основним джерелом розсіювання світла в біотканинах є відмінність показників заломлення різних компонентів тканин.

Стимуляція біологічних мікроструктур відбувається шляхом нагрівання біологічних структур, передачі теплової енергії, пришвидшення реакцій окиснення та відновлення і в подальшому покращення мікроциркуляції.

Пришвидшення регенерації тканин за рахунок фотобіостимуляції покращить якість життя сучасної людини та зменшить ризики потрапляння інфекції через відкриті, уражені участки. Хромотерапія забезпечить легкозастосовне, безпечне та ефективне лікування уражених покривів.

РОЗДІЛ III. ДОСЛІДЖЕННЯ ВИЗНАЧЕНИХ РЕЖИМІВ ОПРОМІНЕННЯ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН

Даний розділ магістерської дисертації включає в себе опис методики проведених експериментів, технічних засобів, біологічних об'єктів та результатів дослідження, їхньої статистичної обробки, а також наявність рішень поставленої задачі.

3.1 Методика лазерного опромінення спроектованого зразка фантому

Для дослідження механізму регенерації застосовано генератор комбінованого випромінювання з трьома довжинами хвиль $\lambda = 630$, $\lambda = 530$, $\lambda = 460$. Дослідження розповсюдження теплової енергії відбувалось на спроектованому зразку фантому рисунок 3.1, який складається з крові свині, шару кишки, які попередньо були заморожені.



Рисунок 3.1 Експериментальний зразок фантому

Після фіксованого часу опромінення тканини відбувся замір температури зразка за допомогою портативної інфрачервоної камери «MobiR M3» (infrared camera) (Рисунок 3.2).



Рисунок 3.2 Загальний вигляд інфрачервоної камери «MobiR M3»

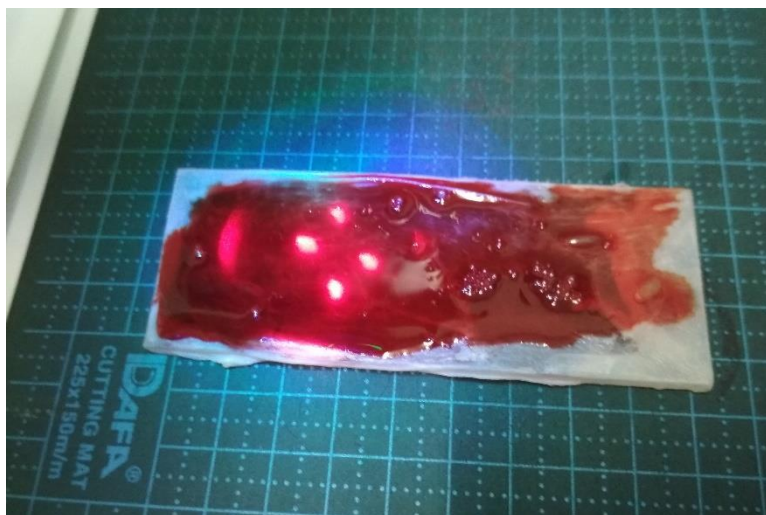


Рисунок 3.3 Опромінення біологічного зразка комбінованим випромінюванням

Регенерація комбінованого випромінювання відбувається за допомогою випромінювача, який має у своєму складі чотири лазерних діода з довжиною хвилі 630_{нм}, чотири світлодіода, що мають довжину 530_{нм}, та чотири — 460_{нм}. (Рисунок 3.3).

У подальшому буде здійснюватись дослідження обраних режимів випромінювання таблиці 3.1-3.5 та проектування зміни теператури експериментального зразка до і після опромінення режимом (Рисунок 3.4-3.8). .

Таблиця 3.1 Режим випромінювання №1

Довжина хвилі, нм	630	460	530
Частота випромінювання, кГц	7	7	7
Інтегрована потужність випромінювання, Вт	0,0145	0,0018	0,0018
Час опромінення, с	300		
Частота кадру, Гц	20		

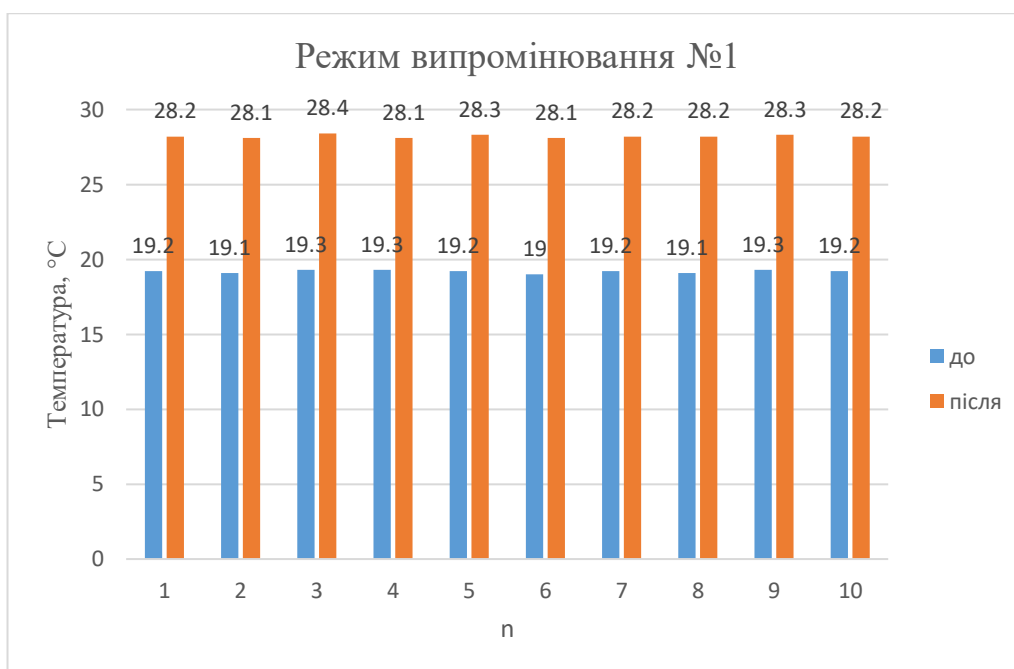


Рисунок 3.4 Діаграма зміни температури експериментального зразка до і після опромінення режимом №1

В результаті опромінення режимом №1 збільшення температури у середньому склало – 9,02 °C. Середня температура збільшилась у порівнянні з початковою середньою на 47%.

Таблиця 3.2 Режим випромінювання №2

Довжина хвилі, нм	630	460	530
Частота випромінювання, кГц	7	1	7
Інтегрована потужність випромінювання, Вт	0,0145	0,0017	0,0016
Час опромінення, с	300		
Частота кадру, Гц	20		

При опроміненні тканин режимом №2 збільшення температури у середньому склало – 8,67 °C. Середня температура збільшилась у порівнянні з початковою середньою на 44,9%.

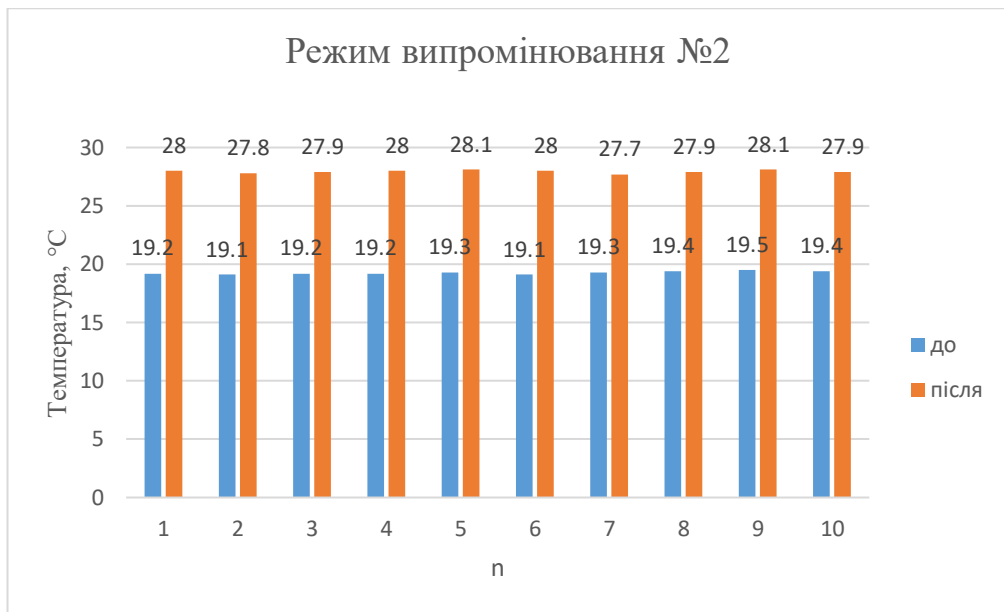


Рисунок 3.5 Діаграма зміни теператури експериментального зразка до і після опромінення режимом №2

Таблиця 3.3 Режим випромінювання №3

Довжина хвилі, нм	630	460	530
Частота випромінювача, кГц	7	1	1
Інтегрована потужність випромінювання, Вт	0,0144	0,0017	0,0016
Час опромінення, с	300		
Частота кадру, Гц	20		

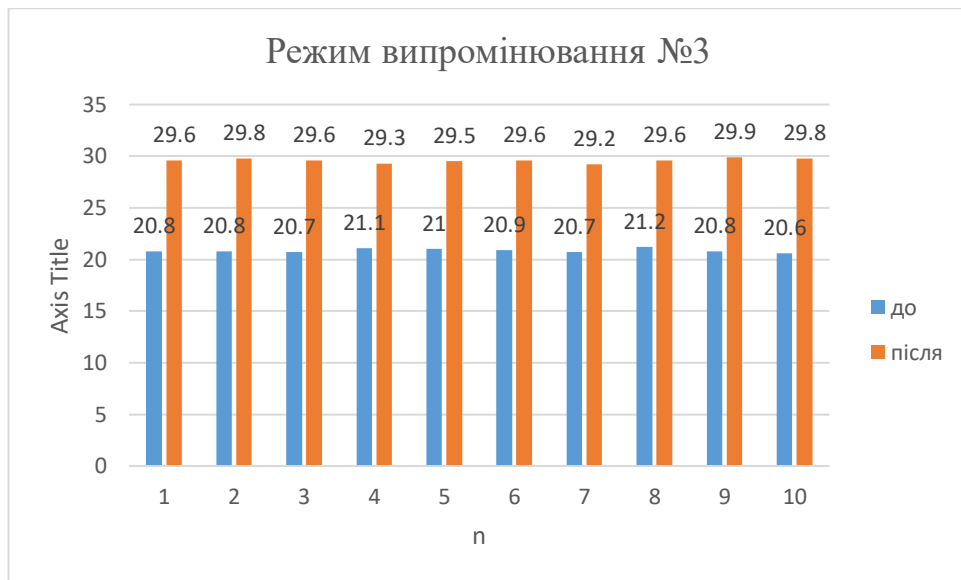


Рисунок 3.6 Діаграма зміни температури експериментального зразка до і після опромінення режимом №3

При опроміненні тканин режимом №3 збільшення температури у середньому склало – 8,73 °С. Середня температура збільшилась у порівнянні з початковою середньою на 41,9%.

Таблиця 3.4 Режим випромінювання №4

Довжина хвилі, нм	630	460	530
Частота випромінювання, кГц	7	1	1
Інтегрована потужність випромінювання, Вт	0,0145	0,0018	0,0017
Час опромінення, с	300		
Частота кадру, Гц	10		

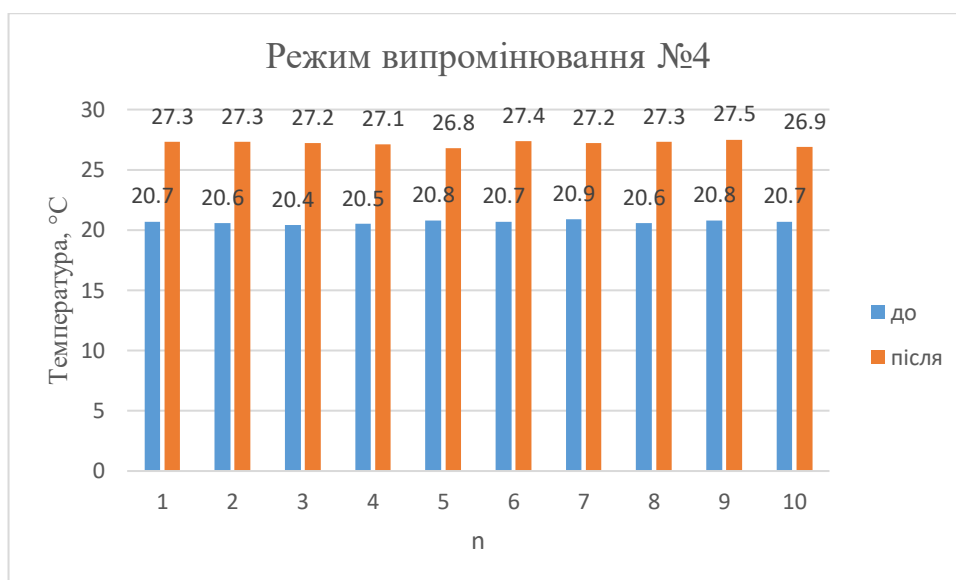


Рисунок 3.7 Діаграма зміни теператури експериментального зразка до і після опромінення режимом №4

При опроміненні тканин режимом №4 збільшення температури у середньому склало – 6,53 °С. Середня температура збільшилась у порівнянні з початковою середньою на 31,6%.

Таблиця 3.5 Режим випромінювання №5

Довжина хвилі, нм	630	460	530
Частота випромінювання, кГц	7	1	7
Інтегрована потужність випромінювання, Вт	0,0144	0,0017	0,0016
Час опромінення, с	300		
Частота кадру, Гц	10		

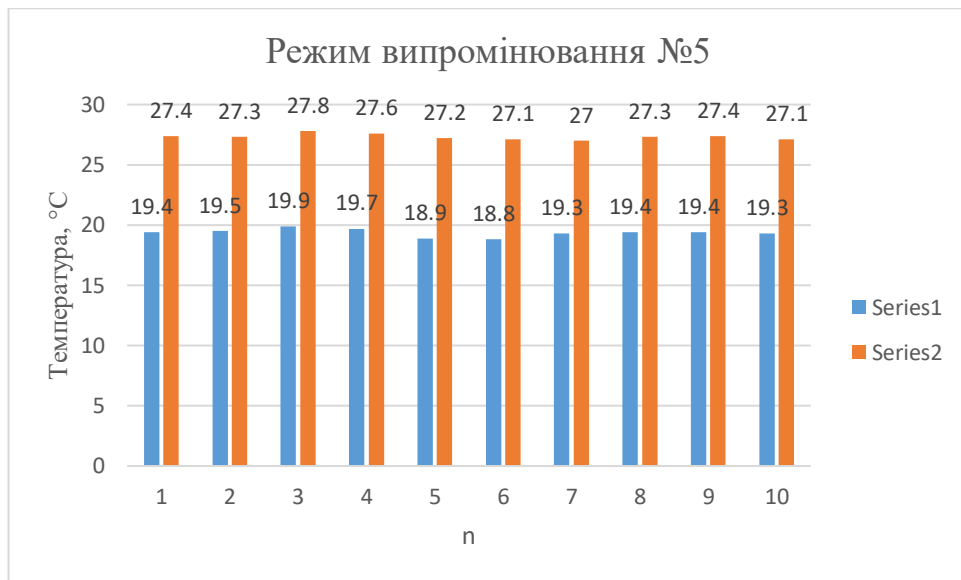


Рисунок 3.8 Діаграма зміни теператури експериментального зразка до і після опромінення режимом №5

При опроміненні тканин режимом №5 збільшення температури у середньому склало – 7,96 °C. Середня температура збільшилась у порівнянні з початковою середньою на 41,1%.

На рисунку 3.9 показано зміну середньої температури в біологічному зразці при різних режимах випромінювання.

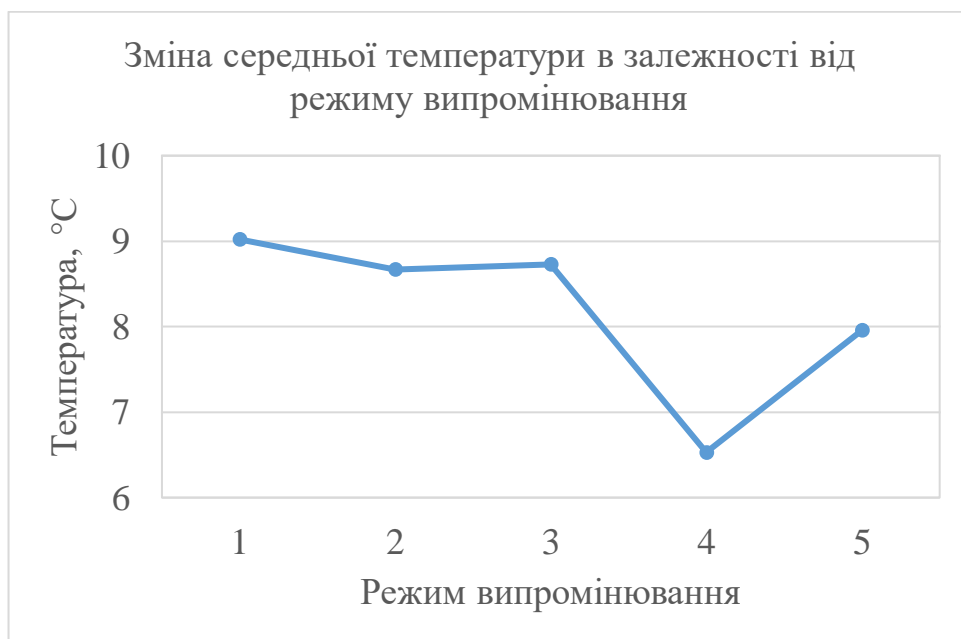


Рисунок 3.9 Діаграма зміни середньої температури в залежності від режиму випромінювання

Для контролю потужності, стабільності роботи окремих випромінювачів застосовано Ватметр оптичної потужності, що поглинається, ОМЗ-65 (Рисунок 3.10).



Рисунок 3.10 Ватметр оптичної потужності, що поглинається, ОМЗ-65

На рисунку 3.11 представлено досліджуваний зразок після взаємодії з комбінованим випромінюванням (а) та без взаємодії (б) за однаковий час.

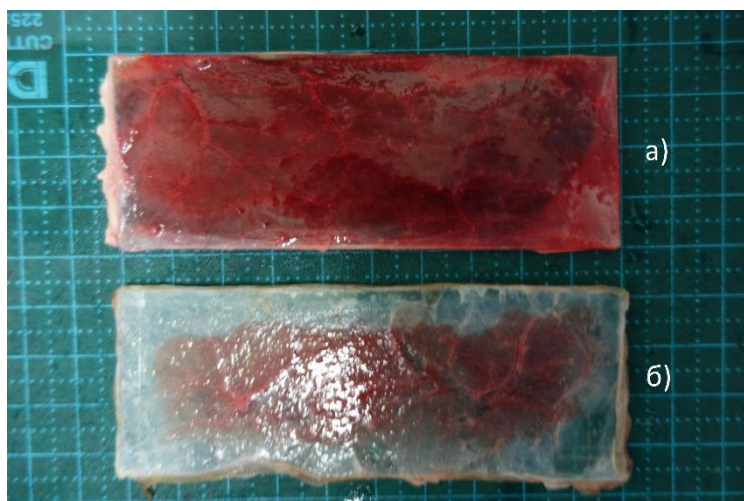


Рисунок 3.11 Розповсюдження крові свині у фантомі за однаковий часовий період

а) – під дією НІЛВ, б) – без дії НІЛВ

3.2 Розрахунок параметрів інтегрованого випромінювання

Розрахунок щільність потужності (W) здійснюється за формулою:

$$W_{\Sigma} = \frac{P_{\Sigma}}{S}, \quad (3.1)$$

де P_{Σ} – вихідна потужність у Вт;

S – площа плями в $см^2$, яка визначається:

$$S = \frac{\pi D^2}{4}, \quad (3.2)$$

Для червоного спектру випромінювання $\lambda = 630нм$:

$$S_{плями} = \frac{\pi 6^2}{4} = 28,3(мм^2) = 2,83(см^2),$$

для синього світлодіода $\lambda = 460нм$:

$$S_{плями} = \frac{\pi 40^2}{4} = 1256(мм^2) = 125,6(см^2),$$

для зеленого світлодіода $\lambda = 530нм$:

$$S_{плями} = \frac{\pi 40^2}{4} = 1256(мм^2) = 125,6(см^2).$$

Щільність потужності для червоного, синього, зеленого спектру при режимі випромінювання №1 відповідно:

$$W_{\text{черв}} = \frac{0.0145}{2.83} = 0.005 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right),$$

$$W_{\text{син}} = \frac{0.0018}{125,6} = 1,432 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right),$$

$$W_{\text{зел}} = \frac{0.0018}{125,6} = 1,432 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right).$$

Загальна щільність потужності для червоного, синього, зеленого спектру випромінювання з урахуванням кількості випромінювачів:

$$W_{\Sigma\text{черв}} = 0,01 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right),$$

$$W_{\Sigma\text{син}} = 5,73 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right),$$

$$W_{\Sigma\text{зел}} = 5,73 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right).$$

Загальна щільність потужності для режиму випромінювання №1:

$$W_{\Sigma} = 0.02 + 5,73 \cdot 10^{-5} + 5,73 \cdot 10^{-5} = 0,010115 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right).$$

Розраховані значення занесено у таблицю 3.6.

Таблиця 3.6 Розрахунок параметрів випромінювання

	Щільність потужності, $\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$ для:			Загальна щільність потужності (чотири діода), $\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}$
	$\lambda = 630$	$\lambda = 460$	$\lambda = 530$	
Режим№1	0,01	$5,73 \cdot 10^{-5}$	$5,73 \cdot 10^{-5}$	0,010115
Режим№2	0,01	$5,73 \cdot 10^{-5}$	$5,41 \cdot 10^{-5}$	0,010111
Режим№3	0,01	$2.548 \cdot 10^{-5}$	$2.707 \cdot 10^{-5}$	0,010112
Режим№4	0,0104	$2.548 \cdot 10^{-5}$	$2.548 \cdot 10^{-5}$	0,010051

Режим№5	0,0104	$2.548 \cdot 10^{-5}$	$2.707 \cdot 10^{-5}$	0,010453
---------	--------	-----------------------	-----------------------	----------

Щільність потужності для червоного, синього, зеленого спектру при режимі випромінювання №2 відповідно:

$$W_{\text{черв}} = \frac{0.0145}{2.83} = 0.005 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right),$$

$$W_{\text{син}} = \frac{0.0017}{125,6} = 1,354 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right),$$

$$W_{\text{зел}} = \frac{0.0018}{125,6} = 1,432 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right).$$

Загальна щільність потужності для червоного, синього, зеленого спектру випромінювання з урахуванням кількості випромінювачів:

$$W_{\Sigma\text{черв}} = 0,01 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right),$$

$$W_{\Sigma\text{син}} = 5,73 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right),$$

$$W_{\Sigma\text{зел}} = 5,41 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right).$$

Загальна щільність потужності для режиму випромінювання №2:

$$W_{\Sigma} = 0.01 + 5,73 \cdot 10^{-5} + 5,41 \cdot 10^{-5} = 0,010111 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right).$$

Щільність потужності для червоного, синього, зеленого спектру при режимі випромінювання №3 відповідно:

$$W_{\text{черв}} = \frac{0.0145}{2.83} = 0.005 \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right),$$

$$W_{\text{син}} = \frac{0.0016}{125,6} = 1,274 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right),$$

$$W_{\text{зел}} = \frac{0.0017}{125,6} = 1,354 \cdot 10^{-5} \left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2} \right).$$

Загальна щільність потужності для червоного, синього, зеленого спектру випромінювання з урахуванням кількості випромінювачів:

$$W_{\Sigma\text{черв}} = 0,01\left(\frac{Bm}{cm^2}\right),$$

$$W_{\Sigma\text{син}} = 2,548 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Bm}{cm^2}\right),$$

$$W_{\Sigma\text{зел}} = 2,707 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Bm}{cm^2}\right).$$

Загальна щільність потужності для режиму випромінювання №3:

$$W_{\Sigma} = 0,01 + 5,48 \cdot 10^{-5} + 5,707 \cdot 10^{-5} = 0,010112 \left(\frac{Bm}{cm^2}\right).$$

Щільність потужності для червоного, синього, зеленого спектру при режимі випромінювання №4 відповідно:

$$W_{\text{черв}} = \frac{0,0144}{2,83} = 0,0052 \left(\frac{Bm}{cm^2}\right),$$

$$W_{\text{син}} = \frac{0,0016}{125,6} = 1,274 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Bm}{cm^2}\right),$$

$$W_{\text{зел}} = \frac{0,0016}{125,6} = 1,274 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Bm}{cm^2}\right).$$

Загальна щільність потужності для червоного, синього, зеленого спектру випромінювання з урахуванням кількості випромінювачів:

$$W_{\Sigma\text{черв}} = 0,0104 \left(\frac{Bm}{cm^2}\right),$$

$$W_{\Sigma\text{син}} = 2,548 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Bm}{cm^2}\right),$$

$$W_{\Sigma\text{зел}} = 2,548 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Bm}{cm^2}\right).$$

Загальна щільність потужності для режиму випромінювання №4:

$$W_{\Sigma} = 0,01 + 2,548 \cdot 10^{-5} + 2,548 \cdot 10^{-5} = 0,010051 \left(\frac{Bm}{cm^2}\right).$$

Щільність потужності для червоного, синього, зеленого спектру при режимі випромінювання №5 відповідно:

$$W_{\text{черв}} = \frac{0,0144}{2,83} = 0,0052 \left(\frac{Bm}{cm^2}\right),$$

$$W_{\text{син}} = \frac{0,0016}{125,6} = 1,274 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Bm}{cm^2}\right),$$

$$W_{зел} = \frac{0.0017}{125,6} = 1.354 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Вт}{см^2} \right).$$

Загальна щільність потужності для червоного, синього, зеленого спектру випромінювання з урахуванням кількості випромінювачів:

$$W_{\Sigma Черв} = 0,0104 \left(\frac{Вт}{см^2} \right),$$

$$W_{\Sigma Син} = 2.548 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Вт}{см^2} \right),$$

$$W_{\Sigma Зел} = 2.707 \cdot 10^{-5} \left(\frac{Вт}{см^2} \right).$$

Загальна щільність потужності для режиму випромінювання №5:

$$W_{\Sigma} = 0.0104 + 2,548 \cdot 10^{-5} + 2,707 \cdot 10^{-5} = 0,010453 \left(\frac{Вт}{см^2} \right).$$

Скважність залежить від режиму роботи генератора імпульсів.

Скважність:

$$S = \frac{T}{\tau};$$

де T – період слідування імпульсів (тривалість періода);

τ – тривалість імпульса (тривалість позитивної частини).

3.3 Аналіз результатів дослідження

Обробку результатів дослідження виконано в MS Excel за допомогою вбудованих стандартних функцій які приведені в Таблиці 3.7.

Таблиця 3.7 Стандартні функції MS Excel для розрахунку випадкових величин.

Характеристики	Назва функції	Опис параметрів
----------------	---------------	-----------------

випадкових величин		
Середнє арифметичне	СРЗНАЧ	Перелік значень або інтервал імен комірок
Середнє геометричне	СРГЕОМ	Перелік значень або інтервал імен комірок
Середнє гармонійне	СРГАРМ	Перелік значень або інтервал імен комірок
Мода	МОДА	Перелік значень або інтервал імен комірок
Медіана	МЕДИАНА	Перелік значень або інтервал імен комірок
Дисперсія	ДИСП	Перелік значень або інтервал імен комірок
Середньоквадратичне відхилення	СТАНДОТКЛОН	Перелік значень або інтервал імен комірок
Напівширина довірчого інтервалу	ДОВЕРИТ	Рівень значимості, середньоквадратичне відхилення, кількість дослідів
Коефіцієнт асиметрії	СКОС	Перелік значень або інтервал імен комірок
Коефіцієнт ексцесу	ЭКСЦЕСС	Перелік значень або інтервал імен комірок

Знайдемо середнє арифметичне значення для виокремлення найбільш використаного числа.

1. Середнє арифметичне

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^N x_i}{N}. \quad (3.3)$$

Для ранжируваного ряду: якщо ряд складається із k груп, то середнє арифметичне всього ряду дорівнює зваженому середньому:

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^k X_i n_i}{\sum_{i=1}^k n_i}, \quad (3.4)$$

де n_i – розмір i -ї групи, X_i – середнє i -ї групи.

2. Середнє геометричне знаходиться за формулою

$$\bar{X}_G = \sqrt[n]{\prod_{i=1}^n X_i}. \quad (3.5)$$

3. Далі знайдемо середнє гармонійне

$$\bar{X}_f = \frac{n}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{X_i}}. \quad (3.6)$$

4. Мода

Мода – це значення, яке зустрічається у вибірці найчастіше.

Для інтервального варіаційного ряду розраховується:

$$Mo = X_{Mo} + \frac{h(m_{Mo} - m_{Mo-1})}{2m_{Mo} - m_{Mo+1} - m_{Mo-1}}, \quad (3.7)$$

де X_{Mo} – початок модального інтервалу (такого, якому відповідає найбільша частота); h – величина модального інтервалу; m_{Mo} – частота модального інтервалу; m_{Mo-1} – частота інтервалу, що передує модальному; m_{Mo+1} – частота інтервалу наступного за модальним.

5. Медіана

Медіана – число, яке ділить ранжируваний варіаційний ряд на дві рівні групи.

Для інтервального варіаційного ряду медіана розраховується за формулою:

$$Me = X_{Me} + \frac{h\left(\frac{\sum m_x}{2} - m_x^{\max}\right)}{m_m}, \quad (3.8)$$

де X_{Me} – початок медіанного інтервалу; h – величина медіанного інтервалу; m_x – частоти по всім інтервалам; m_x^{\max} – частота, яка накопичена до початку медіанного інтервалу; m_m – частота медіанного інтервалу.

6. Варіаційний розмах

$$RB = X_{\max} - X_{\min}. \quad (3.9)$$

7. Дисперсія

$$D = S^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2}{N-1}. \quad (3.10)$$

8. Середньоквадратичне відхилення

$$S = \sqrt{D}. \quad (3.11)$$

9. Коефіцієнт варіації

$$V = \frac{S}{\bar{X}} 100\%. \quad (3.12)$$

10. Довірчий інтервал

Довірчий інтервал – це інтервал, відносно якого з наперед заданою ймовірністю $P=1-\alpha$ можна стверджувати, що він містить невідоме значення параметра θ :

$$P[\theta_1 < \theta < \theta_2] = 1 - \alpha, \quad (3.13)$$

де $1-\alpha$ – довірна ймовірність, α – рівень значимості.

Довірчий інтервал для середнього:

$$\left[\bar{X} - t_{n,p} \frac{S}{\sqrt{n}}, \bar{X} + t_{n,p} \frac{S}{\sqrt{n}} \right], \quad (3.14)$$

де S – середньоквадратичне відхилення; n – кількість дослідів; $t_{n,p}$ – табличне значення розподілення Стюдента з числом ступенів свободи n та довірчою ймовірністю p (див. додаток).

11. Коефіцієнт асиметрії

Коефіцієнт асиметрії – числова характеристика розподілу ймовірностей дійсної випадкової величини, показує ступінь несиметричності в порівнянні з нормальною кривою і є відношенням центрального моменту третього роду μ_3 до куба середньоквадратичного відхилення S^3 :

$$As = \frac{\mu_3}{S^3} = \frac{\sum_{i=1}^n f_i (x_i - \bar{X})^3}{S^3 n}. \quad (3.15)$$

12. Коефіцієнт ексцесу

Коефіцієнт ексцесу – числова характеристика розподілу ймовірностей дійсної випадкової величини, характеризує «крутість», тобто стрімкість підвищення кривої розподілу у порівнянні з нормальною кривою та обчислюється за формулою:

$$Ex = \frac{\mu_4}{S^4} - 3 = \frac{\sum_{i=1}^n f_i (x_i - \bar{X})^4}{S^4 n} - 3, \quad (3.16)$$

де μ_4 – центральний момент четвертого порядку, S^2 – дисперсія.

Отримані результати, наведені в таблиці 3.8 Після ранжирування вибірки визначено частоти випадкових величин для кожного інтервалу Рисунок 3.12 – 3.16

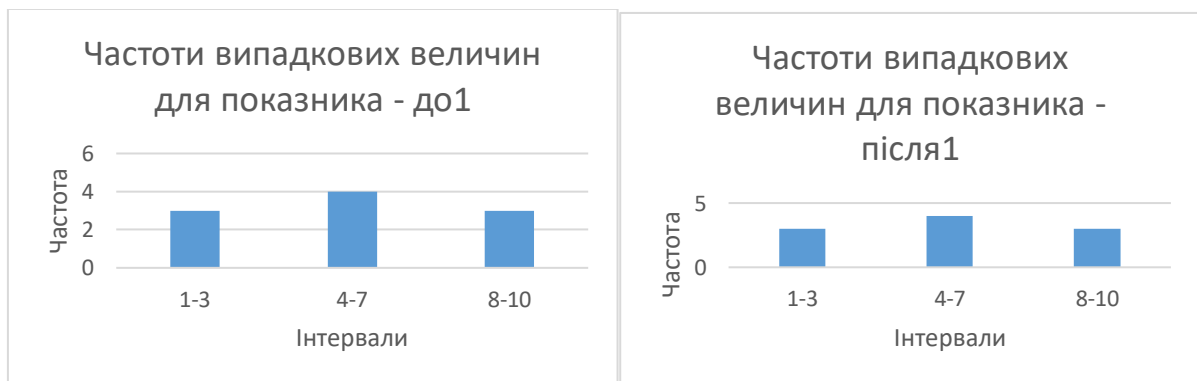


Рисунок 3.12 Діаграма частот випадкових величин для показника до1, після1.

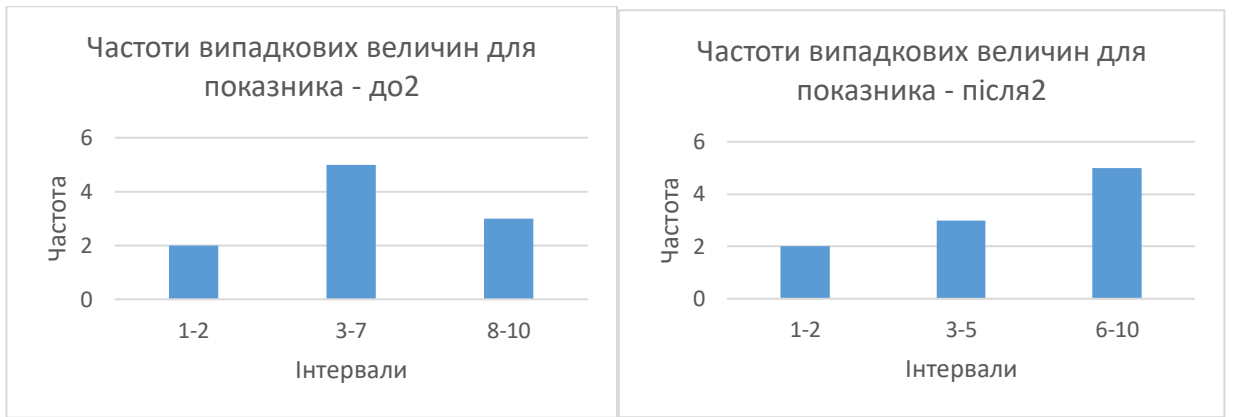


Рисунок 3.13 Діаграма частот випадкових величин для показника до2, після2

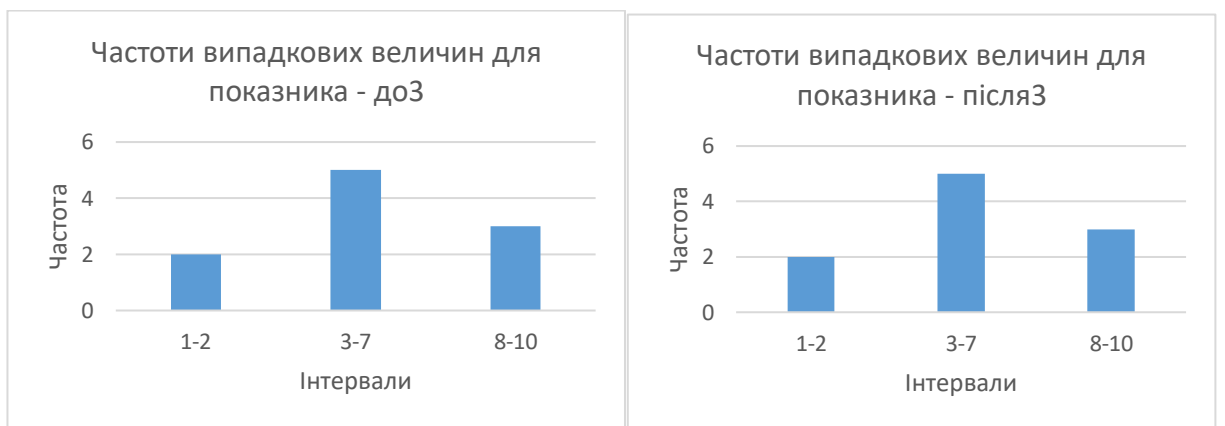


Рисунок 3.14 Діаграма частот випадкових величин для показника до3, після3

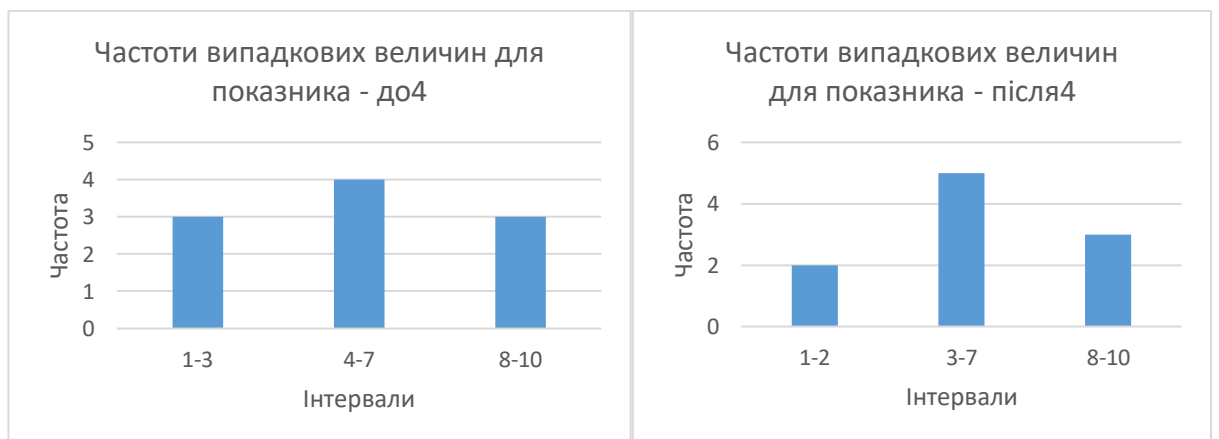


Рисунок 3.15 Діаграма частот випадкових величин для показника до4, після4

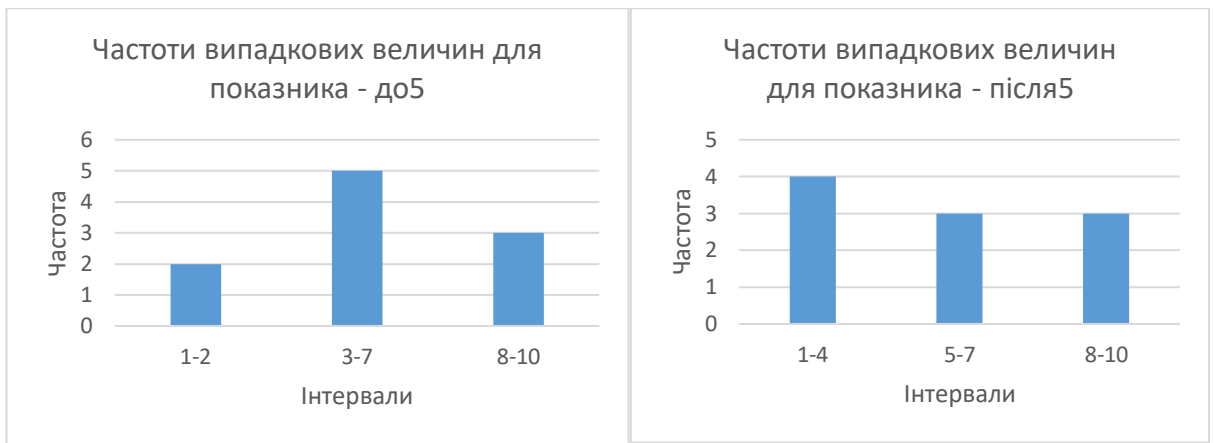


Рисунок 3.16 Діаграма частот випадкових величин для показника до5, після5

Серед досліджуваних режимів випромінювання найефективніший — №1, так як зміна температури спостерігається більш вираженою, але для кожного конкретного випадку потрібні свої режими випромінювання.

Таблиця 3.8 Характеристики випадкових величин

	до1	після1	до2	після2	до3	після3	до4	після4	до5	після5
середнє арифметичне	19,19	28,21	19,27	27,94	20,86	20,59	20,67	27,2	19,36	28,57
середнє геометричне	19,18977	28,20984	19,26958	27,9397	208592	29,5893	20,6695	27,1992	19,3575	28,56933
середнє гармонійне	19,18954	28,20969	19,26917	27,9395	20,85845	29,5886	20,669	27,3	19,355	28,56867
мода	19,2	28,2	19,2	27,9	20,8	29,6	20,7	27,25	19,4	28,4
медіана	19,2	28,2	19,25	27,95	20,8	29,6	20,7	29,6	19,4	28,55
варіаційний розмах	0,3	0,3	0,4	0,4	0,6	0,7	0,5	0,7	1,1	0,6
дисперсія	0,009889	0,009889	0,017889	0,016	0,036	0,0477	0,0223	0,0467	0,107111	0,042333
середньовадратичне відхилення	0,099443	0,099443	0,133749	0,1265	0,1897	0,2183	0,1494	0,216	0,327278	0,205751
коефіцієнт варіації	0,005182	0,003525	0,006941	0,0045	0,00909	0,0074	0,00723	0,00794	0,016905	0,007202
довірчий інтервал від	0,047271		0,063579		0,09019		0,07104		0,155575	
коефіцієнт асиметрії	-0,61014	0,610141	0,33436	-0,5435	-0,060024	-0,4821	-0,35954	-0,74396	-0,29192	0,407572
коефіцієнт ексцесу	-0,15745	-0,15745	-0,85165	-0,026	-0,046811	-0,1706	-0,1518	0,0503	0,263121	-1,25789

3.4 Технічні рекомендації для створення методики лікувального впливу

Згідно з отриманими експериментальними даними можна сформулювати такі технічні рекомендації, щодо регенерації тканин живого організму:

1. Час проведення процедури — 300 с.
2. Рекомендовані довжини хвиль $\lambda = 630\text{нм}, \lambda = 530\text{нм}, \lambda = 460\text{нм}$.
3. Кількість сеансів 5-6 через добу.
4. Рекомендовано використовувати частоту випромінювання 7 кГц для всіх випромінювачів.
5. Частота кадрів — 20 Гц.
6. Загальну щільність потужності випромінювання бажано вибирати $0,010115\left(\frac{\text{Вт}}{\text{см}^2}\right)$.

Режими визначає лікар для конкретного клінічного випадку, тому рекомендації будуть змінюватися, але потрібно звернути увагу на:

1. Площу, яку потрібно опромінити;
2. Локалізацію рани;
3. Методика опромінення: стаціонарна (фіксоване) чи сканування ураження;
4. Вид хвороби;

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ III

Узагальнюючи результати досліджень можна стверджувати, що:

1. вимірювання температури до і після опромінення біологічного зразка комбінованим випромінюванням дає хороший результат для оцінки підібраних режимів випромінювання у даному випадку. У подальшому актуально використовувати амплітудо-імпульсну модуляцію для формування потрібних вихідних параметрів через, те, що такий метод лікування є гнучким і дає можливість лікарю обирати який вплив буде здійснено на постраждалі тканини чи органи у тому чи іншому випадку, опираючись на локалізацію ураження, виду хвороби, спосіб опромінення ділянки, площу впливу.
2. актуально проводити опромінення тканин через добу, так як дослідження показують, що такий часовий режим є актуальним і достатнім для пришвидшення каталітичних реакцій в організмі і у подальшому затягненні ран.
3. Перші кілька днів після отримання поранення є дуже важливими для процесу регенерації, тому використовувати такий тип лікування потрібно якнайшвидше. Достатня кількість сеансів — 5-6 (варіюється в залежності від важкості протікання хвороби, локалізації, віку).
4. Запропоновані технічні рекомендації для лікування пошкоджень можуть в подальшому модифікуватись та удосконалюватись так як можлива варіація амплітудо-імпульсного сигналу.

РОЗДІЛ IV. РОЗРОБЛЕННЯ СТАРТАП ПРОЕКТУ «МЕТОД ФОТОРЕГЕНЕРАЦІЇ БІОЛОГІЧНИХ ТКАНИН ОРГАНІЗМУ»

4.1 Опис ідеї проекту

Зробивши огляд сучасних методів та засобів для здійснення фоторегенерації тканин живого організму виявлено, що основна увага дослідників приділяється шкірним вадам у сфері косметології, таким як позбавлення зморшок, вугрів, пігментних плям тощо. Проте використання запропонованого методу лікування тканинних пошкоджень можна впровадити у військово-польову, спортивну, екстремальну медицину. При цьому потрібно підібрати оптимальні режими випромінювання урахувавши, що лікування буде проводитись у польових умовах, тобто метод повинен відповідати поставленій задачі.

Суть ідеї, вірогідні потенційні ринки, в межах яких буде здійснено пошук потенційних клієнтів описано в Таблиці 4.1.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап-проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Запропоновано метод фоторегенерації тканин живого організму на основі здійснених експериментів, огляду статей, патентів та існуючих приладів із застосуванням лазерів та діодів.	Військова медицина, медицина катастроф	Можливість використовувати метод для відновлення пошкоджених тканин в нестационарних умовах
	Косметологія	Зменшення часу лікування, запобігання зараженню тканин, зменшення розмірів післяопераційних шрамів, простота застосування
	Лазеротерапія	Можливість використання у домашніх умовах при правильному режимі визначеному методом
	Спортивна медицина	Мобільність у використанні, пришвидшення біологічного процесу регенерації

Відрізняється запропонований метод регенерації тканин режимами випромінювання, часовими режимами, комбінацією лазерного випромінювання та діодного з метою зменшення кількості коштів, що підуть на проектування пристрою. Лікування ран є багатоступінчастим процесом, тому згідно з запропонованою методикою, що включає запропоновані три довжини хвиль випромінювання $\lambda_1 = 630\text{нм}$, $\lambda_2 = 460\text{нм}$, $\lambda_3 = 530\text{нм}$, вплив на уражені ділянки здійснюється на різну глибину проникнення і має відмінний терапевтичний ефект. Метод включає в себе 5-6 сеансів проведення процедури опромінення пошкоджених ділянок через день, так як здійснення маніпуляцій кожного дня дає однаковий терапевтичний ефект як і через день.

Аналіз переваг ідеї згідно з економічною чи технічною складовою (чим відрізняється від існуючих аналогів та замінників) порівняно із пропозиціями конкуруючих компаній передбачає:

- встановлення переліку техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;
- з'ясування основних конкурентів або способів (товарів), що можуть замінити вже існуючі на ринку, та відбувається збір даних щодо основних параметрів майбутнього проекту;
- здійснення порівняння показників: для власного проекту обумовлюються показники, що включають а) слабкі значення (W); б) нейтральні значення (N); в) сильні значення (S) (таблиця 4.2).

Таблиця 4.2. Встановлення W, S, N характеристик майбутнього проекту

№ п/п	Технічно-економічні характеристики ідеї	Товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій проект	Конкурент 1 (тільки лікування діодами)	Конкурент 2 (використання тільки однієї довжини хвилі)			
1.	Час проведення процедури	Опромінення проводиться через день	Опромінення тканин — кожного дня	Опромінення проводиться кожного дня згідно типу	-	-	+

				захворюванн я			
2.	Простота реалізації	складна реалізація, через присутність комбінованого випромінювання (лазер + діод)	Проста реалізація, через поширеності методу в багатьох галузях	Проста	+	-	-
3.	Мобільність	Метод спроектований для використання у польових умовах	Може бути мобільним	Може бути мобільним	-	+	-
4.	Достовірність результатів	Незалежність від попереднього налаштування	залежить від оточуючого середовища	відсутня	-	-	+

Підсумовуючи з'ясовані сильні, слабкі, та нейтральні характеристики і властивості ідеї потенційного методу робимо висновок про конкурентоздатність методу лікування біологічних тканин організму. Складність реалізації виправдовується зменшенням часу процедури, високою спрямованістю випромінювання за рахунок довжини хвилі $\lambda_1 = 630\text{нм}$.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

У цьому підрозділі здійснюється аудит технології, за допомогою якої можна реалізувати ідею власного проекту (технології створення товару).

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз таких складових (табл. 4.3):

- за якою технологією буде виготовлено товар згідно ідеї проекту?
- чи існують такі технології, чи їх потрібно розробити/добробити?
- чи доступні такі технології авторам проекту?

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Дослідження залежності початкової температури біоструктури від кінцевої	Лабораторна установка, використання комп'ютерного ПЗ	Лабораторна установка розроблена, ПЗ розроблено	Доступно
2	Встановлення аналітичної залежності	Методи математичного аналізу, статистики	Розроблена методика обрахунку та аналізу	Методика описана в літературі
3	Загальна доступність методики виміру теплових полів	Лабораторна установка	Розроблена	Доступна
4	Розробка методу, на основі проведених досліджень	Механічна обробка біологічних зразків	Технологія розроблена	Відносно доступні

Відповідно до інформації можна стверджувати, що технологічна реалізація для здійснення ідеї проекту доступна, але для апаратного впровадження потрібно буде враховувати, що розроблений біологічний зразок (фантом) дещо відрізняється по характеристикам від біологічних тканин живого організму та потребуватиме тестування.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту

Визначення ринкових можливостей, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкових загроз, які можуть перешкодити реалізації проекту, дозволяє спланувати напрями розвитку проекту із урахуванням стану ринкового середовища, потреб потенційних клієнтів та пропозицій проектів-конкурентів.

Спочатку проводиться аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (табл. 4.4).

Таблиця 4.4. Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од.	2 “ US MEDICA ” (США); «НИИПП» (Россія)
2	Загальний обсяг продаж, грн.	411605
3	Динаміка ринку	Стагнує
4	Наявність обмежень для входу	Апорбація результатів
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Дозвіл на дослідження на живих організмах. Додаткові випробування (клінічні/доклінічні). Вимоги щодо безпечності та нешкідливості
6	Середня норма рентабельності в галузі, %	60

Відповідно до результатів Таблиці 4.4 робимо висновок, що ринок збуту фототерапевтичних апаратів на основі використання методу з використанням кількох довжин хвиль за попереднім оцінюванням, враховуючи наявність дозволу на проведення тестування на живих об'єктах є привабливим.

Надалі визначаються потенційні групи клієнтів, їх характеристики, та формується орієнтовний перелік вимог до товару для кожної групи (табл. 4.5).

Таблиця 4.5. Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

№ п/п	Потреба, що формує ринок	Цільова аудиторія	Відмінності у поведінці різних потенційних цільових груп клієнтів	Вимоги споживачів до товару

1	Забезпечує високотерапевтичний ефект на біологічні тканини організму	Лікувальні, медичні установи; реабілітаційні центри; науково-дослідні установи.	Основні критерії, що впливають на поведінку потенційних клієнтів: Зручність у використанні; Якість продукту; Наявність необхідної документації (відповідність стандартам, сертифікати відповідності (якості), тощо); Доступність; Точність; Специфіка лікувального впливу; Рівень реклами;	Доступна ціна, якість, довгострокова робота; Гарантійні терміни; Наявність сервісних центрів
2	Чітко окреслена методика проведення процедури (обрані режими випромінювання)	Лікувальні, медичні установи; реабілітаційні центри; науково-дослідні установи.	Легкість у використанні; Рівень реклами; Специфіка лікувального впливу;	Протестований метод лікування (клінічні дослідження); Наявність сервісних центрів

Згідно з проаналізованими потребами споживачів робимо висновок, що запропонований метод лікування пошкоджень тканин за допомогою хромотерапії майже цілком їх задовольняє. Основними споживачами слугують лікувальні, медичні установи тому, що актуально використовувати розроблений метод з метою пришвидшення загоювання ран та приведення пацієнтів до норми при одночасному зменшенні кількості медикаментозних засобів.

Після визначення потенційних груп клієнтів проводиться аналіз ринкового середовища: складаються таблиці факторів, що сприяють ринковому впровадженню проекту, та факторів, що йому перешкоджають (Таблиця №№ 4.6-4.7). Фактори в таблиці подавати в порядку зменшення значущості.

Таблиця 4.6. Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
-------	--------	---------------	--------------------------

1	Новоутворені фірми	Збільшення конкурентноздатних методів лікування	Вдосконалення методу; маркетингова діяльність.
2	Нові технології	Застарілість товару	Модернізація методу, впровадження нових технологій
3	Достовірність результатів	Не точність результатів	Удосконалення методики, перехід на нову

У відповідності з проаналізованими факторами загроз робимо висновок, що велику загрозу мають фактори появи нових фірм і технологій. Поява більш обґрунтованого методу лікування ран призведе до можливих змін самого способу або ж до впровадження нових технологій.

Таблиця 4.7. Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Збільшення частоти використання такого методу лікування	Доцільно збільшити ціну на виплати по використанню запатентованого методу	Збільшення кількості працівників, відділів для досліджень нових методів, впровадження модифікацій методів
2	Відсутність аналогічного методу на ринку	Можливість монополії в даному сегменту ринку	Підвищення ціни на використання авторського права.
3	Зростання рівня доходів населення	Збільшення кількості продажів і як наслідок виплат на право користування методом	Розширення штату дослідників
4	Впровадження нових технологій	Покращення методу	Патентування нових ідей, методів

Робимо висновок, що найвпливовішими факторами можливостей є фактор відсутності аналогічного методу на ринку та впровадження нових ідей, що призведе до модернізації існуючого методу та збільшенні попиту на майбутні сконструйовані присторі на основі розроблених методів лікування тканин живих організмів.

Далі проводиться аналіз пропозиції: визначаються загальні риси конкуренції на ринку (табл. 4.8).

Таблиця 4.8. Ступеневий аналіз конкуренції на ринку

Особливості конкурентного середовища	В чому проявляється дана характеристика	Вплив на діяльність підприємства
1. Чиста конкуренція	Користувачі даного методу не можуть істотно впливати на ціну.	Удосконалення методу
2. Міжнародна конкуренція	Між компаніями усіх країн світу.	Співпраця з незалежними лабораторіями, іншими медичними закладами
3. Міжгалузєва конкуренція	Конкуренція між підприємствами в межах різних галузей	Заклучення договорів між іншими підприємствами в межах різних галузей
4. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція між товарами одного виду	Конструювання нових апаратів для реалізації нових методів
5. Нецінова конкуренція	Удосконалення якості обробки вихідних характеристик	Удосконалення методу, залучення нових спонсорів
6. Марочна конкуренція	Конкурентні компанії пропонують подібний метод лікування і реалізація його більш проста	Зміна напрямку компанії у бік удосконалення методу. Створення власної торгової марки.

Проаналізувавши дані можна зробити висновок, що запропонований напрямок щодо реалізації методу демонструє високу конкурентоспроможність. Найбільш небезпечними є товарно-видова та нецінова конкуренція.

Після аналізу конкуренції проводиться більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі (табл. 4.9).

Таблиця 4.9. Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти в галузі	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	«US MEDICA» (США); «НИИПП» (Россія)	Патенти на методи; Законодавчі обмеження; Розміри капіталовкладень; Доступ до інформаційних ресурсів.	Диференціація витрат; Змінні витрати постачальників; Обсяги поставок; Концентрація постачальників;	Обсяг закупівель; Контроль якості; Змінні витрати; Система інформації, Прибутки	Ціна; Змінні витрати; Лояльність споживачів
Висновки	Низька інтенсивність	Є можливість входу в ринок.	Вартість використовуваног	Умови експлуатації	Без обмежен

	ь	Є потенційні конкуренти. Строк виходу на ринок орієнтовно один рік.	о методу	та якість продукції	ь
--	---	---	----------	---------------------	---

За результатами аналізу Таблиці 4.9 можна зробити висновок, що в запропонованому проекті є всі можливості потрапити на ринок, враховуючи низьку конкуренцію та відмінність від існуючих аналогів.

На основі аналізу конкуренції, проведеного (табл. 4.9), а також із урахуванням характеристик ідеї проекту (табл. 4.2), вимог споживачів до товару (табл. 4.5) та факторів маркетингового середовища (табл. № 4.6-4.7) визначається та обґрунтовується перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлюється за табл. 4.10.

Таблиця 4.10. Обґрунтування факторів конкурентоспроможності

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Обґрунтування (наведення чинників, що роблять фактор для порівняння конкурентних проектів значущим)
1	Висока точність отриманих результатів	Висока достовірність отриманих результатів, яка підтверджується якісними математичними розрахунками.
2	Можливість аналізу результатів	Дає можливість аналізувати отримані результати за допомогою комп'ютерного ПЗ, що дає можливість порівнювати значення отримані при різних умовах, різними дослідниками.
3	Доступність пацієнтам	Дає можливість використовувати різним споживачам.
4	Простота реалізації	Забезпечується використанням існуючих методів діагностики та лікування.
5	Мобільність	Може використовуватися у воєнно-польових умовах

Можна зробити висновок, згідно з обґрунтуванням факторів конкурентоспроможності, що запропонований метод має ряд досить суттєвих факторів які мають безпосередній вплив на можливість конкурування методу лікування і дають змогу розглядати його для залучення коштів у проект.

За визначеними факторами конкурентоспроможності (табл. 4.10) проводиться аналіз сильних та слабких сторін стартап-проекту (табл. 4.11).

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Прилад контролю потужності лазерного випромінювання»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів конкурентів у порівнянні з «US MEDICA»						
			-3	-2	-1	0	1	2	3
1	Висока ефективність лікування	18						+	
2	Комплексний підхід	10				+			
3	Доступність пацієнтам	15					+		
4	Простота реалізації	18					+		
5	Мобільність	17						+	

За даними таблиць 4.10 та 4.11 можна зробити висновок, що даний проект має право на впровадження у систему охорони здоров'я та право використовуватись у військово-польовій медицині, медицині катастроф.

Фінальним етапом ринкового аналізу можливостей впровадження проекту є складання SWOT-аналізу (матриці аналізу сильних (Strength) та слабких (Weak) сторін, загроз (Troubles) та можливостей (Opportunities) (табл. 4.12) на основі виділених ринкових загроз та можливостей, та сильних і слабких сторін (табл. 4.11).

Перелік ринкових загроз та ринкових можливостей складається на основі аналізу факторів загроз та факторів можливостей маркетингового середовища. Ринкові загрози та ринкові можливості є наслідками (прогнозованими результатами) впливу факторів, і, на відміну від них, ще не є реалізованими на ринку та мають певну ймовірність здійснення. Наприклад: зниження доходів потенційних споживачів – фактор загрози, на основі якого можна зробити прогноз щодо посилення значущості цінового фактору при виборі товару та відповідно, – цінової конкуренції (а це вже – ринкова загроза).

Таблиця 4.12. SWOT- аналіз стартап-проекту

<p>Сильні сторони: висока ефективність лікування; запатентована методика; мобільність; зменшення часу лікування; Зменшення використання лікарських засобів; Зменшення часу який витрачається на одного пацієнта; відсутність зараження від іншого пацієнта;</p>	<p>Слабкі сторони: складність реалізації вузька спеціалізованість; відсутність клінічних/доклінічних випробувань; не досконалість методики; недосконалість математичної моделі випромінювання;</p>
<p>Можливості: Увійти і залишитись на ринку; конкурентоспроможність; інвестування іноземних компаній; модифікація існуючих методів та створення нових; збільшення тестувань на живому організмі;</p>	<p>Загрози: зниження доходів потенційних споживачів; розвиток новітніх технологій; збільшення конкуренції на ринку медичної апаратури;</p>

На основі SWOT-аналізу розробляються альтернативи ринкової поведінки (перелік заходів) для виведення стартап-проекту на ринок та орієнтовний оптимальний час їх ринкової реалізації з огляду на потенційні проекти конкурентів, що можуть бути виведені на ринок (див. табл. 4.9, аналіз потенційних конкурентів). Альтернативи ринкового впровадження основі SWOT-аналізу наведені в таблиці 4.13.

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів.

Таблиця 4.13. Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтованій комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
-------	---	--------------------------------	-------------------

1	Впровадження такого методу лікування та у подальшому залучення споживачів для його використання	Ймовірність отримання ресурсів є високою	1 рік
2	Встановлення низької ціни на виплати щодо користування новим методом з метою залучення більшої кількості покупців і завоювання більшої частини ринку.	Ймовірність висока, оскільки даний проект має велику кількість переваг, є інноваційним, що в поєднанні з низькою ціною створить великий попит серед споживачів.	8 місяців

Згідно з Таблицею 4.13 актуальним є обрання другої альтернативи оскільки отримання ресурсів є більш простим та ймовірним. Збільшення ринку збуту надасть змогу розширити частку попиту на метод і залучити більшу частину ресурсів.

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

Розроблення ринкової стратегії першим кроком передбачає визначення стратегії охоплення ринку: опис цільових груп потенційних споживачів (табл.4.14).

Таблиця 4. 14. Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтований попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу в сегмент
-------	--	---	--	--------------------------------------	--------------------------

1	Медичні установи	Готові, за умови наявності усіх документів, дозволів	30-35%	Висока інтенсивність	Наявні обмеження
2	Науково-дослідні установи, зацікавлені у біофізичних дослідженнях	Готові, за умови наявності усіх документів, дозволів	10-20%	Низька інтенсивність	Без обмежень
3	Військові установи	Готові, за умови наявності усіх документів, дозволів	30%	Висока інтенсивність	Наявні обмеження
	Спортивні установи	Готові, за умови наявності усіх документів, дозволів	20%	Висока інтенсивність	Наявні обмеження
Які цільові групи було обрано: медичні та військові установи.					

Згідно з результатами аналізу потенційних груп споживачів попит може виникнути у медичних та військових установах. Медичні установи будуть зацікавлені в зменшенні часу проведення пацієнтів на стаціонарі, зменшення кількості використання медикаментів та ефективність методу. Військові установи будуть зацікавлені у мобільності використання, ефективності лікування, відсутності побічних реакцій збоку організму.

Для роботи в обраних сегментах ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку (табл. 4.15).

Таблиця 4.15. Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможності відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
-------	--------------------------------------	---------------------------	---	----------------------------

1	Встановлення низької ціни на використання методу з метою залучення більшої кількості установ і завоювання великої частки ринку.	Стратегія диференційованого маркетингу	Комплексний підхід; Доступність пацієнтам; Мобільність; Зручність використання;	Стратегія диференціації
---	---	--	---	-------------------------

В якості базової стратегії розвитку обрано стратегію диференціації з встановлення низької ціни на використання методу, оскільки це найефективніший спосіб залучення більшої кількості покупців і завоювання великої частки ринку. Відмінних ознак відповідно до потреб певної аудиторії приладу можна надати за рахунок збільшення кількості режимів випромінювання для збільшення спектру застосованості при різних типах захворювань.

Наступним кроком є вибір стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16).

Таблиця 4.16. Визначення базової стратегії конкурентної поведінки

№ п/п	Чи є проект «першопрохідцем» на ринку?	Чи буде компанія шукати нових споживачів, аби забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурентів, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Так	Так, залучення нових споживачів	Частково, так як використання комбінованого випромінювання існує і у інших компаній, але режими випромінювання значно відрізняються	Стратегія заняття конкурентної ніші

В якості конкурентної поведінки обрано стратегію заняття конкурентної ніші, оскільки проект є актуальним і має змогу використання у військово-польових умовах, спортивній медицині.

На основі вимог споживачів з обраних сегментів до постачальника (стартап-компанії) та до продукту (див. табл. 4.5), а також в залежності від

обраної базової стратегії розвитку (табл. 4.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16) розробляється стратегія позиціонування (табл. 4.17), що полягає у формуванні ринкової позиції (комплексу асоціацій), за яким споживачі мають ідентифікувати торгівельну марку/проект.

Таблиця 4.17. Визначення стратегії позиціонування

№ п/п	Вимоги до товару цільової аудиторії	Базова стратегія розвитку	Ключові конкурентоспроможні позиції власного стартап-проекту	Вибір асоціацій, які мають сформувати комплексну позицію власного проекту (три ключових)
1	Забезпечувати ефективність лікування у порівнянні зі звичайними, медикаментозними методами; Мати сертифікати, дозволи на використання такого методу на живих організмах; Відсутність протипоказань; Доступність у використанні;	Стратегія диференціації	Доступність у використанні; Мобільність; Висока ефективність результатів лікування;	За відсутністю побічних реакцій; За сферою застосування; За простотою використання;

Згідно до Таблиці 4.17 проект буде робити акцент на відсутності побічних реакцій, активуванні природних ресурсів організму для боротьби з пошкодженнями ніж при використанні звичайних способів лікування. Ураховуючи вимоги до методу потрібно реалізувати його таким чином, щоб була висока продуктивність методу, можливість використання локально, високі результати лікування.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Першим кроком є формування маркетингової концепції товару, який отримає споживач. Для цього у табл. 4.18 потрібно підсумувати результати попереднього аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18. Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вимога, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Ефективність	Забезпечує високу ефективність	Ефективність лікування за рахунок комбінованого спектру випромінювання та фіксованих режимів;
2	Зменшення терміну лікування	Зменшує часові ресурси лікування	Зменшення терміну лікування відбувається оптимально підібраними режимами випромінювання, комбінованим використанням довжин хвиль;
3	Доступність методики	Можливість використання у побуті	Доступність методики навіть при відсутності медичної установи;
4	Захист авторського права	Запатентований метод лікування	Запатентований метод

Ключові переваги концепції потенційного товару мають чотири основних вимоги та реалізуються у запропонованому методі лікування біологічних тканин живого організму. Ефективність лікування досягається за рахунок використання фіксованих режимів випромінювання. Метод регенерації структур організму запатентований та не буде можливості копіювання іншими фірмами-конкурентами.

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту та/або послуги, його фізичні складові, особливості процесу його надання (табл. 4.19).

Таблиця 4.19. Опис трьох рівнів моделі товару

Рівні товару	Сутність та складові		
I. Товар за задумом	Метод регенерації біологічних тканин організму забезпечує високу ефективність лікування пошкоджень поверхневих структур організму. Реалізований на основі використання комбінованого овипромінювання.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Вартість обслуговування	М	Е
	Зручність управління	Нм	Тх
	Мобільність	Нм	Тх
	Якість: запатентований метод, проведені дослідження розповсюдження теплових полів у сконструйованому фантомі.		
	Пакування: відсутнє		
	Марка: НТУУ «КПІ ім. І. Сікорського» Метод фоторегенерацій біологічних структур організму		
III. Товар із підкріпленням	До продажу: можливість аналізу та виключення похибок підбирання режимів випромінювання		
	Після продажу: можливість створення нових методів лікування структур організму		
За рахунок чого потенційний метод буде захищено від копіювання: патентування методики проведення лікування			

Метод розроблено з урахуванням механізму регенерації біологічних структур, поведження формених елементів крові під дією визначених довжин хвиль, розповсюдження оптичного випромінювання у спроектованому фантомі, визначенні щільності потужності при опроміненні. Метод буде захищено від копіювання за рахунок патентування методики проведення лікування.

Після формування маркетингової моделі товару слід особливо відмітити – чим саме проект буде захищено від копіювання. Захист може бути організовано за рахунок захисту ідеї товару (захист інтелектуальної власності), або ноу- хау, чи комплексне поєднання властивостей і характеристик, закладене на другому та третьому рівнях товару.

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватись при встановленні ціни на потенційний товар (остаточне визначення ціни відбувається під час фінансово-економічного аналізу проекту), яке передбачає аналіз ціни на товари-аналоги або товари субститути, а також аналіз рівня доходів цільової групи споживачів (табл. 4.20). Аналіз проводиться експертним методом.

Таблиця 4.20. Визначення меж встановлення ціни

№ п/п	Рівень цін на товари-замінники	Рівень цін на товари-аналоги	Рівень доходів цільової групи споживачів	Верхня та нижня межі встановлення ціни на товар/послугу
1	Апарат LED фототерапії US MEDICA Therapy Gold	6201грн.	8000-15000 грн.	5000 грн.
2	Апарат Геска-Універсал Маг	1200 грн.		1100 грн.

Встановлюємо верхню та нижню межі ціни на товар 5000 та 1100 грн так як рівень доходів середньостатистичного покупця варіюється у межах 8000-150000 грн. Становлювати ціну нижче 1100 грн не вигідно, а підняття не дасть змогу реалізувати проект.

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту, в межах якого приймається рішення (табл. 4.21):

- проводити збут власними силами або залучати сторонніх посередників (власна або залучена система збуту);
- вибір та обґрунтування оптимальної глибини каналу збуту;
- вибір та обґрунтування виду посередників.

Таблиця 4.21. Формування системи збуту

№ п/п	Специфіка закупівельної поведінки цільових клієнтів	Функції збуту, які має виконувати постачальник товару	Глибина каналу збуту	Оптимальна система збуту
1	Орієнтація на регулярні виплати по методу	Встановлення контактів із споживачами; формування попиту; Дослідницька робота зі збору даних метода Зменшення витрат в ході реалізації методу	Комбінований канал збуту (здійснюється через організацію з загальним капіталом фірми-виробника)	Проникнення в найбільш можливу кількість каналів збуту

В якості оптимальної системи збуту обрано проникнення в найбільш можливу кількість каналів збуту оскільки метод є вузькоспеціалізованим і потребує кращої реалізації для отримання прибутку.

Останньою складовою маркетингової програми є розроблення концепції маркетингових комунікацій, що спирається на попередньо обрану основу для позиціонування, визначену специфіку поведінки клієнтів (табл. 4.22) [48].

Таблиця 4.22. Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуються цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Орієнтація на впровадження такого методу у сві доступні галузі	Формальні/неформальні канали комунікацій (консультанти, виставки, мережа інтернет)	Доступність у домашньому використанні; Мобільність; Ефективність лікування; Зменшення часових меж	Закликання покупців до раціонального методу лікування	Подбай про своє здоров'я

Основними комунікаційними каналами виступають засобом інформування про товар для обраної цільової аудиторії виступають консультанти, виставки, мережа інтернет, що експериментально докажуть ефективність загоювання ран при використанні такого методу лікування живих структур організму.

Результатом пункту 5 є ринкова (маркетингова) програма, що включає в себе концепції товару, збуту, просування та попередній аналіз можливостей ціноутворення, спирається на цінності та потреби потенційних клієнтів, конкурентні переваги ідеї, стан та динаміку ринкового середовища, в межах якого буде впроваджено проект, та відповідну обрану альтернативу ринкової поведінки.

ВИСНОВКИ ДО РОЗДІЛУ IV

Згідно з проведеним аналізом робимо висновок, що вірогідність впровадження такого методу лікування у такі галузі медицини як військово-польова, спортивна, екстримальна, медицина катастроф є високою. При цьому наявний високий попит на немедикаментозні методи лікування як на вітчизняному ринку так і поза ним. Зважаючи на удосконалення, які відбуваються у системі охорони здоров'я та швидку зміну на методи лікування поверхневих ран можна підсумувати, що існують незначні обмеження для входу на ринок.

Даний проект має можливість вийти на ринок враховуючи низьку інтенсивність конкуренції. Запропонований метод лікування поверхневих ран істотно відрізняється від інших методів, має велику кількість особливостей. Складність реалізації такого методу покривається високою ефективністю лікування, відсутністю післяопераційних шрамів, сепсису та повторному зараженню опромінених тканин.

Аналізуючи потенційні групи установ, що користуватимуться таким методом, можна підсумувати, що попит може виникнути від військово-медичних, спортивних та науково-дослідних установ. Перечислені установи будуть зацікавлені у зменшенні часу перебування пацієнтів на стаціонарі та збільшенні кількості одужаних.

У проекті встановлено низькі ціни для заохочення інженерів-конструкторів використовувати саме такий метод лікування для реалізації його у апаратній частині.

Аналізуючи такий метод лікування з точки зору менеджменту, доцільно в подальшому реалізовувати обраний метод при конструюванні апаратної частини.

ВИСНОВКИ

У магістерській дисертації було проведено:

1. порівняльний аналіз існуючих методів і систем лікувального впливу електромагнітним випромінюванням на структури біологічних організмів для вибору доцільного шляху створення методу фоторегенерації тканин організму. Розглянуто сучасні промислові апарати для фоторегенерації тканин живого організму.
2. розроблено метод щодо підвищення ефективності лікувального впливу електромагнітного інтегрованого випромінювання використовуючи розроблений фантом.
3. створено та досліджено аналітичну модель розподілу енергетичних перетворень електромагнітного випромінювання при розповсюдженні в біологічній тканині НІЛВ.
4. створено експериментальний зразок фантому для використання при наукових дослідженнях та метод регенерації біотканин на основі експериментально досліджених режимів випромінювання.
5. здійснено маркетинговий аналіз такого методу фотолікування у використанні в військово-польовій, спортивній, екстремальній галузі, медицині катастроф; вірогідність впровадження такого методу лікування є високою. Даний проект має можливість вийти на ринок враховуючи низьку інтенсивність конкуренції, гнучкість модуляції сигналу.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ:

1. Свириденко Л. Ю. Динамика раневого процесса после воздействия высокоэнергетического лазерного излучения с длиной волны 1,047 Мкм на кожу и подлежащие мягкие ткани (экспериментально-гистологическое исследование) / Л. Ю. Свириденко. // Фотобіологія та фотомедицина. – 2017. – №1,2. – С. 55–63.
2. Ключко Т. Р. Вплив режимів світлового електромагнетного випромінювання на еритроцити барана / Т. Р. Ключко, А. Х. М. Дастжерди, Є. О. Коваленко та ін. // ВІСНИК НТУУ "КПІ", серія Приладобудування. – 2008. – №36. – С. 143–150.
3. Потологічна фізіологія: Підруч. для студ. вищ. фармац. навч. закл. і фармац. ф-тів вищ. мед. навч. Закладів / [А.І. Березнякова, В.М. Кузнецова, Н.І. Філімонова та ін.]. — Харків.: НФаУ: Золоті сторінки, 2003. — 424 с.
4. Москвин С.В. Эффективность лазерной терапии / Москвин Сергей Владимирович. — М. : Тверь: ООО «Издательство «Триада», 2014. —896 с.
5. Берлиен Х.П., Мюллер Г.И. Прикладная лазерная медицина. - М.: Интерэкспорт, 2007г. – 245 с.
6. Коробов А. М. Фототерапевтичні апарати Коробова А. – Коробова В. Серії «Барва» / А. М. Коробов, В. А. Коробов, Т. О. Лісна. – Х., 2015. – 176 с.
7. Toshio O. A Tribute to the late Endre Mester, The ‘Godfather’ of phototherapy / Ohshiro Toshio. // Laser therapy. – 2008. – №17. – С. 5–7.
8. Гейниц А. В. Внутривенное лазерное облучение крови / А. В. Гейниц, С. В. Москвин, А. А. Ачилов. – М.: Триада, 2012. – 336 с.
9. Москвин С. В. Основы лазерной терапии / С. В. Москвин. – М: Триада, 2016. – 896 с.

10. Изменение иммунореактивности у пациентов с гнойно-септическими ранами нижних конечностей на фоне сахарного диабета II типа после светового воздействия / [Е. М. Климова, А. М. Коробов, Ю. В. Иванова та ін.]. // Фотобіологія та фотомедицина. – 2017. – №1,2. – С. 64–72.
11. Ерофеева О. В. Эффективность применения лазеротерапии в комплексной коррекции функционального состояния эндотелия сосудов у пациенток с гипеоэстрогенемическим типом кожных покровов / О. В. Ерофеева. // Фотобіологія та фотомедицина. – 2010. – №1,2. – С. 54–60.
12. Гейниц А. В. Новые технологии внутривенного лазерного облучения крови: «ВЛОК+УФОК» и «ВЛОК-405» / А. В. Гейниц, С. В. Москвин. – Тверь, 2010. – 96 с.
13. Байбеков И. М. Сравнительная оценка влияния на кожу, микроциркуляцию и эритроциты воздействия излучением лазеров и светодиодов при лечении угрей / И. М. Байбеков, Ф. Ф. Хашимов. // Фотобіологія та фотомедицина. – 2014. – №3,4. – С. 54–58.
14. Light therapy by blue LED improves wound healing in an excision model in rats / [N. Adamskaya, P. Dungal, R. Mittermayr та ін.]. // Injury. – 2011. – С. 917–921.
15. Patent 372142 USA, IPC A61N 5/06 (2006.01) A61B 5/00 (2006.01) A61B 10/00 (2006.01) A61B 18/22 (2006.01) A61B 18/20 (2006.01). Human and animal tissue photoradiation system / Clark W.G. ; agent Borden Ladner Gervais LLP. — № CA1164952 ; filed date 03.04.1981 ; issued 03.04.1984.
16. Patent 2445840 USA, IPC H01J 61/38 (2006.01) A61N 5/06 (2006.01). Balanced blue spectrum therapy lighting / Bolta C. ; agent Borden Ladner Gervais LLP. — № CA2445840 ; filed date 21.10.2003 ; issued 23.04.2004
17. Patent 2482934 USA, IPC A61B 18/18 (2006.01) A61B 18/20 (2006.01) A61K 41/00 (2006.01). Low intensity light therapy for the manipulation of fibroblast-derived mammalian cells and collagen / Mcdaniel D.H.C. ; agent Sim & Mcburney. — № CA2482934 ; filed date 08.04.2003 ; issued 23.10.2003.

18. Patent 2554591 Canada, IPC A61K 41/00 (2006.01) A61K 31/07 (2006.01) A61K 31/203 (2006.01) A61K 31/409 (2006.01) A61K 31/555 (2006.01) A61N 5/06 (2006.01) A61P 17/10 (2006.01). Photodynamic therapy for the treatment of acne / Curaudeau A.H., Neydorff H. C., Tao J.S., Lam M. C., Curry P. M., Rubinchik V.H, David W. C. ; agent Gowling WLG. — № CA2554591 ; filed date 04.02.2005 ; issued 18.08.2005.
19. Patent 2644219 USA, IPC C12N 13/00 (2006.01) A61N 5/06 (2006.01). Method and apparatus for acne treatment using low intensity light therapy / Mcdaniel D.H. ; agent Sim & Mcburney. — № CA2644219 ; filed date 02.03.2007 ; issued 13.09.2007.
20. Patent 2684091 USA, IPC A61K 31/192 (2006.01) A61K 45/06 (2006.01) A61N 5/06 (2006.01) A61P 17/10 (2006.01). Use of a naphtoic acid derivative in combination with red and/or blue light for treating acne vulgaris / Colon L. ; agent Robic. — № CA2684091 ; filed date 05.05.2008 ; issued 13.11.2008.
21. Аппарат фототерапии Дюна-Т [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <http://www.transferfaktory.ru/apparat-fototerapii-dyuna-t>.
22. Геска Универсал Маг - аппарат фототерапии [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://hermes.com.ua/product/geska-universal-mag-apparat-fototerapii/>.
23. Аппарат для лечение раны BioBeam 660 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://hermes.com.ua/product/apparat-dlja-lechenie-rany-biobeam-660/>.
24. Аппарат для лечения ревматизма BioBeam 940 [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://hermes.com.ua/product/apparat-dlja-lechenija-revmatizma-biobeam-940/>.
25. Прибор для LED фототерапии US MEDICA Therapy Gold [Электронный ресурс] – Режим доступа до ресурсу: <https://www.massariba.com/product/pribor-dlya-led-fototerapii-us-medica-therapy-gold>.

- 26.Шкіра [Електронний ресурс] // wikipedia. – 2018. – Режим доступу до ресурсу:
<https://uk.wikipedia.org/wiki/%D0%A8%D0%BA%D1%96%D1%80%D0%B0>.
- 27.Гуляй П. Д. Кожные и венерические болезни / П. Д. Гуляй. – Гродно: Гродненский государственный медицинский университет, 2003. – 152 с.
- 28.Анатомия и гистология (клеточное строение) кожи. Особенности анатомии и гистологии кожи у детей [Електронний ресурс] // Medicine4us. – 2018. – Режим доступу до ресурсу: <http://www.medicine4us.ru/med4us-482-1.html>.
- 29.Імітаційна модель розповсюдження оптичного випромінювання в біотканинах / С. Д.Павлов, С. Є. Тужанський, Т. І. Козловська, А. В. Козак. // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – 2011. – №3. – С. 191–194.
- 30.McKibbin. L. Treatment of Post Herpetic Neuralgia using a 904nm (infrared) Low Incident Energy Laser: a Clinical Study / L. McKibbin, R. Downie // LLLT Symposium for Postherpetic // Neuralgia, 2003.— P. 35–39.
- 31.Reddi G. K. Lasers and their applikation / G. K. Reddi, L. Stehno-Bittel, C. S. Enwemeka // J. Med. Photobiol.— 1992.— Vol. 16,№ 3.— P. 347–355.
- 32.Луцевич Э. В., Влияние низкоинтенсивного лазерного излучения на функциональный потенциал лейкоцитов / Э. В. Луцевич, Р. Т. Коновалов, Т. Г. Пиркис // Бюлл. эксп. биол. и мед.— 1997.— Т. 123, № 4.— С. 395–398.
- 33.Беленький В. Я., Вайнер Б. Г. Перспективы использования тепловидения в косметологии. – Дерматовенерология Сибири. Наука и практика: Тез. докл. 2-й Сиб. конф.— Новосибирск: СО РАМН, 1997, С. 89–90.
- 34.Кузьмина И.Ю. Современные аспекты лазеротерапии / И.Ю. Кузьмина, Т. М. Краузе // международный медицинский журнал. – 2006. – Вып. 2. – с. 106-110.
- 35.Патент 113623UA, МПК А61В17/225 Спосіб руйнування конкрементів в

- організмі людини / Грибанова І.О., Ключко Т.Р.; заявл. 05.07.2016 ; опубл. 10.02.2017, Бюл. №3.
36. Barolet D. Light-Emitting Diodes (LEDs) in Dermatology / Daniel Barolet. // *Seminars in Cutaneous Medicine and Surgery*. – 2008. – №4. – С. 227–238.
37. In vivo absorption and scattering spectroscopy of biological tissues / [P. Taroni, A. Pifferi, A. Torricelli та ін.]. // *Photochemical & Photobiological Sciences*. – 2003. – №2. – С. 124–129.
38. Дастжерди А. М. Физиотерапевтический метод комплексного воздействия на рубцовые ткани / А. М. Дастжерди, Т. Р. Ключко, В. Ф. Рассохин. // *ВІСНИК НТУУ "КПІ".серія приладобудування*. – 2006. – №32. – С. 139–145.
39. Гемоглобин - основной белок крови [Электронный ресурс] // *Биохимия*. – 2017. – Режим доступа до ресурсу: <http://biokhimija.ru/hemoglobin/obmen-gemoglobina.html>.
40. Цианметгемоглобин [Электронный ресурс] // *Здоровье и медицина*. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: http://www.etolen.com/index.php?option=com_content&view=article&id=6559.
41. Цитохромы [Электронный ресурс] // *Медицинская энциклопедия*. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.medical-enc.ru/m/22/cytochromes.shtml>.
42. Оксидазы [Электронный ресурс] // *Биология и медицина*. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <http://medbiol.ru/medbiol/microbiol/000a9ce0.htm>.
43. Лейкоциты [Электронный ресурс] // *Википедия*. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: <https://ru.wikipedia.org/wiki>
44. Эритроциты в крови (RBC) [Электронный ресурс] // *Здоровье.Наука. Практика*. – 2018. – Режим доступа до ресурсу: https://science-health.com.ua/enciklopedia/exam_erythrocytes.html.
45. Гейниц А. В. Лазерная терапия в косметологии и дерматологии / А. В. Гейниц, С. В. Москвин. – М.: Триада, 2010. – 400 с.

46. Кушнир М. А. Физиотерапевтические методы лечения артромиологических поражений в комплексной терапии гемофилии : дис. канд. мед. наук / Кушнир М. А. – Ленинград, 1991. – 19 с.
47. Москвин С. В. Плазмаферез и лазерное освечивание крови / С. В. Москвин, Т. А. Фёдорова, Т. С. Фотеева. – М.: Триада, 2018. – 416 с. – (Триада).
48. Розроблення стартап-проекту [Електронний ресурс] : Методичні рекомендації до виконання розділу магістерських дисертацій для студентів інженерних спеціальностей / За заг. ред. О.А. Гавриша. – Київ : НТУУ «КПІ», 2016. – 28 с.