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

Приладобудівний факультет

Кафедра виробництва приладів

«На правах рукопису»

УДК _____

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ В.В. Шевченко

«14» 12 _____ 2018 р.

Магістерська дисертація
на здобуття ступеня магістра
зі спеціальності 152 Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка
на тему: «Прилад для фотодинамічної терапії»

Виконав:
студент VI курсу, групи ПБ-72мп
Задумов Ілля Дмитрович

Керівник:
к.т.н., доцент, старший науковий співробітник
Клочко Т.Р.

Консультант з розроблення стартап-проекту:
к.е.н., доцент, Бояринова К. О.

Рецензент:
д.т.н., професор, Киричук Ю. В.

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

Студент (-ка) _____

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-професійною програмою

Спеціальність (спеціалізація) – 152 «Метрологія та інформаційно-вимірювальна техніка»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____

«05» 11 2018 р.

ЗАВДАННЯ

на магістерську дисертацію студенту

Задумову Іллі Дмитровичу

1. Тема дисертації «Прилад для фотодинамічної терапії», науковий керівник дисертації Клочко Тетяна Реджинальдівна, доцент, к.т.н., старший науковий співробітник, затверджені наказом по університету від «05» листопада 2018 р. №4078-с

2. Термін подання студентом дисертації 10 грудня 2018 р.

3. Об'єкт дослідження: процес фотодинамічної терапії стоматологічних захворювань м`яких тканин ротової порожнини та знищення пігментних плям зубної емалі.

4. Вихідні дані: постійне лазерне випромінювання та модульоване лазерне випромінювання з довжиною хвили 650 нм.

5. Перелік завдань, які потрібно розробити: 1)Огляд, аналіз та класифікація сучасних методів фотодинамічної терапії м'яких тканин та відбілювання зубів. 2)Аналітична модель фото динамічної терапії ротової порожнини. 3)Розробка устрою приладу для фотодинамічної терапії. 4)Проведення експериментальних досліджень впливу лазерного випромінювання на фантомну мішень та на зуби людини. 5) Обробка та аналіз отриманих результатів. Висновки щодо проведених досліджень

6. Орієнтовний перелік графічного (ілюстративного) матеріалу: загальний вигляд приладу для фотодинамічної терапії, блок схема приладу, класифікація методів відбілювання зубів, результати експерименту та інші.

7. Орієнтовний перелік публікацій: наукова стаття, свідоцтво авторського права.

8. Консультанти розділів дисертації*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Розробка стартап-проекту	Бояринова К.О. к.е.н., доцент		

9. Дата видачі завдання 01 вересня 2018р.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання магістерської дисертації	Термін виконання етапів магістерської дисертації	Примітка
1	Огляд літературних джерел	01.01.2018	
2	Постановка задачі дослідження	01.01.2018-01.02.2018	
3	Аналіз та розробка класифікацій методів відбілювання	01.02.2018-15.03.2018	
4	Розробка аналітичної моделі фото динамічної терапії ротової порожнини	15.03.2018-20.06.2018	
5	Проведення експериментів	01.09.2018-15.10.2018	
6	Обробка результатів	15.10.2018-01.11.2018	
7	Розробка стартап-проекту	01.11.2018-10.11.2018	
8	Підготовка ПЗ та презентації	10.11.2018-10.12.2018	

Студент І.Д. Задумов

Науковий керівник дисертації Т.Р. Клочко

РЕФЕРАТ

Обсяг роботи: 77 сторінок.

Кількість ілюстрацій: 26 штук.

Кількість таблиць: 36 штук.

Кількість джерел за переліком посилань: 37 штук .

Актуальність теми

За останні роки, вітчизняні та іноземні спеціалісти активно досліджуюсь появу та розвиток запальних процесів у м`яких тканях рота. Серед актуальніших задач стоматології є захворювання парадонтит. Лікарям стоматологам запропоновано багато методів лікування парадонтиту, але найкращі результати серед усіх має антимікробна фотодинамічна терапія. У зв`язку з цим існує потреба розробки нових приладів для фотодинамічної терапії та дослідження впливу різного виду лазерного випромінювання на тканини ротової порожнини.

Мета й завдання дослідження

1. Мета дослідження – створення приладу з комбінованим впливом на м`які тканини ротової порожнини та пігментацію зубів.

2. Завдання дослідження:

a. Огляд, аналіз та класифікація методів та засобів відбілювання зубів;

b. Аналітична модель фотодинамічної терапії ротової порожнини;

c. Аналітичні засади приладу фотодинамічної терапії;

d. Розробка приладу з комбінованим впливом;

e. Розробка плану експерименту. Підготовка установки для оцінки впливу лазерного модульованого та постійного випромінювання на м`які тканини ротової порожнини та зубів;

f. Обробка та аналіз отриманих експериментальних даних;

Об’єкт дослідження - процес фотодинамічної терапії стоматологічних захворювань м`яких тканин ротової порожнини та знищення пігментних плям зубної емалі.

Предмет дослідження - прилад фотодинамічної терапії тканин ротової порожнини.

Методи дослідження: методи статистичного аналізу, аналітична модель досліджень з теорії обробки світлових сигналів.

Методика реалізації поставлених задач: поставлені задачі вирішуються шляхом аналітичного представлення моделі взаємодії параметрів лазерного випромінювання (постійного та модульованого) з м`якими тканинами ротової порожнини, та розробки експериментальної установки, виконання досліджень впливу модульованого та постійного випромінювання на тканини ротової порожнини та аналіз отриманих результатів.

Наукова новизна одержаних результатів:

Запропоновано застосування принципу лазерофореза для лікування як м'яких тканин навколо зубів, так і пігментації зубів.

Створено методику використання режимів модуляції лазерного випромінювання для підвищення ефективності впливу

Розроблено нові апаратурні рішення обладнання для проведення фотодинамічної терапії тканин ротової порожнини різної густини.

Практичне значення одержаних результатів

1.Акт впровадження в науково-дослідну роботу результатів магістерської дисертації «Прилад для фотодинамічної терапії». Роботу виконано студентом 6-го курсу НТУУ «КПІ» ПБФ гр. ПБ-72мп Задумовим Іллею Дмитровичем. В організації НТУУ «КПІ» ПБФ, кафедра виробництва приладів.

Апробація результатів дисертації

Результати досліджень отримані в даній магістерській дисертації були оприлюднені на:

- XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених «Ефективність інженерних рішень у приладобудуванні», 04-05 грудня 2018 р. м. Київ, Україна

Публікації: Результати проведених досліджень опубліковані в наступних роботах:

1. Свідоцтво авторського права №83256 від 28.09.2018.
2. Задумов І.Д., Метод відбілювання зубів за допомогою модульованого лазерного випромінювання / ЕФЕКТИВНІСТЬ ІНЖЕНЕРНИХ РІШЕН У ПРИЛАДОБУДУВАННІ// матеріали XIV Всеукраїнська науково-практична конференція студентів, аспірантів та молодих вчених 04-05 грудня 2018р. / м Київ, Україна 2018, НТУУ «КПІ» ім. І. Сікорського.

ABSTRACT

Workload: 77 pages.

Number of illustrations: 26 pieces.

Number of tables: 36 pieces.

Number of sources by the list of links: 37 pieces.

Actuality of theme

In recent years, domestic and foreign specialists are actively exploring the emergence and development of inflammatory processes in soft tissues of the mouth. Among the more urgent tasks of dentistry is the disease of paradontitis. Doctors have been offered many dental treatment methods for dental practitioners, but the best results among all have antimicrobial photodynamic therapy. In connection with this, there is a need to develop new devices for photodynamic therapy and to study the effects of different types of laser radiation on the tissues of the oral cavity.

The purpose and tasks of the study

1. The purpose of the study - the creation of a device with a combined effect on soft tissues of the oral cavity and pigmentation of teeth.

2. Research Objective:

a. Review, analysis and classification of methods and means of teeth whitening;

b. Analytical model of photodynamic therapy of the oral cavity;

c. Analytical foundations of photodynamic therapy device;

d Development of the device with combined effect;

e. Develop an experiment plan. Preparation of an installation for assessing the effect of laser modulated and constant radiation on soft tissues of the oral cavity and teeth;

f Processing and analysis of experimental data obtained;

The object of the study is the process of photodynamic therapy of dental diseases of soft tissues of the oral cavity and the destruction of pigment spots of the tooth enamel.

Subject of research - device photodynamic therapy of oral tissues.

Methods of research: methods of statistical analysis, analytical model of studies on the theory of processing light signals, methods of theoretical processing of light signals.

The method of realization of the set tasks: the set tasks are solved by analytical representation of the model of interaction of parameters of laser radiation (constant and modulated) with soft tissues of the oral cavity, and the development of an experimental installation, research on the effects of modulated and permanent radiation on the tissues of the oral cavity and analysis of the results.

Scientific novelty of the obtained results:

The use of laser therapy for the treatment of both soft tissues of teeth and pegmentation of teeth.

The practical value of the results

1.Act introduction of the research results of the master's thesis "The device for photodynamic therapy". The work was performed by the student of the 6th year NTUU "KPI" PBF gr. PB-72mm Conceived by Ilya Dmitrievich. In the organization NTUU "KPI" PBF, Department of the manufacture of devices.

Approbation of the results of the dissertation

The results of the research received in this master's thesis were made public on:

• XIV All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists "Efficiency of Engineering Solutions in Instrumentation", December 04-05, 2018 Kyiv, Ukraine Publications: The results of the conducted researches are published in the following works:

1. Certificate of Copyright No. 83256 dated 09/28/2018.

2. Zudumov ID, Method of teeth whitening with the help of modulated laser radiation / EFFICIENCY OF ENGINEERING SOLUTIONS IN APPLIED DESIGN // materials of the XIV All-Ukrainian Scientific and Practical Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists 04-05 December 2018. / m Kiev, Ukraine 2018, NTUU "KPI" them. I. Sikorsky

Зміст

Перелік умовних позначень…….. 11

Вступ…… 12

Розділ 1. Теоретична частина…… 13

1.1 Огляд та аналіз літературних джерел за темою дослідження ……..... 13

1.2 Проблеми фотодинамічної терапії з точки зору медицини…… 15

1.3 Огляд, аналіз та класифікація сучасних методів відбілювання зубів та існуючих приладів…….. . 19

1.3.1 Сучасні методи відбілювання зубів…… 19

1.3.2 Сучасні стоматологічні лазерні прилади…… 21

Висновки до 1 розділу…… 29

Розділ 2. Аналітична модель фотодинамічної терапії ротової порожнини… 30

2.1 Аналітичні засади приладу фотодинамічної терапії…… 30

2.2 Хімічні реагенти……. 34

2.3 Взаємодія лазерного випромінювання з тканинами ротовою порожнини та зубами……. 35

Висновки до 2 розділу…… 38

Розділ 3. Експериментальна частина…… 39

3.1 Методика експлуатації приладу……. 39

3.1.1 Дослідження проникності фотосенсибілізатора у тканини фантома під впливом лазерного випромінювання…….. 39

3.1.2 Дослідження знищення пігментації на зубах під впливом лазерного випромінювання……. 43

3.2 Результати експериментів…….. 45

3.3 Устрій приладу фотодинамічної терапії…… 54

3.3.1 Структурна схема приладу…….. 54

3.3.2 Загальний вигляд приладу…….. 56

3.3.3 Підбір лазерного джерела…… 56

Висновки до 3 розділу…….. 58

Розділ 4. Розроблення стартап проекту…….. 59

4.1 Опис ідеї проекту……. 59

4.2. Технологічний аудит ідеї проекту……. 61

4.3. Аналіз ринкових можливостей запуску стартап-проекту……... 61

4.4. Розроблення ринкової стратегії проекту……... 67

4.5. Розроблення маркетингової програми стартап-проекту……. 69

Висновки до розділу 4…… 72

Загальні висновки……. 73

Список використаної літератури…….. 74

Додатки

ПЕРЕЛІК УМОВНИХ ПОЗНАЧЕНЬ, СИМВОЛІВ, СКОРОЧЕНЬ І ТЕРМІНІВ

ФДТ – фотодинамічна терапія;

ФС- фотосенсибілізатор;

АФДТ – антимікробна фотодинамічна терапія.

Вступ

В даний час лазерні технології активно використовуються для вирішення широкого класу задач в різних областях науки і техніки від фізики і хімії до біології і медицини. За допомогою лазерного випромінювання виробляються різні технологічні операції, дослідження, вимірювання та діагностика.

Сучасна стоматологія має в своєму розпорядженні інноваційними технологіями в лікуванні всіляких захворювань ротової порожнини. Так, активне поширення в щоденній стоматологічній практиці отримало нове і актуальний напрямок - лазерна стоматологія. У наш час в більшості країн світу спостерігається інтенсивне впровадження лазерного випромінювання в біологічних дослідженнях і в практичній медицині. Розвиток сучасної науки і техніки призвело до того, що лазерні апарати зайняли гідне місце в арсеналі лікаря в боротьбі з різними хворобами. Лазери широко використовуються в офтальмології, дерматології, урології, онкології і гінекології. За останні роки напівпровідникові лазери стали широко застосовуватися і в стоматології. Лазери комфортні для пацієнта і мають ряд переваг в порівнянні з традиційними методами лікування. В даний час переваги застосування доданих лазерів в стоматології доведені практикою і незаперечні.

Розділ 1. Теоретична частина

1.1 Огляд та аналіз літературних джерел за темою дослідження

Фотодинамічна терапія (ФДТ) – новий перспективний метод лікування як онкологічних та неонкологічних захворювань. ФДТ поєднує в собі елементи фізичного методу, оскільки включає як обов'язковий компонент джерело лазерного випромінювання, і хіміотерапії - за рахунок використання фотосенсибилизаторів.[1] З самого початку свого виникнення метод ФДТ застосовувався майже виключно в онкології, але в останні роки він вийшов з цих рамок і поширився по багатьох напрямках медицини. [2]

ФДТ заснована на спільній дії в присутності кисню хіміотерапевтичних (ФС) і фізичних (лазерне випромінювання, випромінювання світлодіодів та інших джерел) факторів. Окремо взяті сенсибілізатори і світлове опромінення належну (фотодинамічної) дію не надають. Умовно в практичному застосуванні методу можна виділити кілька етапів. На першому з них пацієнтові вводять, частіше внутрішньовенно, розчин ФС. Під час другого етапу, що триває від декількох годин до 3 діб, барвник накопичується в пухлини (або інший цільовий тканини). За флюоресценції сенсибілізатора можна судити про розміри і локалізації пухлини. На третьому етапі уражену ділянку тіла опромінюють світлом певної довжини хвилі і інтенсивності протягом 15-20 хв. Після інтенсивного опромінення в ділянках пухлини, що містять ФС, розвиваються фотофизические і фотохімічні реакції, які в кінцевому рахунку призводять до загибелі ракових клітин. При цьому сусідні нормальні клітини зберігаються. На четвертому етапі, що триває від 2 до 4 тижнів, відбувається руйнування пухлини і часткове або повне відновлення оточуючих її тканин. [3]

Перебуваючи на початку свого розвитку, ФДТ має широкі перспективи для подальшого вдосконалення і використання в клінічній медицині. Торкнемося хоча б найважливіших з них, що намітилися в останні роки і обговорюваних на різних форумах з лазерної медицини і ФДТ. Терапевтична ефективність ФДТ залежить

від дуже багатьох чинників, тому одним із напрямів розвитку і вивчення методу є його оптимізація відносно пухлин різної локалізації та ступеня злоякісності. Вона має на увазі науково обгрунтований вибір таких умов і параметрів ФДТ, які б забезпечували найкращий терапевтичний, функціональний і косметичний результат. Хорошим прикладом детальної розробки методу можуть служити методичні рекомендації "Фотодинамічна терапія при раку слизової оболонки порожнини рота, мови і нижньої губи", опубліковані раніше в журналі [4].

Перспективним напрямком розвитку ФДТ є розробка способів і методів її застосування при непухлинних захворюваннях. Як уже згадувалося, ФС в високих концентраціях накопичуються не тільки в тканинах пухлин, але і в інших органах і тканинах: шкірі, клітинах ретикулоендотеліальної системи, печінки, нирках, селезінці, запальних і пролиферирующих тканинах. Це є важливою передумовою для використання ФДТ при багатьох захворюваннях непухлинної природи. перші експериментальні і клінічні дослідження підтверджують правильність такого припущення. Так, важливою сферою застосування ФДТ стає гнійна хірургія в зв'язку з доведеною високу антибактеріальну активність методу. Клінічні випробування підтвердили ефективність ФДТ: при лікуванні довго не гояться гнійних ран, трофічних виразок, пролежнів, бешихового запалення і ін. Вона виявилася ефективною у хворих з гнійно-запальними захворюваннями м'яких тканин, які не піддавалися лікуванню традиційними методами, в тому числі із застосуванням антибіотиків.

В даний час активно вивчається застосування ФДТ при інфекційних захворюваннях, формується окремий напрямок - антимікробний фотодинамічний терапії (АФДТ). Локальний розподіл фотосенсибілізатора, локальне світловий вплив, застосування світловолоконних оптики і ендоскопічної техніки дозволяють отримувати хороший клінічний ефект. За даними ряду авторів, було показано, що більшість грамнегативних і грампозитивних бактерій може бути успішно фотоінактівіровано із застосуванням водорозчинних фталоцианинов [5].

Дані інших авторів показали хороший клінічний ефект і відсутність папіломавірусу в гістологічних препаратах після проведення фотодинамічної терапії [6].

Останнім часом ФДТ гнійних ран проводиться з використанням фотосенсибилизаторов хлоринового ряду і робить позитивний вплив на перебіг ранового процесу, що проявляється вираженим антибактеріальну дію, прискоренням очищення ран від гнійно-некротичного детриту і скороченням термінів загоєння ранових дефектів [7].

У магістерській дисертації більш детально буду досліджувати антимікробну фотодинамічну терапію.

1.2. Проблеми фотодинамічної терапії з точки зору медицини

За допомогою фотодинамічної терапії ефективно лікують такі хвороби ротової порожнини:

- Гінгівіт;
- Парадонтит;
- Зміна природнього кольору зубів.

Гінгівіт – це термін, яким позначають запалення ясен. Класичні симптоми гінгівіту - почервоніння, набряклість, кровоточивість і хворобливість ясен під час чищення зубів щіткою. Гінгівіт може призводити до утворення зубоясенної кишені, щілинного отвору між зубом і яснами, де накопичується зубний наліт і залишки їжі. Деякі пацієнти скаржаться на неприємний запах із рота або неприємний присмак у роті, навіть якщо їхня хвороба перебуває на початковій стадії.

Рис.1.1 Приклад ясен з гінгівітом [8]

Основною причиною гінгівіту є накопичення зубного нальоту, шару бактерій, який безперервно накопичується навколо, на і між зубами, головним чином у важкодоступних місцях. Ці бактерії подразнюють ясна і можуть призвести до їх запалення. Крім того, між яснами і зубами утворюються невеликі щілини, або «кишені». При відсутності лікування ці «кишені» можуть стати глибшими і перерости в більш серйозні проблеми, такі як чутливість зубів або пародонтит. Ясна курців більш сприйнятливі до інфекції, оскільки паління і вживання тютюну зменшує потік крові і поживних речовин до тканин ясен. [9]

Пародонтит - це запальне захворювання ясен, при якому відбувається атрофія тканини навколо зуба. Недуга широко поширений і зустрічається практично так само часто, як і карієс. Несвоєчасне лікування пародонтиту тягне за собою розвиток пародонтозу, а після - втрату зуба.

Симптоми пародонтиту можуть бути різними, в залежності від ступеня прояву захворювання. Чим важче стадія недуги, тим більше неприємні ознаки патології турбують хворого. До основних симптомів відносяться [11]:

- свербіж і пульсація в яснах;
- дискомфорт при надкусиваніі і жуванні;
- деяка рухливість зубів;
- кровоточивість і набухання ясен;

- неприємний запах з ротової порожнини, яка не усувається гігієнічними процедурами;
- подовження нижньої частини зуба.

Рис. 1.2 Тяжка форма парадонтиту [10]

Розвивається недуг переважно в двох випадках: при несвоєчасному лікуванні пульпіту або гінгівіту, а також в результаті неякісного пломбування каналів зуба

Симптоми і лікування пародонтиту залежать від форми процесу запалення, який може мати яскраво виражені прояви або протікати з практично непомітними ознаками. Виходячи з цього, виділяють кілька стадій недуги: Гострий пародонтит. Супроводжується болем, а також набряком ясен і навіть припухлістю щоки. Хронічний пародонтит. Протікає з мінімальною симптоматикою, а найчастіше - без будь-яких ознак. Загострення хронічної форми. Недуга періодично прогресує, в зв'язку з чим з'являється свищ, що вивільняє гній. В результаті цього спостерігається зниження і зникнення симптомів. При певних умовах, таких як ослаблення імунітету або переохолодження, захворювання знову набуває особливої гостроти [12]

Зміна природнього кольору зубів. Зуб має безліч відтінків, з природним переходом кольору від більш темного в придесневій третині зуба до світлого у ріжучого краю. Індивідуальний природний колір зубів головним чином

визначається дентином, але на нього впливають колір, прозорість, товщина і ступінь мінералізації емалі.

Рис.1.3 Приклад зміни кольору зубів [13]

Причини фарбування зубів різноманітні. Зараз дослідники виділяють зовнішнє і внутрішнє забарвлення. Зовнішнє фарбування відбувається в результаті місцевого впливу ряду факторів на тканини зуба, при цьому хромогени розташовуються зовнішньо (на поверхні зуба, в пелликуле). Внутрішнє зміна кольору відбувається в результаті системного впливу на організм людини, хромогени розташовуються в тканинах зуба (зазвичай в дентині); або внутрішня зміна кольору є результатом захворювань ендодонтії. Найпопулярніші причини приведені в таблиці 1.1

Таблиця 1.1. Причини зміни кольору зубів.

Причини зміни кольору зубів	Колір
1.Зовнішні	
Чай, кава та інші продукти	Коричневий/чорний
Цигарки, табак	жовтий
Погана гігієна рта	Жовто коричневий
2.Внутрішні	
Метаболічні	Пурпурний\коричневий
Вікові	жовтий
Спадкові	Коричнево чорний
Фториди	Жовтий, сірий, чорний
Травматичні	Коричнево-червоний

У магістерській дисертації більш детально розглянуто відновлення кольору зубів.

1.3 Огляд, аналіз та класифікація сучасних методів відбілювання зубів та існуючих приладів

1.3.1 Сучасні методи відбілювання зубів.

З розвитком науки, методи відбілювання зубів стають все досконаліші. Усі методи відбілювання зубів можна поділити на 2 групи: професійне відбілювання та методи домашнього відбілювання. Класифікація цих методів показано на рис 1.4.

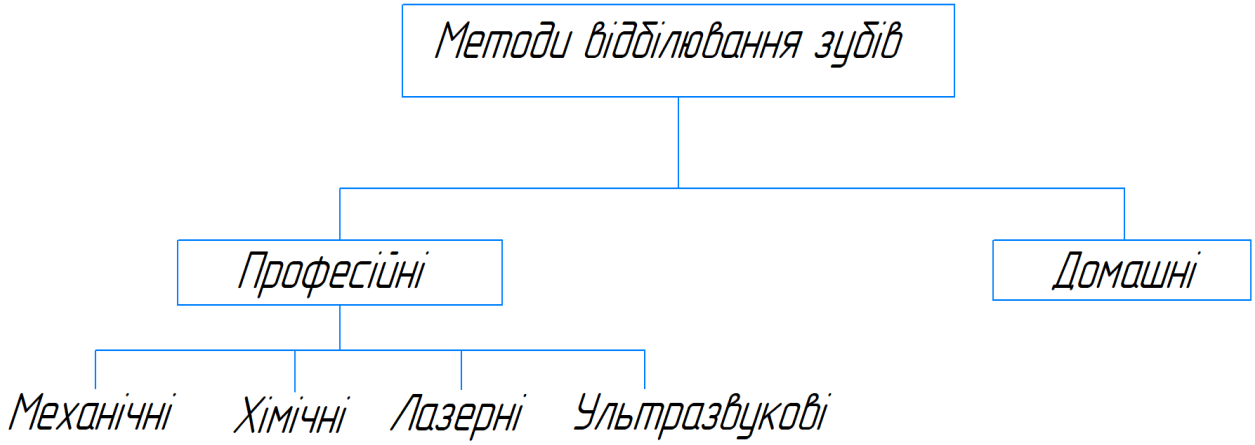

Рис.1.4 Класифікація методів відбілювання зубів

До методів домашнього відбілювання можна віднести: відбілюючий олівець, відбілюючі смужки та спеціальні зубні пасти. Домашні методи зробити зуби світлішими доступніші за ціною, не вимагають відвідування стоматолога, але не дають швидкого результату [14].

Професійне відбілювання зубів. Це процедура в умовах стоматологічного кабінету і під безпосереднім контролем стоматолога. При цьому на емаль зубів може надаватися механічне або хімічний вплив. Ефективність останнього може бути посилена проникаючу здатність ультразвуку, лазера або світла, які

виступають в якості активатора і провідника для реагенту, що проникає вглиб емалі.

До професійних методів відбілювання можно віднести: фотовідбілювання, Air Flow, хімічне відбілювання, ультразвукове відбілювання та лазерне відбілювання.

Фотовідбілювання це один з найбільш «молодих» методів відбілювання. В ході його застосування на видиму поверхню зубів наносять спеціальний відбілюючий гель, з мінімальною концентрацією перекису водню, яка під прямим впливом світла, випромінюваного галогеновой лампою, активізується і проникає вглиб емалі, розщеплюючи при цьому її пігментний наліт. До переваг цього метода можна віднести швидкий видимий ефект а також, якщо дотримуватися рекомендацій стоматолога ефект зберігається до 2-х років. Недоліки: це тривалість процедури (1,5 - 2 години в кріслі стоматолога), неприємний присмак у роті після процедури та може бути присутнім ефект «неприродною білизни» зубів, з блакитним відтінком. [15]

Air Flow це механічне чищення емалі, яка ефективно видаляє з поверхні зубів наліт і тверді відкладення (камінь). Для її проведення використовується піскоструминне обладнання Air flow, яке подає на поверхню емалі потік високого тиску, що складається з води, абразивного речовини і повітря. Як абразив використовуються кристали звичайної соди, руйнують зубні відкладення і полірують емаль. Недоліками цього методу можно вважати освітлення зубів на 2-3 тона а також під час процедури пацієнти з чутливою емаллю відчувають болісні відчуття. [16]

Хімічне відбілювання це метод нанесення на видиму поверхню зубів спеціальної хімічної речовини на основі перекису водню. Проникаючи всередину емалі, воно руйнує молекули пігменту, і зуби стають на 4 - 10 тонів світліше. Цей метод застосовують меньше тому що він має ряд протипоказань для проведення процедури, Зубна емаль стає більш чутливою. При поганій ізоляції ясен під час процедури можна отримати їх опік. [15]

Ультразвукове відбілювання це використання ультразвуку в поєднанні з спеціальними пастами і гелями на основі окислювачів, які попередньо наносять на видиму поверхню зубів, дає досить хороший результат, і дозволять освітлити емаль на 2 - 3 тони. [17] Недоліком цього метода можно вважати те що для ефекту потрібно провести декілька процедур.

Найпопулярніший метод - це лазерне відбілювання зубів. Досить полегшений режим відбілювання виконується за допомогою перекису водню з активуванням його лазерним випромінюванням. Загальний час впливу на кожен зуб - до 3-х хвилин. Завдяки цьому практично відсутня чутливість під час відбілювання зубів, ефект більш виражений, так як відбілювання зубів відбувається не тільки за рахунок дії перекису, а й за рахунок здатності самого лазера розщеплювати пігменти. [18]

Лазерне відбілювання зубів - набагато ефективніше інших методів. Але він має ряд недоліків: не відбілює кераміку та пломбувальні матеріали, також це ціна процедури та фотокаталізатора, Деякі фотокалізатори можуть підвищувати чутливість зубів. Тому потрібно знайти дешевий фотокаталізатор, щоб зменшити ціну процедури та дослідити, як впливає модульоване лазерне випромінювання на процедуру відбілювання.

1.3.2 Сучасні стоматологічні лазерні прилади.

У сучасній стоматології використовують різні типи лазерних приладів: високоінтеснивні (для видалення зубів та небажаних об’єктів у ротовій порожнині) та низькоінтенсивні (використовуються у лазеротерапії).

Більш детально розглянемо низькоінтенсивне лазерне випромінювання. Під впливом низькоінтеснивного випромінювання відбувається фото індукція макромолекул, виконується зміна форми води та появу іонів кальцію у цитозоле. Низькоінтенсивне випромінювання ініціює такі біохімічні та фізіологічні реакції:

- Активація метаболізму кліток та пригнічення їх функціональної активності;
- Стимуляція регенеративних процесів;

- Противовоспалительная действие;
- Активація мікроциркуляції крові та підвищення рівня трофічного забезпечення тканин;
- иммуностимулирующая дію.

Завдяки регенераційним, протизапальним, та іммуностимулюючих властивостям низькоінтенсивні лазерні приладу широко застосовуються у фотодинамічній терапі. Далі наведенно аналіз існуючих стоматологічних лазерних пристроїв.

Апарат "АЛОД-01". Лазерний хірургічний апарат «АЛОД-01» (рис.1.5) - це напівпровідниковий з світловодним типом передачі лазерного променя.

Рис.1.5 Зовнішній вигляд апарату «АЛОД-01» [19]

Апарат «АЛОД-01» успішно застосовується у:

- Гінекології;
- Дерматології;
- Стоматології;
- Оторингології;
- Урології.

Переваги апарату: безкровність, стерильність, висока локальність впливу з мінімальним пошкодженням навколишніх тканин, ефективний гемолімфостаз. [19]

Сучасна, прогресивна світловодна схема транспортування лазерного променя забезпечують в порівнянні з маніпуляторними апаратами:

1. Високий ступінь свободи і «ювелірність» взаємодії, гнучку зміну режимів роботи, відкритий спосіб впливу через ендоскоп, катетер, троакар, голку;

2. Контактний або безконтактний спосіб впливу;

3. Сумісний з інструментом імпортного виробництва;

4. Система «Вмикай і працюй» протягом 5 секунд призводить апарат готовим до вжитку;

5. Висока надійність, не вимагає періодичного технічного обслуговування;

6. Ресурс роботи лазерів понад 5000 годин;

7. Компактні габарити.

Технічні характеристики приладу наведенні в таблиці 1.2

Таблиця 1.2 Технічні характеристики приладу «АЛОД-01»

Довжина хвилі випромінювання	662 нм
Потужність випромінювання:	0.4, 2, 3, 5 Вт (плавне регулювання).
Режим роботи	безперервний, імпульсний.
Тривалість експозиції	100 мс - 1 ч.
Діаметр волокна	200, 400, 600 мкм

Далі розглянемо **хірургічний лазер "Лахта-Мілон"**

Рис. 1.6 Прилад «Лахта-Мілон» [20]

Технічні характеристики приладу наведено в таблиці 1.3.

Таблиця 1.3 Техінчні характеристики «Лахта-Мілон»

Довжина хвилі випромінювання	**662 нм.**
Вихідна потужність випромінювання	0.6, 1.2, 1.8, 2.4, 3.0, 3.6 Вт
Режим завдання часу експозиції	Автоматичний
Довжина хвилі прицільного лазера	532 нм
Час експозиції, безперервно	0,01 с - 6 ч
Напруга, В	220 ± 22 В
Частота	50 ± 0.5 Гц
Максимальна споживана потужність	10Вт
Час встановлення робочого режиму	не більше 4
Діапазон робочих температур	-10 ... +35° С
Габаритні розміри	210 х 180 х 100 мм
Маса	2 кг

Апарати «Лахта-Мілон» (рис.1.6) для лазерної хірургії та фотодинамічної терапії мають ряд безумовних переваг як в порівнянні з лазерними аналогами, так і по відношенню до хірургічних апаратів інших видів впливу (електрохірургічних, радіохвильових, кріохірургічних і т.д.). До таких переваг належать:

Висока ефективність - лазерне випромінювання має високі коагулирующими і стерилізують властивостями. Тонкість налаштувань потужності, довжини імпульсу і паузи, наявність імпульсного і змішаного режимів роботи дозволяє проводити операції з мінімальним термічним ушкодженням оточуючих тканин.

Універсальность- апарати для резекції і коагуляції Лахті-Мілонов застосовуються практично у всіх областях медицини завдяки варіабельності параметрів випромінювання (потужності і довжини хвилі).

Можливість виготовлення апаратів з двома незалежними лазерними модулями в одному корпусі - для різних видів впливу: лазерної хірургії, фотодинамічної терапії, флебологічний лазер або ЛІТТ. Вартість двухволнового апарату Лахті-Мілонов істотно нижче вартості двох апаратів окремо.

Використання оптичного волокна діаметром від 300 до 600 мкм - мінімальний діаметр дозволяє вводити світловод в канали ендоскопів та пункцій голки.

Високий ресурс лазерних діодів - до 20 000 годин безперервної роботи - продовжує термін служби апаратів Лахті-Мілонов і мінімізує витрати на післягарантійне обслуговування.

Зручність і легкість роботи - завдяки зручному, інтуїтивно зрозумілому інтерфейсу освоїти роботу з апаратом Лахті-Мілонов можна за короткий термін. Апарат готовий до роботи відразу після включення. Невеликі габарити, наявність виносного інструменту і спеціальних пристроїв для обробки гнучких світловодів істотно скорочують час процедури і підготовки апарату до подальшої роботи [20].

Апарат фізіотерапевтичний світлодіодний червоного випромінювання Фотодін-К. Апарат фізіотерапевтичний світлодіодний червоного випромінювання Фотодін К використовують для активації фотосенсибілізатора «РадаДент плюс».

Рис. 1 7 Прилад Фотодін-К [21]

Технічні характеристики приладу наведено в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4. Технічні характеристики приладу Фотодін-К

Довжина хвилі випромінювання	660 мкм
Максимальна потужність	900 мВт
Габарити оптичного блоку	d=28мм, l= 160мм
Маса	250 г
Напруга	220В/50Гц
Час безперервної роботи	45хв

Показанням до застосування є: інфекційно-запальні захворювання пародонту і слизової оболонки порожнини рота, гінгівіт, локальний і генералізований пародонтит, екзогенний дисколорит. Крім того метод

фотодинамічної терапії показаний для поліпшення мікроциркуляції крові та обміну речовин в тканинах пародонта. [21]

Протипоказаннями до застосування цієї технології є: вагітність, дитячий вік, психічні захворювання в стадії декомпенсації і захворювання серцево-судинної системи в стадії декомпенсації.

Аппарат лазерный терапевтический "Ліка-терапевт М". Апарат «Ліка-терапевт М» призначений для застосування в якості джерела лазерного випромінювання видимого і інфрачервоного спектральних діапазонів при проведенні процедур лазерної та фотодинамічної терапії. Загальний вигляд приладу наведено на рисунку 1.8.

Рис. 1.8 Прилад «Ліка-терапевт М» [22]

Апарат забезпечує:

- Контроль та регулювання і контроль потужності видимого і інфрачервоного випромінювання;
- установку і контроль часу процедури;
- модуляцію випромінювання;
- контроль дози випромінювання. [22]

Технічні характеристики приладу наведено в таблиці 1.5

Таблиця 1.5 Технічні характеристики приладу «Ліка-терапевт М».

Число одночасно працюючих каналів	1
Частота модуляції лазерного випромінювання	0,1 - 99,9 Гц;
Реєстрована доза випромінювання	0,01 - 99,9 Дж;
Споживана потужність:	не більше 10 Вт;
Живлення:	220 В / 50 Гц;
Габаритні розміри:	245 * 140 * 75;
Маса, не більше	1,1 кг.

Розглянемо **хірургічний діодний лазер GRANUM для стоматології.** Хірургічний діодний лазер GRANUM (рис1.9) - це стоматологічний лазер з додатковим випромінюють модулем для лікування за технологією фотодинамічної терапії ФДТ з довжиною хвилі 660 нм під фотосенсибілізатори (барвники) останнього покоління.

Рис. 1.9 Прилад хірургічний діодний лазер GRANUM для стоматології [23]

Цей прилад застосовуэтьсяв більш ніж в 40 стоматологічних процедурах:

- хірургічні: біопсія, зупинка кровотечі і коагуляція, лікування стоматиту, герпесних і афтозних виразок, лейкоплакії, френектомія, гінгівектомія і гінгівопластика, розтин і дренаж абсцесів, папілектомія, видалення фібром і гіперплазних тканин, відкриття непрорізавшихся або частково прорізаються зубів, відкриття імплантатів, подовження клінічної коронки зуба, Вестибулопластика;
- пародонтальні: лазерний кюретаж м'яких тканин, видалення патологічних тканин з кореневих кишень (деепітелізації), видалення

грануляційних, некротичних тканин в пародонтальному кишені, зменшення глибини кишень, відновлення прикріплення ясен, усунення рухливості зуба; фотодинамічна терапія пародонтальних кишень;

- ортопедичні: ретракція ясен, зупинка кровоточивості ясенної борозенки, підготовка ясенної борозенки перед отриманням відбитка;
- терапевтичні: стерілізація кореневих каналів; стерилізація каріозних порожнин і фісур, в тому числі методом ФДТ, лікування афтозного стоматиту, гінгівіту, герпесу, хейліту, переімплантіта, в тому числі методом ФДТ,
- косметичні: відбілювання зубів (лазерна активація складів для відбілювання). [23]

Найбільш універсальний діодний стоматологічний лазер, який використовується в широкому спектрі лікування. Технічні характеристики приладу наведено в таблиці 1.6.

Таблиця 1.6 Технічні характеристики приладу хірургічний діодний лазер GRANUM для стоматології .

Розміри	23 (Д) х 14 (Ш) х 9 (В) см.
Маса	1,2 кг.
Потужність	0 - 4,0 Вт
Довжина хвилі	980 нм., + Додатково для ФДТ- 660 нм.
Режими роботи	безперервний і імпульсно-періодичний, 10 Гц., 50 мсек.
Світловод	діаметр 200 мкм. и більше
Прицільний промінь	лазерний діод 650 нм., 2 мВт.
Живлення	100-240 В. змінного струму, 50/60 Гц., 25 Вт.

Висновки до 1 розділу

На основі проведеного огляду літературних та інформаційних джерел можно сказати, що у наш час найперспективнішим методом для лікування запалень тканин ротової порожнине є метод фотодинамічної терапії.

У розділі наведено приклади хвороб ротової порожнини, які ефективно лікуються за допомогою методу фотодинамічної терапії. Було обрано для більш детального аналізу відбілювання пігментних плям на зубах людини та відновлення природнього кольору зубів.

На основі огляду літературних джерел сучасних методів відбілювання зубів, була запропонована класифікація методів відбілювання зубів: усі методи поділяються на 2 групи професійні методи (механічний, ультразвуковий, хімічний, лазерний) та домашні методи.

Проаналізувавши дані приведені в цьому розділі можно зробити такі висновки:

1) Перспективним методом для лікування хвороб ротової порожнини, а також відбілювання пігментних плям та відновлення природнього кольору зубів є метод фотодинамічної терапії.

2) Для розробки нового приладу, потрібно провести аналіз впливу різного лазерного випромінювання на біологічні тканини.

РОЗДІЛ 2. АНАЛІТИЧНА МОДЕЛЬ ФОТОДИНАМІЧНОЇ ТЕРАПІЇ РОТОВОЇ ПОРОЖНИНИ

Для того, щоб фотодинамічна реакція почалась, потрібні ВІДПОВІДНИЙ ХІМІЧНИЙ реагент та джерело лазерного випромінювання

2.1 Аналітичні засади приладу фотодинамічної терапії

У приладах для фотодинамічної терапії застосовують такі види лазерного випромінювання:

- неперервне;
- імпульсне;
- модульоване.

На рисунку 2.1 показані види лазерного випромінювання.

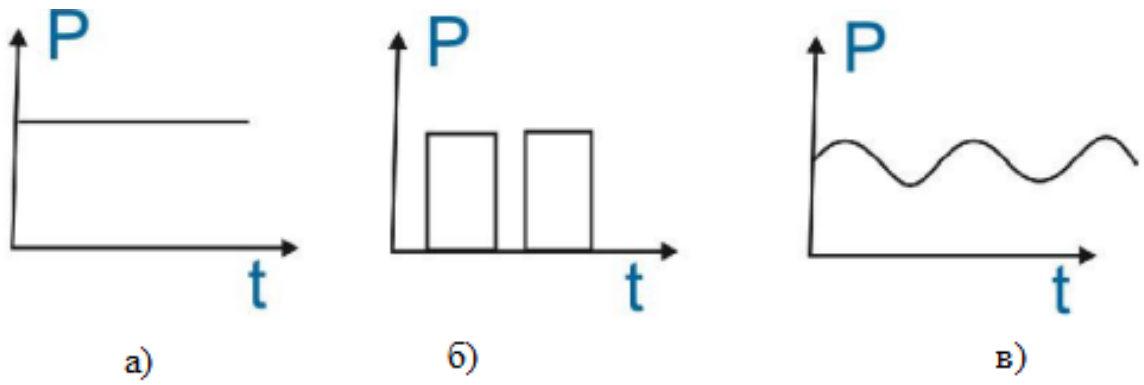

Рис. 2.1 Види лазерного випромінювання:

а) неперервне, б) імпульсне, в) модульоване

Неперервне випромінювання має завжди неперервну функцію на всьому проміжку часу.

Найперспективнішим серед методів є модульоване за різними режимами лазерне випромінювання, тому розглянемо його більш детально.

Під модуляцією розуміють процес зміни наступних параметрів випромінювання: амплітуди, частоти, фази і поляризації. У зв'язку з цим існує чотири типи модуляції: амплітудна, частотна, фазова і поляризаційна.

Модуляція виконується з метою передачі інформації за допомогою електромагнітного випромінювання. Передані дані містяться в керуючому сигналі. А функцію переносника здійснює високочастотне коливання, іменоване несуче. У ролі несучого коливання можуть бути використані коливання різноманітної форми: пилковидні, прямокутні і ін.[24].

Отже, якщо застосовувати просторово-часову модуляцію лазерного випромінювання, яке надходить до тканин ротової порожнини, можна вносити корективи у процес впливу на біологічні процеси з огляду на розподіл світлових полів у робочій зоні тканини.

Розглянемо більш детально системи з різновидами імпульсної модуляції.

При імпульсної модуляції несе коливання має характер періодичної послідовності імпульсів і може бути записано формулою 1.1.

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_0\, U(t - t_k), \qquad (1.1)$$

де U(t) – нормована функція, що характеризує форму імпульсу; A_0 – амплітуда імпульсу; t_k – начало переднього фронта k-го імпульсу, $t_k=kT_i+t_0$; T_i – період проходження імпульсів, t_0 – початок відліку послідовності, τ_k – тривалість k-го імпульсу, яка відлічується на деякому заданому рівні.

На рисунку 2.2 показані види імпульсної модуляції. Повідомлення при використанні імпульсної модуляції може бути представлено у вигляді двійкового коду. На рисунку показані такі види імпульсної модуляції:

Переносник - послідовність імпульсів певної амплітуди, тривалості, частоти проходження і фази (A, t i, T i, ...).

Амплітудно-імпульсна модуляція (АІМ) - залежно від посилки "0" або "1" змінюється амплітуда переданих імпульсів.

Широтно-імпульсна модуляція (ШІМ, ДІМ) - залежно від посилки "0" або "1" міняється тривалість переданих імпульсів.

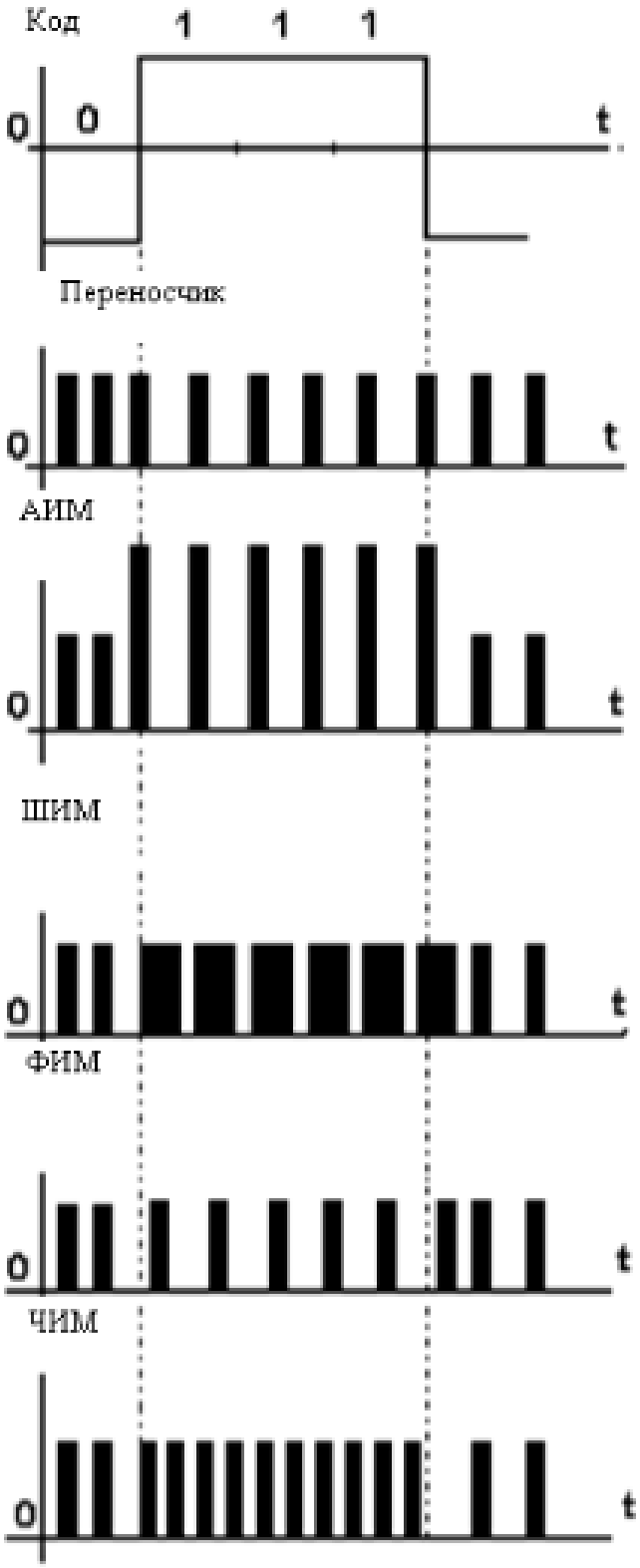

Рис.2.2 Види імпульсної модуляції [25].

Фазоімпульсная модуляція (ФІМ) - залежно від посилки "0" або "1" змінюється фаза переданих імпульсів.

Частотно-імпульсна модуляція (ЧІМ) - залежно від посилки "0" або "1" міняється період проходження імпульсів.

Розглянемо більш детально частотно-імпульсну модуляцію. При частотно-імпульсній модуляції (ЧІМ) відповідно до переданим повідомленням змінюється частота проходження імпульсів.

Таким чином, ми можемо коригувати тривалість імпульсного впливу лазерного випромінювання та його просторово-частотні характеристики. Отже, нашою задачею є формування частотно-імпульсно модульованого лазерного випромінювання.

Періодичну послідовність прямокутних імпульсів при частотно-імпульсній модуляції можна записати в наступному вигляді (2.2),

$$f(t) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_0\, U(t - t_k) = \begin{cases} A_0 \text{ при } \theta_1 + kT_i < t < \ \theta_2 + kT_i \\ 0 \text{ при } \theta_2 + kT_i < t < \ \theta_1 + kT_i \end{cases} \tag{2.2}$$

Таку періодичну послідовність імпульсів можна записати рядом Фур`є (2.3)

$$f(t) = \frac{1}{2} \sum_{k=-\infty}^{\infty} A_k e^{ik\omega_1 t} \tag{2.3}$$

де $A_k = \frac{2}{T} \int_{-\frac{\tau}{2}}^{\frac{\tau}{2}} s(t) e^{-ik\omega_i t} dt$, $\omega_1 = \frac{2\pi}{T}$.

Форма огинаючої частотного спектра періодичної послідовності визначається формою окремого імпульсу.

Зі збільшенням періоду повторення інтервал частот між сусідніми спектральними компонентами скорочується, їх число зростає, а амплітуда кожної компоненти зменшується при збереженні постійного співвідношення між ними.

При необмеженому збільшенні періодична послідовність вироджується в одиночний імпульс, а лінійчатий спектр стає суцільним.

Таким чином, є можливість керувати режимом випромінювання, тобто формувати модуляцію несучого сигналу лазерного випромінювача для отримання різних частотних режимів.

Отже, найбільш доцільним типом модуляції, яке дозволяє варіювати режими фотодинамічного впливу є частотно-імпульсна модуляція світлового сигналу лазера.

2.2 Хімічні реагенти

Відомо багато сполук, здатних використовуватися в якості фотосенсибілізаторів. Фотосенсибілізатори здатні поглинати випромінювання в видимій області спектра, але інтенсивність реакції багаторазово посилюється при опроміненні світлом з довжиною хвилі, відповідної піку поглинання - вузькому діапазоні, специфічного для кожного конкретного реагенту. До числа фотосенсибілізаторів, що розробляються, проходять клінічні випробування або допущених в клініку в різних країнах, відносяться представники першого покоління фотосенсибилизаторов: похідні гематопорфірину; а також фотосенсибілізатори другого покоління: похідні δ-аминолевулиновой кислоти, похідні фталоцианинов, бензопорфірінов, бактериохлорофиллов, похідні хлорину е6 [26]. Розробляються нові фотосенсибілізатори на основі синтетичних бактеріохлорінов. Дослідження третього покоління фотосенсибилизаторов продемонстрували мінімальну акумуляцію в здорових тканинах з високою специфічністю по відношенню до патологічно змінених тканин.

У стоматології для ФДТ використовують фотосенсибілізатори різних груп, переважно у вигляді гелів для аплікаційного нанесення. Як фотосенсибилизаторов можуть бути використані препарати - похідні хлорину е6, препарати з групи барвників - метиленовий синій, толуїдиновий синій [27]. При аплікаційної застосуванні фотосенсибілізатора необхідно враховувати, що ефективність його

проникнення може зменшуватися при зміні pH середовища, попаданні слини, крові, ясенної рідини [28]. Ступінь проникнення фотосенсибілізатора безпосередньо залежить від його концентрації: чим вона вища, тим глибше і інтенсивніше проникнення фотосенсибілізатора в тканини, вище швидкість його абсорбції в тканинах, а також швидкість цитотоксической реакції. Однак з підвищенням концентрації препарату збільшується його токсичність. Селективність фотосенсибілізатора залежить від основного речовини, з якого виготовляється препарат. Крім того, експерименти показали, що деструкція тканин не відбувається з тієї ж селективністю, з якою відбувається накопичення сенсибілізаторів.

2.3 Взаємодія лазерного випромінювання з тканинами ротової порожнини та зубами

При впливі лазерним випромінюванням на біооб'єкт частина цього випромінювання відбивається, інша розсіюється, третя поглинається, а четверта проходить крізь різні шари біологічних тканин. (Рис.2,3). Довжина хвилі випромінювання визначає кількісні співвідношення між цими складовими.

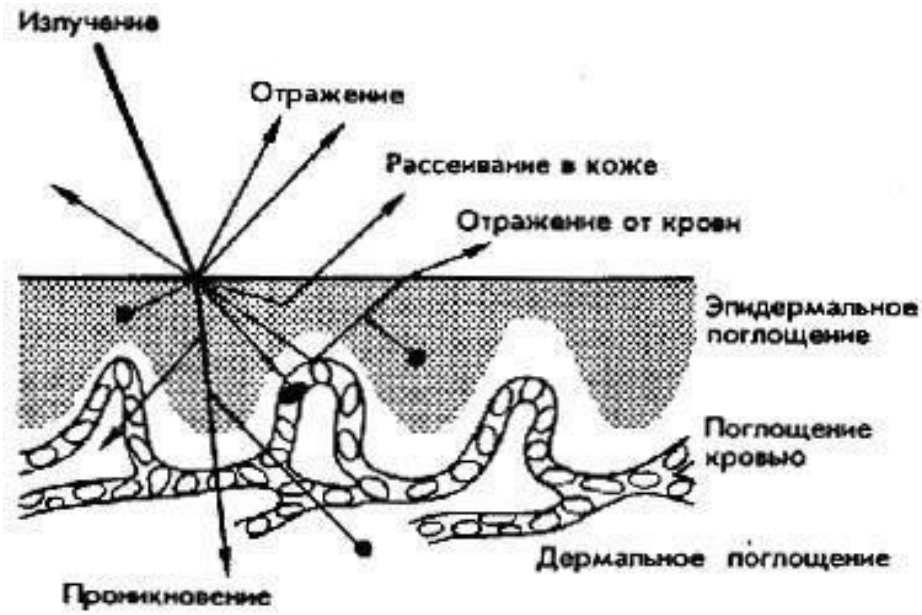

Рис. 2.3 Вплив лазерного випромінювання на біотканину [29]

Залежно від характеру взаємодії лазерного світла з біологічними тканинами розрізняють три види фотобиологічних ефектів:

1) Фотодеструктівний вплив, при якому тепловий, гідродинамічний, фотохімічний ефекти світла викликають деструкцію тканин. Цей вид лазерного взаємодії використовує в лазерної хірургії.

2) фотофізичних і фотохімічні вплив, при якому поглинений біотканямі світло збуджує в них атоми і молекули, викликає фотохімічні і фотофизические реакції. На цьому виді взаємодії ґрунтується застосування терапевтичного лазерного випромінювання.

3) Нейтральний вплив, коли біосубстанція не змінює своїх властивостей, в процесі взаємодії зі світлом. Це такі ефекти, як розсіювання, відбиття і проникнення. Цей вид використовують для діагностики (наприклад - лазерна спектроскопія). [29]

Фотобіологічні ефекти залежать від параметрів лазерного випромінювання: довжини хвилі, інтенсивності потоку світлової енергії, часу впливу на біологічні тканини.

У фотодинамічнй терапії застосовуються світлові потоки низької інтенсивності, не більше 100 мВт / см кв. Тому такий вид лазерної дії називають низькоінтенсивних лазерним випромінюванням (НИЛИ). Однією з важливих характеристик лазерного випромінювання є його спектральна характеристика або довжина хвилі. Як вже говорилося, фотобіологічні активність має світло в ультрафіолетовій, видимій та інфрачервоній областях спектру.

Фотобіологічні процеси досить різноманітні і специфічні. Їх налічується в даний час кілька десятків. В основі їх лежать фотофізичні і фотохімічні реакції, що виникають в організмі під впливом світла.

Фотофізичні реакції обумовлені переважно нагріванням об'єкта до різного ступеня (в межах 0.1- 0.3 ºС) і розповсюдженням тепла в біотканинах. Різниця температури більш виражена на біологічних мембранах. що веде до відтоку іонів Na + і K +, розкриттю білкових каналів і збільшення транспорту молекул і іонів.

Поглинання лазерної енергії відбувається і різними молекулярними утвореннями що не мають специфічних пігментів і фотобиологических мішеней. Вода поглинає видиме світло і червону частину спектру. Це змінює у мембран структурну організацію водного шару і змінює функцію термолабільних каналів мембран. У біологічних структурах організму існують власні електромагнітні поля і вільні заряди, які перерозподіляються під впливом фотонів випромінювання ГНЛ, що веде до прямої "енергетичної підкачки" опромінюється організму.

Первинні хімічні реакції супроводжуються появою вільних радикалів, в невеликій кількості, які в свою чергу запускають процеси окислення биосубстратов, що мають ланцюговий характер. Цей момент дозволяє зрозуміти перемикаючий (трігеррнимі) механізм багаторазового посилення первинного ефекту Нілі. Таким чином, в основі механізму впливу на тканини, малопотужних лазерів у видимій та інфрачервоній областях лежать процеси, що відбуваються на клітинному і молекулярному рівнях. Низькоінтенсивне лазерне випромінювання стимулює метаболічну активність клітини. Стимуляція біосинтетичних процесів може бути одним з важливих моментів, що визначають дію низькоінтенсивного випромінювання лазера на найважливіші функції клітин і тканин, процеси життєдіяльності і регенерації (відновлення). ГНЛ призводить до збільшення вмісту в ядрах клітин людини ДНК і РНК, що свідчить про інтенсифікацію процесів транскрипції (ступенів). Це перший етап процесу біосинтезу білків.

Механізм дії ФДТ представляється наступним чином: молекула фотосенсибілізатора, поглинаюча квант світлапоперечної хвилі хвилі, що відповідає максимуму поглинання даного ФС, переходить у вимушену триплетне стан і вступає в фотохімічні реакції двох типів. При першому типі реакцій відбувається взаємодія безпосередньо з молекулами біологічного субстрату, що в кінцевому підсумку приводить до утворення вільних радикалів. В другому типі реакцій відбувається взаємодія вимушеного фотосенсибілізатора з молекулою кисню з утворенням синглетного окису, який, завдяки своїй властивості сильного окислювача біомолекул, є цитотоксичним для живих кліток.

Висновки до 2 розділу

Запропоновано аналітичне підгрунтя методу фотодинамічної терапії тканин ротової порожнини різної щільності. Представлено аналіз літератури різних видів лазерного випромінювання які можно застосовувати у фотодинамічні терапії. Такими видами можно вважати:

- Безперервне,
- Імпульсне,
- Модульоване.

Найперспективнішим зараз є застосування модульованого лазерного випромінювання в лікувальних цілях, тому що він має багато переваг ніж звичні лазерні випромінювання. Наведено формули за якими можно розрахувати таке випромінення.

Проведено аналіз хімічних реагентів, які можно застосовувати в фотодинамічній терапії.

Також проведено аналіз вплаву лазерного випромінювання на тканини людини. При впливі лазерним випромінюванням на біооб'єкт частина цього випромінювання відбивається, інша розсіюється, третя поглинається, а четверта проходить крізь різні шари біологічних тканин. Довжина хвилі випромінювання визначає кількісні співвідношення між цими складовими.

РОЗДІЛ 3. Експериментальна частина

3.1 Методика експлуатації приладу

Для розробки приладу було проведено низку експериментів для підтвердження ефективності застосування модульованого випромінювання при лікуванні хвороб ротової порожнини та відбілювання зубів.

3.1.1 Дослідження проникності фотосенсибілізатора у тканини фантома під впливом лазерного випромінювання.

Для експерименту було обрано у якості фотосенсибілізатора –1% водний розчин метиленового синього (рис. 3.1). Проаналізувавши статті [31,32] про сучасні стоматологічні дослідження в яких використовували розчин метиленового синього, можно сказати що цей препарат показує хороші результати як антисептик, та может убивати небажані мікроорганізми у роті.

Рис. 3.1 1% водний розчин метиленового синього

В якості об`єкта дослідження було обрано фантом, який складався з шматка м`яса свині (рис.3.2). Цей фантом імітував м`які тканини з слизовою оболонкою, які схожі на людські ясна.

Рис. 3.2 Фантом, що імітує м`які тканини рота.

Для опромінення фантому було обрано 2 прилади:

- Промінь -11в (рис 3.3)[33];
- Промінь -12 (рис3.4)[34].

Рис. 3.3 Загальний вигляд приладу Промінь 11в.

Рис. 3.4 Загальний вигляд приладу Промінь 12.

Технічні характеристики приладів наведено в таблицях 3.1-3.2

Таблиця 3.1Технічні характеристики приладу «Промінь-11в».

Кількість лазерів	2 (0,65мкм та 0,808 мкм)
Режим випромінювання	Безперервний
Максимальна оптична потужність вихідного світлового випромінювача	0,808 мкм – 7,20мВт
	0,65 мкмк – 3,30мВт
Живлення	220В, 50 Гц
Габарити	230х190х75мм

Таблиця 3.2 Технічні характеристики приладу «Промінь-12».

Довжина хвилі випромінювання	0,531 мкм, 0,650 мкм
Потужнсть випромінювання	3,5-4,5 Вт
Режим випромінювання	Безперервний, модульований
Діапазон робочих частот модуляції випромінювання	1)від 1Гц до 12Гц 2) Від 4Гц до 114Гц 3) Від 47 Гц до 1105Гц
Габарити корпуса	200х190х70 мм
Живлення	220В, 50 ГЦ

Експеримент проводився у декілька етапів:

1) По перше на фантом наносився розчин метиленового синього (рис. 3.5)

Рис. 3.5 Нанесений розчин на фантом.

2) Після нанесення розчину, м`ясо 2 хвилин насичувалося ним.

3) Після насичення, місце де нанесенно розчин було опроміненно протягом 5 хвилин за допомогою приладу «Промінь 11в» з довжиною хвилі 0,650 мкм, та у безперервному режимі та приладу «Промінь 12» з довжиною хвилі 0,650 мкм та модульованим режимом випромінення з частотою 15Гц. Процес опромінення наведено на рис 3.6.

Рис. 3.6 Опромінення місця нанесення розчину за допомогою приладу «Промінь -12»

4) Після 5 хвилин опромінення, місце на яке вливали лазерним випроміненням розрізалося ножем, щоб дізнатися на яку глубину пройшов розчин метиленового синього.

5) Отриманно результат, який було виміряно штангенциркулем, що при опроміненні лазерним джерелом постійної дії, розчин пройшов у тканини фантому на 1 мм, поміряно штангенциркулем. А при опроміненні фантому лазерним джерелом модульованої дії, розчин пройшов у тканини на 2 мм. (Рис 3.7)

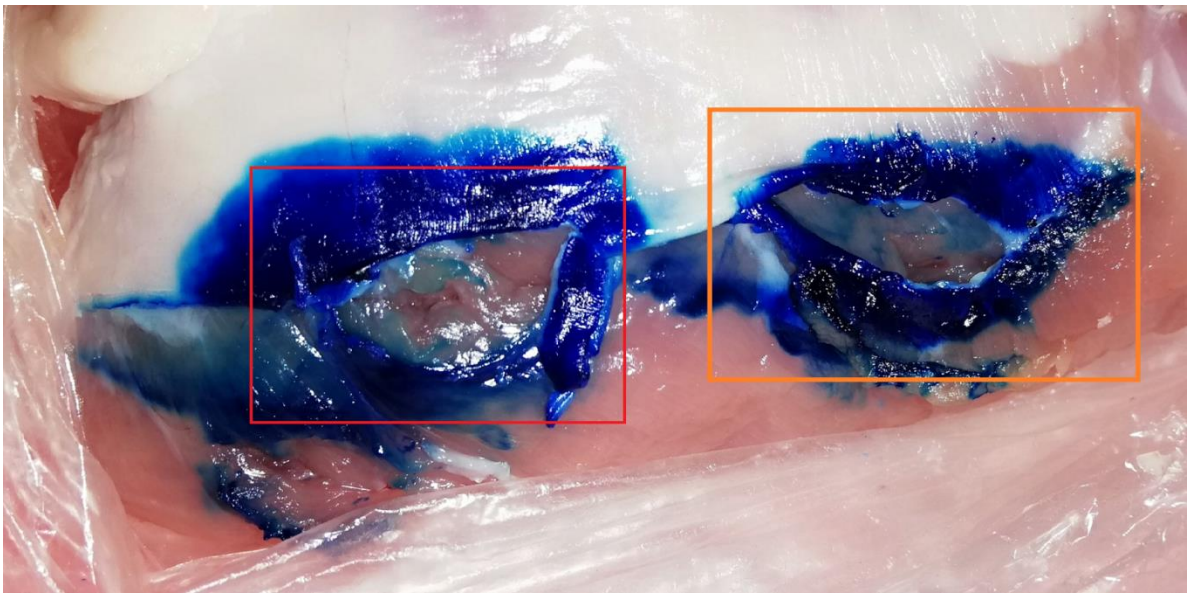

Рис. 3.7 Отримані результати в 1 дослідженні: червоний квадрат - безперервним опромінене, помаранчевий квадрат – модульоване опромінення.

3.1.2 Дослідження відбілювання пігментації на зубах.

Для цього досліду було обрано у якості сенсибілізатора 1% водний розчин метиленового синього, та у якості джерел випромінювання прилади «Промінь-11в» та «Промінь-12».

Мета: дослідження ефективності відбілення пігментації на зубах безперервним та модульованим лазерним випромінюванням.

Експеримент проводився на реальних зубах. Пацієнт- молодий чоловік, 23 роки. Проблем з яснами не було, чистка зубів кожен день 1 раз.

На рисунку 3.7 приведено знімок зубів до початку проведення процедури. Як можно побачити із знімку на зубах є багато небажаного жовтого пігменту. Для експерименту було обрано 4 передні зуби верхньох щелепи.

Рис. 3.7 Знімок зубів до початку процедури

Експериметн проводився у декілька етапів:

1) Механічна чистка зубів за допомогою звичайної зубної щітки та зубної пасти для прибирання залишків.

2) Нанесення розчину метиленового синього на зуби та ясна.

3) Надівання капи (рис. 3.8) на пацієнта. Це нужно для того щоб метиленовий синій не змився слюною, та максимально пройшов у дентин зубів та у пігментні плями.

Рис. 3.8 Капа для зубів

4) Через 10 хвилин, залишки розчину удалялися з зубів, за допомогою полоскання.

5) Зуби на яких був нанесений розчин опромінювали лазерним випромінюванням. Праві 2 зуби – безперервним випромінюванням, а ліві 2 зуби – модульованим випромінюванням з частотою 15 Гц. На кожен зуб застосовували лазер по 3 хвилини.

Результат що отримано наведенно на рисунку 3.9.

Рис. 3.9 Результати отримані у ході експерименту.

Як можно побачити пігментні пятна майже зникли з дентину зубів, колір зубів стал білішим ніж був на початку процедури.

3.2 Результати експериментів

Щоб оцінити на скільки відбілилися зуби, та який з впливів більш діево подіяв було запропоновано використовувати програму Pixie Portable [35]. Інтерфейс цієї програми наведений на рисунку 3.10.

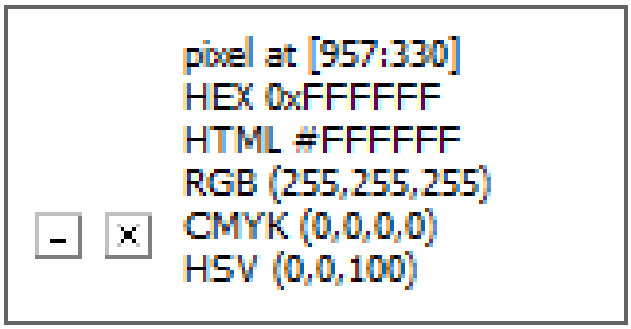

Рис. 3.10 Програма Pisie Portable

Программа стежить за переміщенням курсора мишки і показує колір точки, на яку він вказує. Колір відразу показується у всіх популярних і часто використовуваних форматах: hex, HTML, RGB, CMYK і HSV. На рисунку 3.11 показано як працює програма. Після наведення курсора на об`єкт у табло програми показується кольорові характеристики точки.

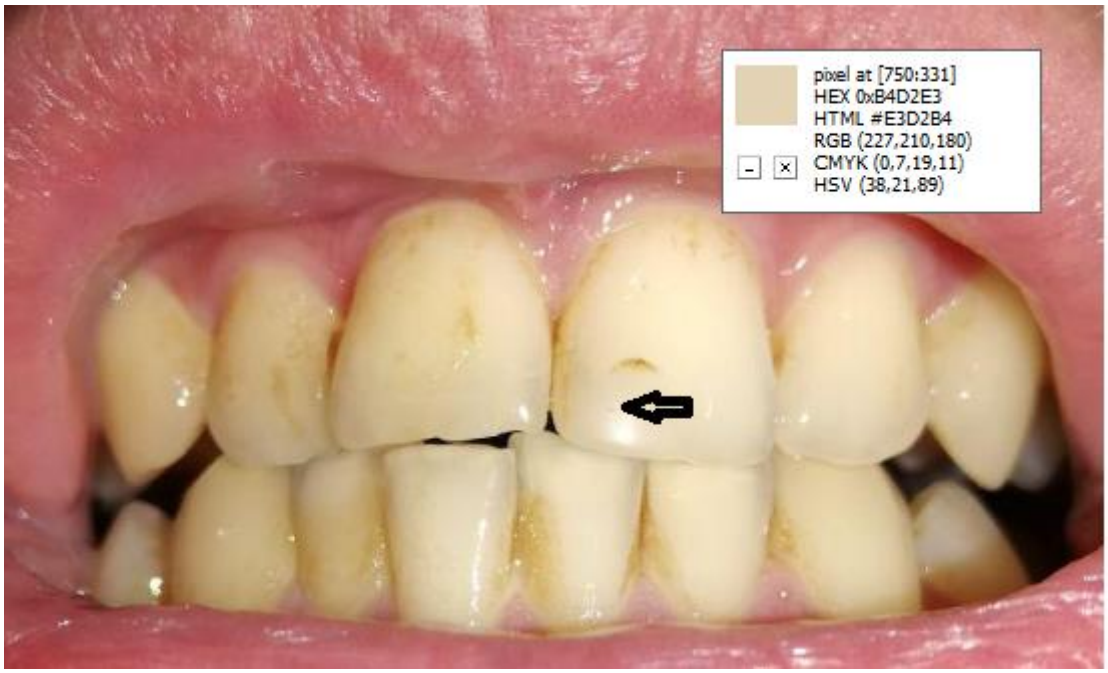

Рис. 3.11 Принцип роботи програми

Для проведення аналізу було обрано формат RGB, у цій системі кожний колір має свої значення по 3 основним кольорам: червоному, зеленому та синьому. У аналізі буде порівнюватися колір в 10 точках на 2 правих та лівих зубах, як показано на рисунку 3.12 , до та після проведення процедури. Далі

отримані значення будуть порівнюватися з єталоном, у нашому випадку самий білий колір матиме значення по 3 кольорам (255,255,255).

Рис. 3.12 точки по яким буде йти аналіз відбілювання зубів

Першим будемо досліджувати 2 правих зуба до та після дослідження. На рисунку 3.13 показані зуби до експерименту, та після проведення його.

Рис.3,13 Зуби до проведення процедури (зліва), та після відбілювання безперервним лазерним випромінюванням(справа).

По 10 точкам було отриманно результати забарвлення, та внесені до таблиць 3.3 та 3.4.

Таблиця 3.3 Таблиця значень точок на двох правих зубах після опромінення лазерним випроміненням постійного впливу.

Номер точки	Яскравість кольору у точці		
	червоний	зелений	синій
1	188	160	121
2	185	142	93
3	207	179	132
4	185	157	115
5	197	160	112
6	208	171	121
7	233	216	184
8	225	210	179
9	219	197	150
10	183	154	115

Таблиця 3.4 Таблиця значень точок на двох правих зубах після опромінення лазерним випроміненням модульованого впливу впливу.

Номер точки	Яскравість кольору у точці		
	червоний	зелений	синій
1	199	178	147
2	211	186	145
3	224	194	160
4	207	184	142
5	203	184	152
6	213	197	164
7	223	203	170
8	237	219	195
9	230	218	196
10	224	207	177

На рис. 3.14-3.16 наведенно графіки зміни кольорів по точках.

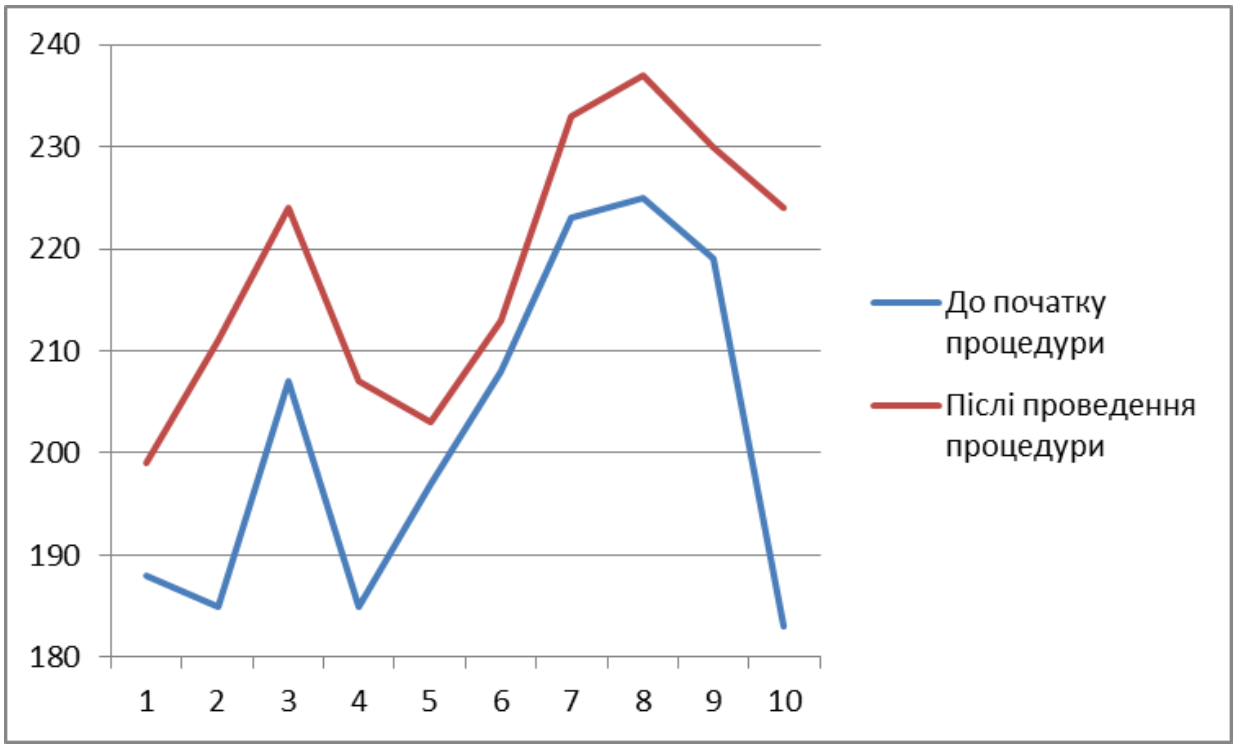

Рис. 3.14 Графіки яскравості по червоному кольору R

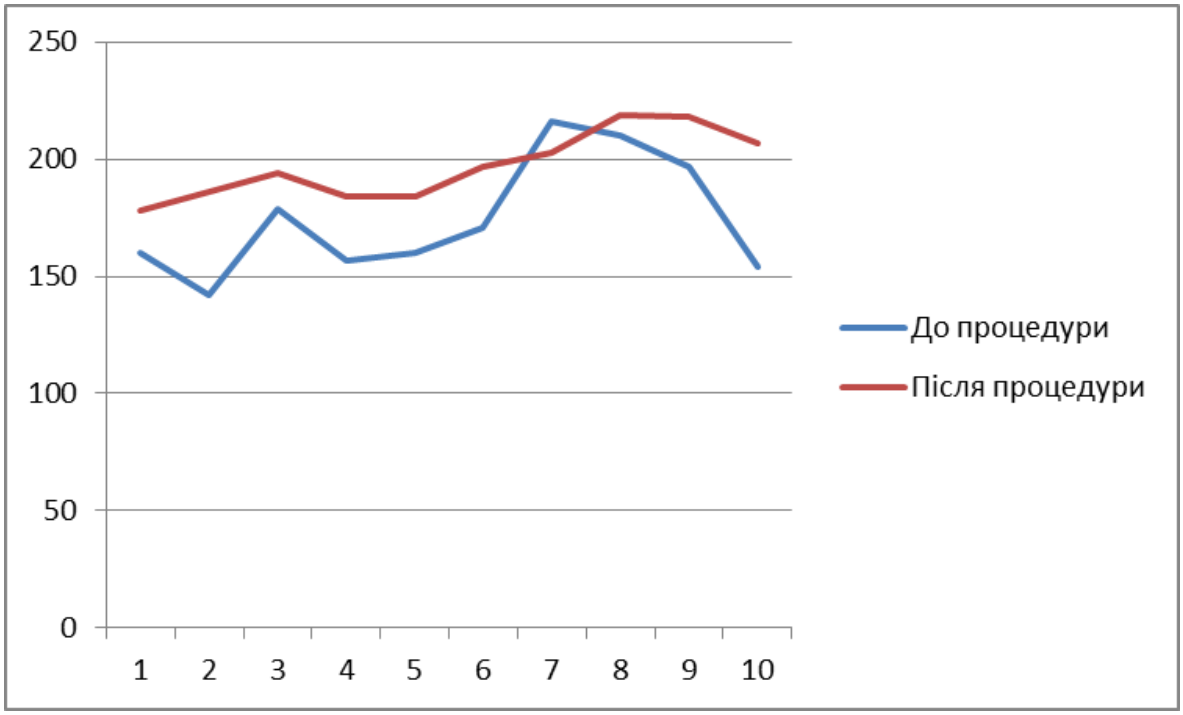

Рис 3.15 Графік яскравості в точках по зміні зеленого кольору.

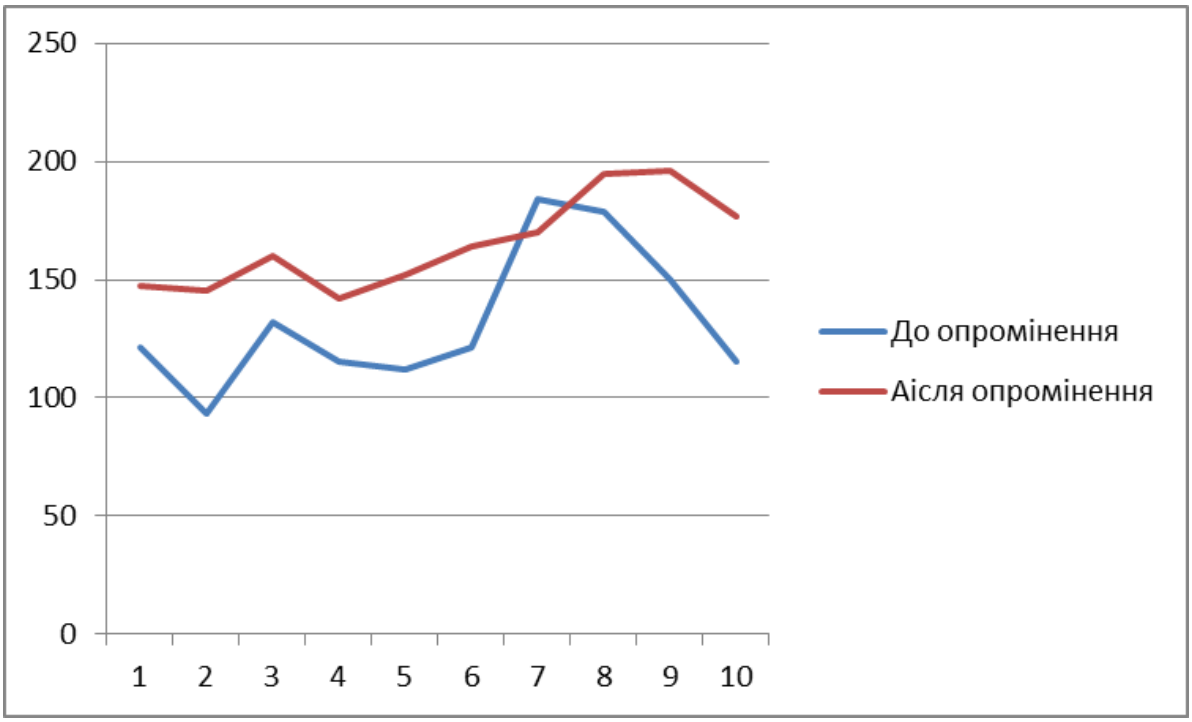

Рис. 3.16 Графік яскравості в точках по змінній синього кольору

Виходячи з графіків, можно зробити висновок, що при безперервному лазерному випромінюванні усі зубі змінили свій колір на біліший.

На рисунку 3.16 показані 2 лівих зуба до та після експерименту. Можно помітити що ці два зуба мають біліший полір ніж 2 лівих зуба. Проводимо заповнення таблиць аналогічно таблицям 3.3 та 3.4 тільки для модульованого випромінювання.

Рис.3,17 Результати до (зліва) проведення процедури, та після (справа) опромінення модульованим лазерним випроміненням.

У таблицях 3.5-3.6 наведенно результати яскравості по 10 точкам.

Таблиця 3.5 Таблиця значень яскравості точок на двох лівих зубах до проведення експерименту.

Номер точки	Яскравість кольору у точці		
	червоний	зелений	синій
1	220	202	164
2	240	216	180
3	230	199	159
4	235	221	192
5	252	237	198
6	212	206	184
7	234	210	173
8	218	193	156
9	215	192	158
10	232	218	200

Таблиця 3.6 Таблиця значень точок на двох лівих зубах після опромінення лазерним випроміненням модульованого впливу

Номер точки	Яскравість кольору у точці		
	червоний	зелений	синій
1	224	213	195
2	241	227	201
3	236	224	200
4	236	217	199
5	255	231	207
6	222	214	196
7	241	223	199
8	226	209	181
9	216	199	169
10	233	220	200

Результати по кожніх характеристики наведо на рис 3.18-3.20

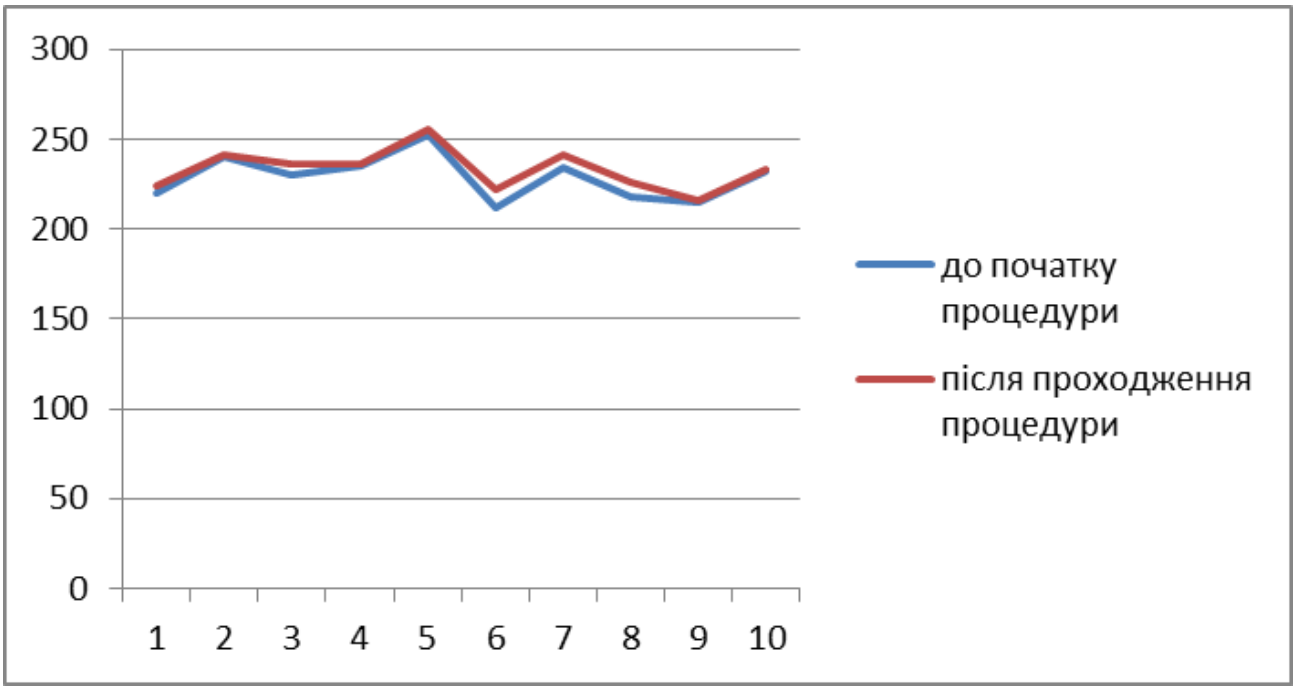

Рис. 3.18 Графіки зміни яскравості по червоного кольору

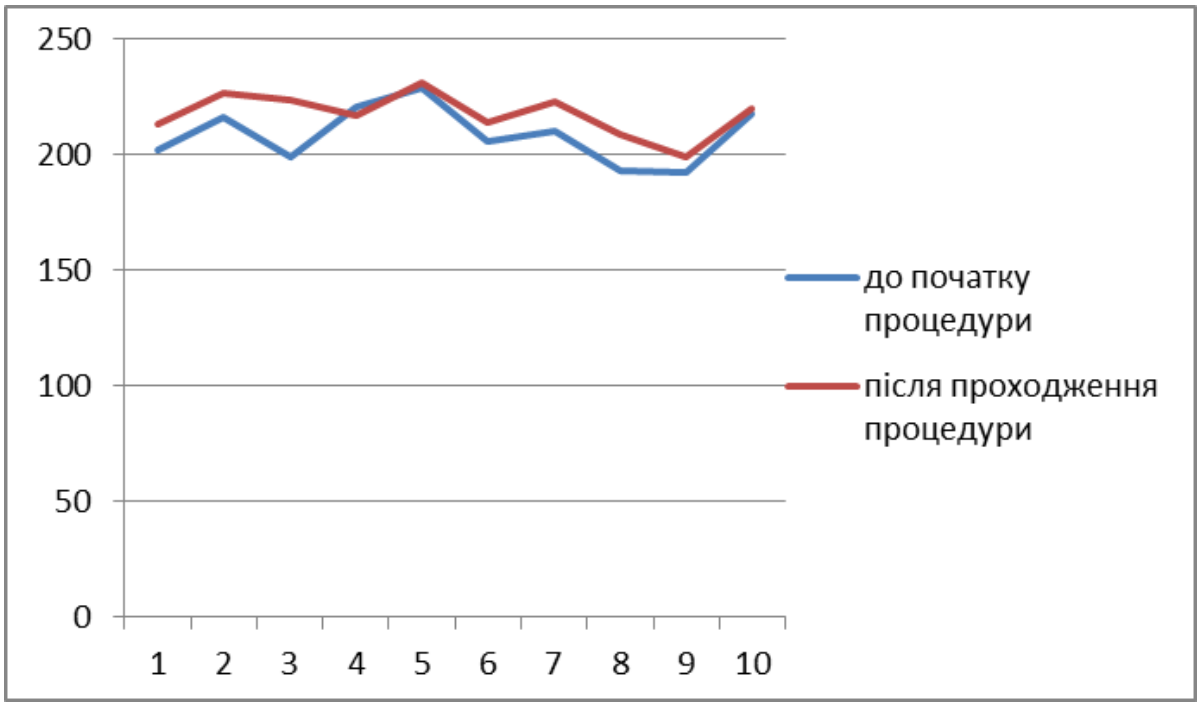

Рис. 3.19 Графіки зміни яскравості по зеленому кольору

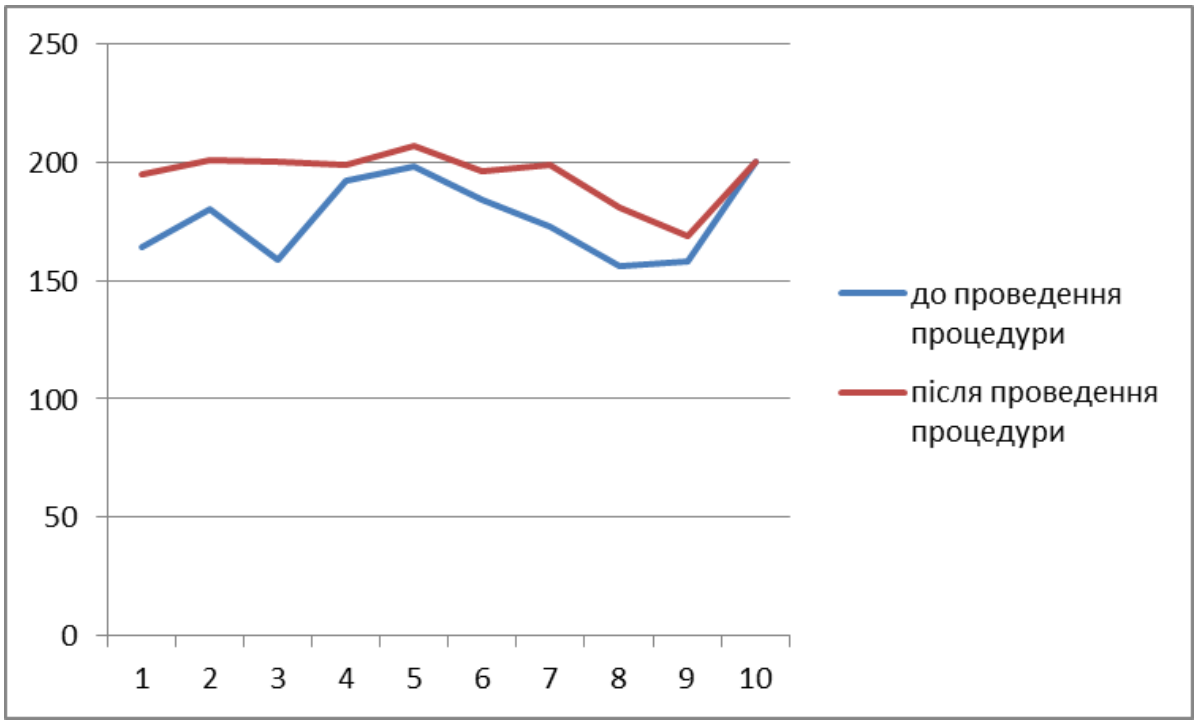

Рис. 3.20 Графіки зміни яскравості синьому кольору

По рисункам 3.18 - 3.20 можно зробити висновок що, завдяки модульованому випроміненню відбулось відбілення зубів. Графіки більш

приближенні друг до друга, тому що початкові умови були набагато кращими ніж на 2 правих зубах. Тут отриманий справжній природній колір зубів.

3.3 Устрій приладу фотодинамічної терапії

На основі проведених експериментів та дослідження аналітичної моделі фотодинамічної терапії, було розроблено новий прибор.

3.3.1 Структурна схема приладу

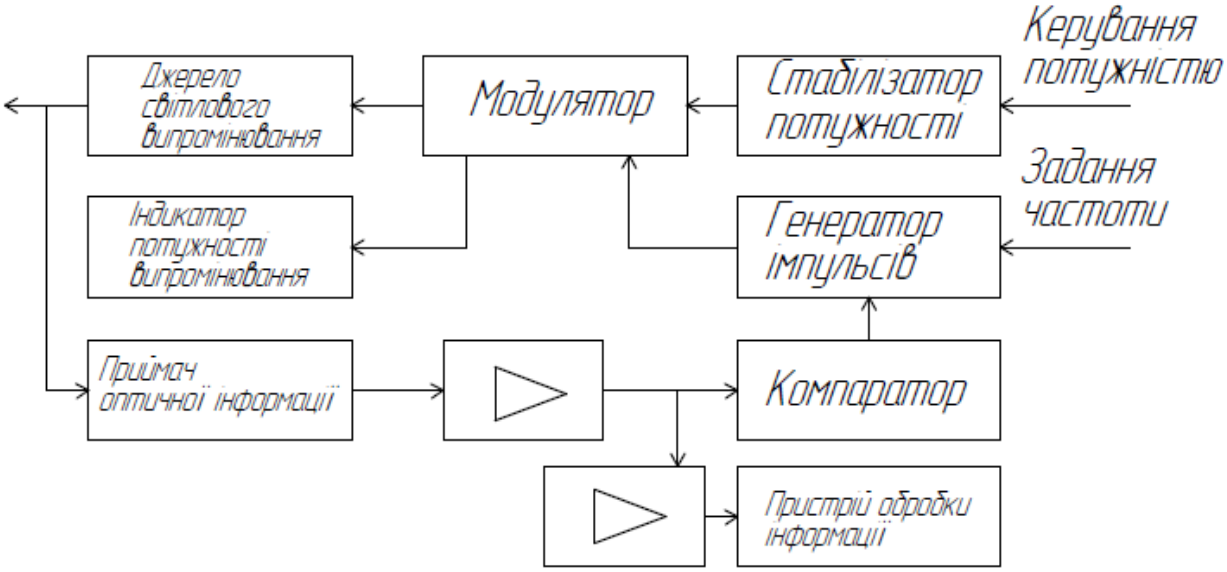

Рис. 3.21 Структурна схема розробленого приладу
для фотодинамічної терапії

На рис.3.21 показана структурна схема розробленого приладу. Принцип роботи розробленого приладу полягає у тому, що необхідно забезпечити випромінюючий елемент сигналом, що повинен мати зміну та постійну складові. Саме тому прилад має два генератори. Перший генератор створює рівень постійної потужності, необхідний для підтримки мінімальної потужності випромінювача. Регулятор потужності постійного струму виконує роль першого генератора. Цей струм подається на схему модуляції. Паралельно генератор

високої частоти створює прямокутні імпульси, які надходять до модулятора.Результ взаємодії постійної та змінної напруги це створення напруги на випромінюючому елементі. Другий генератор виконує функції модулятора частоти випромінювання. Цей генератор має три ступені керування для забезпечення широкого діапазону роботи в імпульсному режимі. Перша ступінь, груба настройка частоти, змінює частоти у 3 рази на кожному діапазоні у порівнянні з попереднім. Плавне перенастроювання забезпечує взаємне перекриття сусідніх діапазонів у межах ±50 %. Мінімальні та максимальні частоти відповідають крайнім положенням ручки керування на передній панелі. Окрім того, керування центральною частотою дозволяє зміщувати весь спектр випромінювання у межах ±10 % та створювати при бажанні модуляцію випромінювання по частоті у цих самих межах.

Система має зворотній зв’язок, який полягає у реєстрації відбиття оптичного сигналу від біологічного об’єкту, виділенні корисного сигналу, який частково виходить на зовнішній вимірювальний прилад, а частково надходить до генератору змінної частоти для того, щоб забезпечити стабільність робочої частоти та захоплення об’єкту дослідження. Аналіз розподілу світлових полів на виході каналу надає можливість описувати зміни параметрів шорсткості поверхневого шару шкіри для подальшого порівняння з апріорними даними, які зареєстровані перед проведенням опромінення. Канал спостереження апарату побудовано на основі високочутливого фоторезистора, який дозволяє сприймати потік світлового випромінювання, розсіяного поверхнею обраної ділянки. Отже, плинний стан об’єкту впливу та дослідження може бути спостереженим під час дії випромінювання. Лазерна система контролюється індикатором потужності, який вмонтовано на передній панелі приладу для контролю роботи випромінювача.

3.3,2 Загальний вигляд розробленого апарату

На основі розробленої структурної схеми запропонований загальний вигляд розробленого приладу для фотодинамічної терапії. Прилад складається з 2 частин: блоку керування, та блоку опромінення.

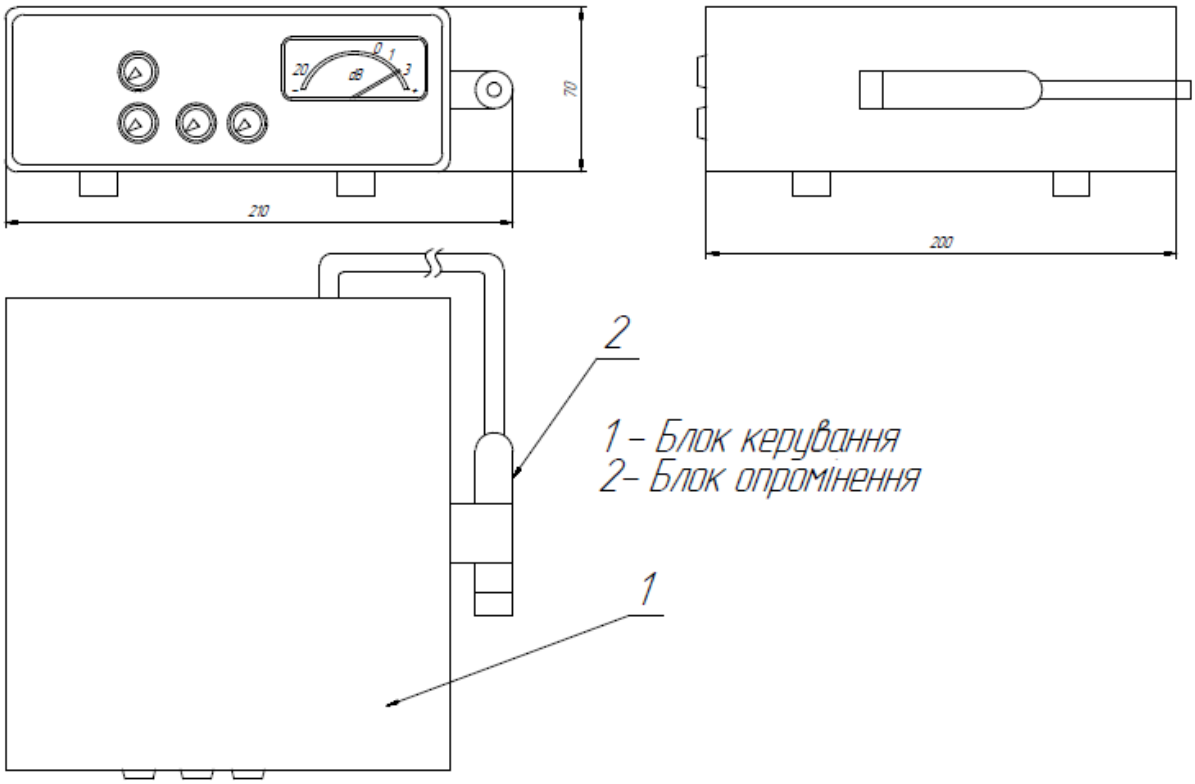

Рис.2.2 Загальний вигляд розробленого приладу

3.3.3 Підбір лазерного джерела

У експериментах було застосовано прилади «Промінь 11в» та «Промінь 12». Окрім довжини хвилі 650 нм вони мають також джерела випромінювання інфрачервоного та зеленого довжин хвиль. Тому при підборі лазерного джерела для нового приладу було проведено аналіз доцільності застосування додаткових довжин хвиль у приладі. Після аналізу літературних джерел [36] можно зробити висковок що зелений спект випромінення поглинаеться гемоглобіном, а інфрачервоне випромінення доцільніше використовувати при деструкції тканин, тому що таки випромінення має більшу температуру нагрівання тканин. Тому

доцільно використовувати у приладі довжину хвилі випромінення лише у червоному спектрі, тому що червоний спектр випромінення покращує мікроцеркуляцію крові у судинах.

У якості джерела лазерного випромінювання можно обрати Laser Module 5mW 650 nm Red.

Лазерний модуль Laser Module 5mW 650 nm Red генерує випромінювання в 650 нм діапазоні (червоний колір) з максимальною постійною потужністю 5 мВт. На рисунку 3,23 показан загальний вигляд лазерного модуля . У таблиці 3.1 наведено технічні характеристики цього модулю.

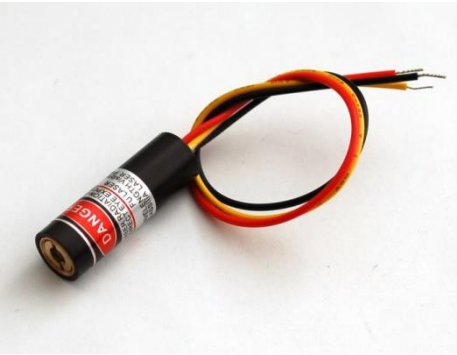

Рис. 3.23 Загальний вигляд Laser Module [31]

Лазерний модуль Laser Module 5mW 650 nm Red генерує випромінювання в 650 нм діапазоні (червоний колір) з максимальною постійною потужністю 5 мВт. На рисунку 3.23 показан загальний вигляд лазерного модуля . У таблиці 3.7 наведено технічні характеристики цього модулю.

Таблиця 3.7 Технічні характеристики Laser Module 5mW 650 nm Red.

Напруга живлення	5В
Випромінювана потужність	5мВт
Споживана потужність	58 мВт
Діапазон випромінювання	650 нм
Робоча температура	-30 - +65 ° C
Розміри	6.5x18 мм

Висновок до розділу 3

У цьому розділі було описано 2 експеримента: проникнення реагенту у тканини фантома, та відбілювання пігментних плям на зубах за допомогою разних видів лазерного випромінення.

Результатом першого експерименту є те, що при впливі лазерним випроміненням на тканину фантома, реагент проник у тканину далі ніж при опроміненні лазером безперервної дії.

Результатом другого експерименту є те, що при опроміненні лазером реагенту на зубах відбуваеться реакція зниження пігментних плям на зубах.

На основі досліджень попереднього розділу, та результатів експериментів, було розроблено схему нового приладу для фотодинамічної терапії.

Розділ 4..Розробка стартап проекту «Прилад для фотодинамічної терапії»

У розробці цього розділу було було використанно методичні рекомендації до розроблення стартап-проекту [37].

4.1 Опис ідеї проекту

Розглянувши в попередніх розділах вплив лазерного випромінювання на відбілювання зубів, був розроблений прилад для фотодинамічної терапії, разом з методом відбілювання зубів. В цьому розділі буде проведено аналіз стартап проекту «Прилад для фотодинамічної терапії»

У таблиці 4.1 зображено зміст ідеї та можливі базові потенційні ринки, в межах яких потрібно шукати групи потенційних клієнтів.

Таблиця 4.1. Опис ідеї стартап проекту

Зміст ідеї	Напрямки застосування	Вигоди для користувача
Пропонується новий прилад для проведення лікувальних процедур у роті людини (лікування парадонтита, відбілювання зубів) за допомогою фотодинамічного методу лікування.	1. Лікування зубних захворювань у стоматологічних клініках	Прилад разом з розробленим методом дає хороші результати у лікуванні парадонтита, та відбілювання зубів. Ці проблеми зараз є актуальні.
	2. Використання в наукових лабораторіях.	За допомогою цього приладу можно розробляти нові покращенні реагенти для цієї технології.
	3. Лазеротерапія	Високий терапевтичний потенціал, мобільність приладу.
	4. Використання в косметичних салонах.	Висока ефективність лікувального ефекту, простота застосування

Отже, пропонується новий прилад який має багато напрямків застосуваня, та має вигоди для застосування користувачами. Основна відмінність данного апарату полягає в тому що він генерує модульоване лазерне випромінювання, яке зменшує проведення процедури та має більший регенераційний ефект при застосуванні.

Далі проводимо аналіз потенційних техніко-економічних переваг ідеї порівняно із пропозиціями конкурентів:

− визначаємо перелік техніко-економічних властивостей та характеристик ідеї;

− визначаємо попереднє коло конкурентів (проектів-конкурентів) або товарів-замінників чи товарів-аналогів, що вже існують на ринку, та проводимо збір інформації щодо значень техніко-економічних показників для ідеї власного проекту та проектів-конкурентів відповідно до визначеного вище переліку;

− проводимо порівняльний аналіз показників: для власної ідеї визначено показники, що мають а) гірші значення (W, слабкі); б) аналогічні (N, нейтральні) значення; в) кращі значення (S, сильні) (табл.4.2).

Таблиця 4.2. Визначення сильних, слабких та нейтральних характеристик ідеї проекту

№	Техніко-економічні властивості	(потенційні) товари/концепції конкурентів			W	N	S
		Мій прилад	Конкурент 1 – «Ліка-терапевт М»	Конкурент 2 – хірургічний діодний лазер «GRANUM»			
1	Число одночасно працюючих каналів	1	1	2	-	-	+
2	Частота модуляції лазерного випромінювання, Гц	0-50	0-99	Немає модуляції	-	+	-
3	Споживана потужність,(Вт)	10	15	30	+	-	-
4	Ергономічність	Зручний у користуванні	Зручний у користуванні	Зручний у користуванні	+	+	+
5	Мобільність	Мобільний	Мобільний	Не мобільний	+	+	-
6	Ціна	15000грн	20000грн	100000 грн	+	-	-

Виходячи з наведеного переліку слабких, сильних та нейтральних характеристик і властивостей ідеї потенційного товару можна дійти до висновку про конкурентоспроможність запропонованого методу. Апарат розроблений мною має багато переваг перед своїми аналогами. Мій апарат має найнижчу ціну та він більш економічно вигідний, тому що маж меншу споживану потужність.

4.2 Технологічний аудит ідеї проекту

В межах даного підрозділу проводимо аудит технології за допомогою якої можна реалізувати ідею створення проекту.

Визначення технологічної здійсненності ідеї проекту передбачає аналіз складових які вказані в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3. Технологічна здійсненність ідеї проекту

№ п/п	Ідея проекту	Технології її реалізації	Наявність технологій	Доступність технологій
1	Дослідження впливу лазерного випромінювання на ротову порожнину	Лабораторна установка	Лабораторна установка розроблена	Доступна
2	Аналіз впливу постійного лазерного випромінювання та модульованого	Лабораторна установка	Лабораторна установка, розроблена	Відносно доступна
3	Перевірка ефективності результатів дослідів	Методи статистики	Розроблена	Доступна
4	Розробка приладу, на основі проведених досліджень	Механічна обробка, електричний монтаж елементів	Технологія розроблена	Відносно доступна

Проаналізувавши таблицю можна зробити висновок що можливість технологічної реалізації даного проекту висока. Оскільки, технології, що використовуються при розробці продукту відносно доступні та включають поєднання існуючих доступних приладів та засобів математичної статистики, але треба більш детально дослідити вплив лазерного модульованого випромінювання на тканини ротової порожнини.

4.3 Аналіз ринкових можливостей запуску стартап проекту

Визначимо ринкові можливості, які можна використати під час ринкового впровадження проекту, та ринкові загрози, які можуть перешкодити його реалізації.

Спочатку проведемо аналіз попиту: наявність попиту, обсяг, динаміка розвитку ринку (таблиця 4.4).

Таблиця 4.4 Попередня характеристика потенційного ринку стартап-проекту

№ п/п	Показники стану ринку (найменування)	Характеристика
1	Кількість головних гравців, од	5 «Біоспек» (Москва), ЧМПП «Фотоніка Плюс» (Черкаси), ООО "МІЛОН лазер" (Санкт-Петербург), AMD Lasers (США), Алком (Беларусь).
2	Загальний обсяг продаж, грн/ум.од	545 000
3	Динаміка ринку (якісна оцінка)	Зростає
4	Наявність обмежень для входу	Сертифікат якості
5	Специфічні вимоги до стандартизації та сертифікації	Дозвіл на медичні дослідження. Додаткові випробування (клінічні/доклінічні). Вимоги щодо безпечності та нешкідливості
6	Середня норма рентабельності в галузі (або по ринку), %	55%

Проаналізувавши дані наведеної таблиці можна зробити висновок про привабливість вітчизняного ринку медичної апаратури для входження за попереднім оцінюванням при умові наявності сертифікату у відповідності технічного регламенту. Основні прилади нам постачала Росія, у наш час коли покупати у них заборонено, вигідно представити свої аналоги.

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

Таблиця 4.5 Характеристика потенційних клієнтів стартап-проекту

Розробка нових ефективніших лазерних приладів	Лікарі стоматологи, лікарі косметичних салонів.	Якість продукту; Наявність необхідної дозвільної документації (відповідність стандартам, сертифікати відповідності (якості), тощо);	Високий показник «ціна/якість». Гарантійні зобов’язання. Точність приладу.
Розробка нових реагентів для проведення процедури	Лікарі, лабораторні працівники.	Ефективність реагенту. Токсичність.	Не токсична формула реагенту.

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

Таблиця 4.6 Фактори загроз

№ п/п	Фактор	Зміст загрози	Можлива реакція компанії
1	Нові фірми конкуренти	Збільшення конкурентоздатної продукції на ринку	Вдосконалення товару; маркетингова діяльність.
2	Нові технології	Застарілість товару	Кардинальні зміни у технології виготовленні, що призведуть до модернізації
3	Технічне обслуговування	Наявність не уніфікованих елементів	Використання уніфікованих елементів

Але поряд із колом загроз існують і певні можливості (таблиця 4.7).

Таблиця 4.7 Фактори можливостей

№ п/п	Фактор	Зміст можливості	Можлива реакція компанії
1	Високий попит на продукцію	Доцільно більшити виробництво товару та товарообіг	Збільшення одиниць товару, впровадження модифікацій товару.
2	Потреба в доступній методиці	Актуальна розробка з низькою собівартістю	Залучення іноземних інвестицій.
3	Зростання рівня доходів населення	Збільшення кількості продажів, підвищення ціни	Збільшення одиниць товару, підвищення ціни.
4	Впровадження нових технологій	Якісне покращення основних параметрів продукту	Підвищення попиту та ціни

Після проведеного аналізу факторів можливостей та загроз можно сказати, що ринок приладів для відбілювання зубів є перспективним та цікавим для входу нових компаній.

Надалі проводимо аналіз пропозиції: визначаємо 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 (можливі дії компанії, щоб бути конкурентоспроможною)
1. Чиста конкуренція	Окремі покупці і продавці не можуть впливати на ціну.	Концентрація діяльності підприємства на якість товару.
2.Національна конкуренція	Між компаніями всередині країни.	Варіація об'ємів виробництва, співпраця з мережами медичних закладів.
3. Внутрішньогалузева конкуренція	Конкурентна боротьба між підприємствами в межах однієї галузі.	Формування адекватної ринкової вартості товару.
4. Товарно-видова конкуренція	Конкуренція між товарами одного виду.	Створення модифікацій з покращеннимфункціоналом.
5. Нецінова конкуренція	Вдосконалення якості продукції та умов її продажу.	Зміни у виробництві; додаткові витрати, підвищення рівня довіри клієнтів.
6. Марочна конкуренція	Конкурентні компанії пропонують подібний продукт.	Зниження цін на товар; концентрація діяльності на якісну зміну продукту. Створення власної торгової марки.

За результатами аналізу таблиці 4.8 можна зробити висновок, що запропонована конструкція демонструє високу конкурентоспроможність. Найбільш небезпечними бачаться товарно-видова. Оскільки товари аналоги виготовляють з урахуванням довгого перебування на ринку мають досить високий рівень довіри клієнтів.

Після аналізу конкуренції проведемо більш детальний аналіз умов конкуренції в галузі.

Таблиця 4.9 Аналіз конкуренції в галузі за М. Портером

Складові аналізу	Прямі конкуренти	Потенційні конкуренти	Постачальники	Клієнти	Товари-замінники
	ЧМПП «Фотоніка Плюс» (Черкаси)	Европейскі виробники стоматологічних лазерних приладів	Змінні витрати постачальників. Концентрація постачальників	Розмір закупівель. Змінні витрати. Рівень чутливості до змін цін.	Змінні витрати. Лояльність споживачів
Висновки:	Низька інтенсивність	Є можливості входу в ринок. Є потенційні конкуренти. Строк виходу на ринок орієнтовно 10 місяців	Постачальники диктують умови роботи ринку.	Клієнти диктують умови роботи на ринку	Обмежень для роботи на ринку через товари замінники немає

З огляду на конкурентну ситуацію (враховуючи низьку інтенсивність конкуренції) можна зробити висновок щодо можливості роботи на ринку. Даний апарат повинен бути простим в експлуатації, зручним у використанні та забезпечувати комплексний підхід.

Після всіх аналізів визначається та обґрунтовуєтеся перелік факторів конкурентоспроможності.

На основі аналізу конкуренції, проведеного в 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) визначаємо та обґрунтовуємо перелік факторів конкурентоспроможності. Аналіз оформлений 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	Ціна	Ціна на товар являється одним із засобів ведення конкурентної боротьби, оскільки дана розробка є набагато дешевшою ніж закордонні аналоги.
2	Доступність пацієнтам	Дає можливість використовувати цей прилад навіть у віддалених місця країни.
3	Мобільність	Зручний у використанні та компактний для транспортування.
4	Простота реалізації	Забезпечується використанням існуючих методів діагностики та лікування.
5.	Технічне обслуговування	Величина значення напрацювання на відмову вище середньої для даного класу обладнання

Згідно таблиці 4.10 можна дійти висновку, що дана конструкція має ряд важливих факторів, які гарантуватимуть її конкурентоспроможність. Найважливіші з них полягають у особливості конструкції, яка забезпечує легке та комфортне проведення процедури відбілювання зубів, а також в доступності апарату в порівнянні із закордонними аналогами.

Таблиця 4.11. Порівняльний аналіз сильних та слабких сторін «Прилад для фото динамічної терапії»

№ п/п	Фактор конкурентоспроможності	Бали 1-20	Рейтинг товарів-конкурентів у порівнянні з Лика-терапевт М						
			–3	–2	–1	0	+1	+2	+3
1	Ціна	15			+				
2	Доступність пацієнтам	14				+			
3	Висока якість	17						+	
4	Технічна підтримка	16				+			
5.	Простота реалізації	15					+		

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

Таблиця 4.12 SWOT- аналіз стартап-проекту

Сильні сторони: час вливу на пацієнта, ефективність методу	Слабкі сторони: залежність від поставок, початківець на ринку
Можливості: надовго закріпитись на ринку товарів; конкурентоспроможність; інвестування іноземних компаній; модифікація існуючих апаратів та створення нових; збільшення обсягів продажів.	Загрози: збільшення конкуренції на ринку медичної апаратури; розвиток новітніх технологій; зниження доходів потенційних споживачів; політичні та економічні ризики ведення бізнесу; .

На основі SWOT-аналізу розробляємо 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. 3.9, аналіз потенційних конкурентів).

Визначені альтернативи аналізуються з точки зору строків та ймовірності отримання ресурсів (табл. 4.13).

Таблиця 4.13 Альтернативи ринкового впровадження стартап-проекту

№ п/п	Альтернатива (орієнтовний комплекс заходів) ринкової поведінки	Ймовірність отримання ресурсів	Строки реалізації
1	Залучення споживачів — рекламувати товар і зацікавлювати кінцевих споживачів з метою збільшення попиту на товар.	Ймовірність висока, оскільки в разі успіху це збільшить попит на продукт серед споживачів і, відповідно, серед посередників.	1 рік
2	Стратегія компенсації слабких сторін стартапу наявними ринковими можливостями	Ймовірність висока, тому що продукт стане більш конкурентно спроможним	9 місяців
3	Встановлення низької початкової ціни на товар з метою заохочення більшої кількості покупців та завоювання більшої частки ринку.	Ймовірність висока, тому що продукт має багато переваг і в поєднанні з низькою ціною він повинен створити великий попит серед покупців.	6 місяців

Базуючись на таблиці 4.13 можна зробити висновок: найбільш перспективна – це встановлення низької ціни на товар з метою заохочення більшої кількості покупців. Низька ціна – найпростіший спосіб досягнути великих продажів для нового продукту на ринку. Дана альтернатива має найкоротші терміни реалізації

4.4 Розроблення ринкової стратегії проекту

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

Таблиця 4.14 Вибір цільових груп потенційних споживачів

№ п/п	Опис профілю цільової групи потенційних клієнтів	Готовність споживачів сприйняти продукт	Орієнтовний попит в межах цільової групи (сегменту)	Інтенсивність конкуренції в сегменті	Простота входу у сегмент
1	Приватні стоматологічні центри	Так	60%	Висока	Наявні обмеження

2	Міністерство Охорони Здоров'я України	Так	45%	Висока	Наявні обмеження
3	Косметичні салони	Так	35%	Середня	Немає

За результатами аналізу попит є ймовірним від приватних стоматологічних центрів, Міністерства Охорони Здоров’я України та косметичних салонів. Для Міністерства основними критеріями будуть ціна та функціональність. Тоді як для приватних стоматологічних центрів та косметичних салонів більш важливими буде комфорт та безпека пацієнта при впливі.

Для роботи в обраному сегменті ринку необхідно сформувати базову стратегію розвитку.

Таблиця 4.15 Визначення базової стратегії розвитку

№ п/п	Обрана альтернатива розвитку проекту	Стратегія охоплення ринку	Ключові конкурентоспроможні позиції відповідно до обраної альтернативи	Базова стратегія розвитку*
1	Проект приладу для відбілювання зубів, та лікування хвороб ротової порожнини	Через виставки, конференції, публічні презентації на медичних форумах	Ціна, простота використання, та ефективність приладу	Лідерства по витратах

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, або забирати існуючих у конкурентів?	Чи буде компанія копіювати основні характеристики товару конкурента, і які?	Стратегія конкурентної поведінки*
1	Ні	Так	Так, довжина хвилі	Стратегія лідера

На основі вимог споживачів з обраного сегменту до постачальника і продукту, а також в залежності від стратегії розвитку (табл. 4.15) та стратегії конкурентної поведінки (табл. 4.16) розробляємо стратегію позиціонування (табл.

4.17) яка визначається у формування ринкової позиції, за яким споживачі мають ідентифікувати 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)
	Якість, простота використання приладу,	Розробка більш простого пристрою	Новий простий спосіб відбілювання зубів.	За показниками якості; За сферою застосування; За різновидом товару.

Результатом даного підрозділу є система рішень щодо ринкової поведінки компанії, вона визначає в якому напрямі буде працювати компанія на ринку.

4.5 Розроблення маркетингової програми стартап-проекту

Під час розроблення маркетингової програми першим кроком є розробка маркетингової концепції товару, який отримає споживач. У таблиці 4.18 підсумовуємо результати аналізу конкурентоспроможності товару.

Таблиця 4.18 Визначення ключових переваг концепції потенційного товару

№ п/п	Потреба	Вигода, яку пропонує товар	Ключові переваги перед конкурентами (існуючі або такі, що потрібно створити)
1	Розширення способів відбілювання зубів	Дешевизна, ефективність.	Застосування модульованого лазерного випромінювання.

Надалі розробляється трирівнева маркетингова модель товару: уточнюється ідея продукту, 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	Створення приладу для фотодинамічної терапії, за допомогою якого проводиться відбілювання зубів шляхом нанесення на зуби та ясна фотосенсибілізатору, та подальшому опроміненню зубів лазером.		
II. Товар у реальному виконанні	Властивості/характеристики	М/Нм	Вр/Тх /Тл/Е/Ор
	Вартісь обслуговування	М	Е
	Строк безвідмовної праці	Нм	Тх
	Трудомісткість виготовлення	Нм	Тх
	Зручність управління	Нм	Тх
	Мобільність	Нм	Тх
	Пакування: розробляється відповідно до дійсних стандартів, а також проводиться перевірка на якість за допомогою гостів.		
	Марка: НТУУ «КПІ ім.. І.Сікорського»		
III. Товар із підкріпленням	До продажу можливість аналізу та усунення несправностей		
	Після продажу можливість розробки покращень та модернізації існуючий приладів		
За рахунок чого потенційний товар буде захищено від копіювання: патентування методики та пристрою.			

Наступним кроком є визначення цінових меж, якими необхідно керуватися при встановленні ціни на потенційний товар, це передбачає аналіз цін товарів конкурентів, та доходів споживачів продукту (табл. 4.20).

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 лазерний терапевтичний "Ліка-терапевт М"	10000 грн	15000-20000грн	12000 грн
2	Апарат "АЛОД-1	25000 грн		19000 грн

Наступним кроком є визначення оптимальної системи збуту (табл. 4.21).

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 поставки	Встановлення контактів із споживачами та підтримка їх Формування попиту і стимулювання збуту Дослідницька робота зі збору маркетингової інформації Зменшення витрат в ході збуту продукції	Продаж Міністерству Охорони Здоров’я України та приватним стоматологічним центрам.	Через внутрішній ринок

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

Таблиця 4.22 Концепція маркетингових комунікацій

№ п/п	Специфіка поведінки цільових клієнтів	Канали комунікацій, якими користуютьс я цільові клієнти	Ключові позиції, обрані для позиціонування	Завдання рекламного повідомлення	Концепція рекламного звернення
1	Клієнти пов'язані з медициною	Виставки, конференції.	Доступність пацієнтам; Комплексний підхід; Зручність використання; Мобільність	Заохотити покупців купувати даний продукт, продемонструв ати переваги	Виставки, конференції,

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 4

Провівши аналіз можна зробити висновок про високу можливість ринкової комерціалізації даного проекту у зв`язку з наявністю високого попиту споживачів на продукцію вітчизняного виробника (оскільки вона має меньшу ціну ніж іноземні аналоги) та позитивно динамікою ринку медичного обладнання. Обмеження для входу це мати усі дозвільні документи.

З огляду на конкурентну ситуацію (враховуючи низьку інтенсивність конкуренції) можна зробити висновок щодо можливості роботи на ринку. Даний апарат повинен бути простим в експлуатації, зручним у використанні та забезпечувати комплексний підхід.

Конструкція запропонованого приладу має ряд важливих факторів, які гарантуватимуть конкурентоспроможність даного проекту. Найважливіші з них полягають у особливості конструкції, яка забезпечує легке та ефективне проведення процедури відбілювання зубів, а також ціні в порівнянні з аналогами з закордону.

За результатами аналізу потенційних груп споживачів попит є ймовірним від приватних стоматологічних центрів, МОЗ, та косметичними салонами. Для МОЗ основні критерії будуть ціна та функціональніст. Для приватних стоматологічних центрів та косметичних салонів матиме якість та ефективність лікування.

Для даного проекту обрано альтернативу (варіант) впровадження - встановлення низької ціни на новий продукт з метою залучення більшої кількості покупців і завоювання великої частки ринку.

Враховуючи високий попит споживачів, позитивну динаміку ринку медичної апаратури, низьку інтенсивність конкуренції та якісні відмінності даного продукту від продуктів конкурентів, вважаю доцільним подальше впровадження проекту

Загальні висновки

В ході виконання магістерської дисертації здійснено огляд та аналіз сучасних методів лікування хвороб ротової порожнини. Проведенно аналіз сучасних методів методів відбілювання зубів, та наведена їх класифікація.

У магістерській роботі було розроблено аналітичну модель фотодинамічної терапії, та розглянуті її складові. Проведенний аналіз методів лазерного випромінення. Проведений аналіз існуючих хімічних реагентів для фотодинамічної терапії. Проаналізован вплив лазерного випромінення на тканини людини.

Розроблені та проведені експерименти по дослідженню ефективності безперервного та модульованого випромінення на тканини зуба та м`які тканини порожнини рота. За висновками модульоване випромінення краще застосовувати тому що воно біль безпечніше ніх безперервне випромінення.

На основі аналітичної модели та результатів проведенних експериментів біло розроблено прилад для фотодинамічної терапії, та проведенно аналіз запровадження його у виробництво.

.

Список використанних джерел

1. Вакуловська Е. Г., Люба В. Л., Піддубний Б. К., Кувшинов-Ю. та ін. Сучасні можливості флюоресцентной діагностики та фотодинамічної терапії // Вісник Московського онкологічного товариства. 2007. - №4. - С. 3-4.

2. Войченко Н.В., Улащик В.С. Фотодинамічна терапія: стан і перспективи розвитку // Новини медико-біологічних наук. 2012. - Т. 5, №1. С. 108-119

3. В. С. Улащик Фотодинамічна терапія - технологія XXI століття // Фізіотерапія. Бальнеологія. Реабілітація. - 2013. - № 1. - С. 36 - 43.

4. Странадко Е.Ф., Маркичев Н.А., Рябов М.В. Лазерна фотодинамічна терапія - нова медична технологія лікування раку шкіри «незручних» критичних локалізацій // Фізіотерапія, бальнеологія і реабілітація. 2006; №1: С. 42-49

5. Васильєв Н.Є., Огиренко А.П. Антимікробна фотодинамічна терапія // Лазерна медицина. - 2007. - № 6 (1). - С. 32-38.

6. Гейніц А.В., Толстих П.І., Дербеньов В.А. Фотодінамічна терапія гнійних ран: посібник для лікарів. - М., 2008. - 15 с.

7. Толстих П.І., Дербеньов В.А., Кулешов І.Ю. Лазерна фотодинамічна терапія гнійних ран з фотосенсибилизаторами хлоринового ряду // Хірургія. - 2010. - № 12. - С. 17-22.

8. Гінгивіт [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: http://www.gengigel.net.ua/gingivit/

9. Тарушкін В.Т., Тарушкін П.В., Тарушкін Л.Т. Гінгівіти, пародонтити І Зубний біль // Міжнародний журнал прикладних і фундаментальних досліджень. - 2010. - № 10. - С. 89-90;

10. Парадонтит [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: http://shabdent.ru/stati/67-parodontit-simptomy-i-lechenie

11. Фукс Олена Іванівна, Карева Юлія Олександрівна, Галізіна Ольга Олександрівна, Таболіна Олена Сергіївна Сучасні аспекти етіології та патогенезу захворювань пародонту // Ріс. мед.-біол. Вісн. ім. акад. І.П. Павлова. 2013. №3.

12. А. А. Мигунов, І. Г. Мигунова Комплексне лікування генералізованого пародонтиту: клінічний випадок // Вісник КБ №51. 2016. №6 (1).

13 Кріхелі Н.І. Сучасні методи відбілювання зубів і мікроабразії емалі в естетичній стоматології. М .: Практична медицина, 2008. - 205 с.

14. Улітовського С.Б. Засоби індивідуальної гігієни порожнини рота: порошки, пасти, гелі зубні // СПб., 2002. 296 с

15. Михальченко О.С., Штох К.С. ЗАПИТАНІСТЬ ПОСЛУГИ Відбілювання зубів в ДЕРЖАВНОЇ СТОМАТОЛОГІЧНОЇ ПОЛІКЛІНІЦІ // Міжнародний журнал прикладних і фундаментальних досліджень. - 2016. - № 10-2. - С. 215-218;

16. Земскова Т.С., Тихонова Т.А., Циплухіна Н.А. Порівняння клінічної ефективності абразивних препаратів системи Air-Flow, Бюлетень медичних Інтернет-конференцій (ISSN 2224-6150) 2015. Том 5. № 11 7. Азов, С.Х. Ультразвукова терапія та лікарський ультрафонофорез / С.Х. Азов, А.К. Кур'янов // Метод, річок. Ставрополь, 2005. - 26 с

17. Новіков В.С. Освітлення зубів в клінічній практиці // Клінічна стоматологія. - 2002. - №1. - стор. 12-15

18. Photodynamic therapy in dentistry / K. Konopka, T. Goslinski //. J. Dent. Res. – 2007 Nov.; 86 (11): 1126. 12

19. Алод-01 [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: http://www.alcommedica.ru/info/products/dlya_lazernoj_xirurgii/new_body.html

20. Лахта-Мілон [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: http://www.milon.ru/index.phtml?tid=37

21. Фотодін-К [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: http://stomfaq.ru/akademiya-innovacionnoj-stomatologii-aist-inst/index.html

22. Ліка-терапевт М [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: http://www.fotonikaplus.com.ua/produktsiya/lazernye-apparaty/apparat-lazernyj-terapevticheskij-lika-terapevt-m.html

23. Хірургічний діодний лазер GRANUM [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу:https://navistom.com/ru/blog/hirurgicheskiy-diodnyy-lazer-granum-dlya-stomatologii-11974.html

24. Електротехнічні пристрої радіоелектронних засобів: монографія Є. О. Чемес; Ю. С. Ямпольський - 2014 - Страниц: 564

25. Теорія електричного зв'язку: навчальний посібник / К.К. Васильєв, В.А. Глушков, А.В. Дормідонтов, А.Г. Нестеренко; під заг. ред. К.К. Васильєва. - Ульяновськ: УлГТУ, 2008. - 452 с.

26. Гейниц А.В., Сорокатый А.Е., Ягудаев Д.М., Трухманов Р.С. Современный взгляд на механизм фотодинамической терапии. Фотосенсибилизаторы и их биодоступность. Урология. 2006;5:94-98.

27. Lehnert MW. Lasers in medicine and dentistry. Northwest dentistry. 1996;75(1):17-22.

28. Генина Э.А. Методы биофотоники: фототерапия. Учебное пособие. Саратов: Новый ветер; 2012.

29. Вплив лазерного випромінювання [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу: http://www.laser-portal.ru/content_382

30. Куликова Ірина Володимирівна, Малюков Сергій Павлович, Петерс Станіслав Ігорович Розробка моделі взаємодії лазерного випромінювання з біологічними тканинами // ИВД. 2013. №4 (27).

31. Антоненко М. Ю. Обґрунтування впровадження фотодинамічної терапії в комплексне лікування карієсу в осіб з генетичною детермінацією до каріозної хвороби / М. Ю. Антоненко, Н. А. Зелінська, О. А. Значкова, А. М. Парій // Современная стоматология. - 2016. - № 3. - С. 19-21

32. Burak Ak, Esma Özeroğlu, Mehmet Taspinar. The use of methylene blue as mouthwash in periodontology. Eastern J Med. 2015; 20(4): 215-221

33. Клочко Т.Р., Скицюк В.І., Дастжерді А. Х. М. Інтегрована система «ПРОМІНЬ-АРІА» фоторегенерації та фотостимуляції організму // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2012. – Вип.43.– С. 162-168.

34. Фізіотерапевтичний прилад "Промінь-12" для стимулювання регенерації біологічних структур / А. Х. М. Дастжерді, Т. Р. Клочко, В. І. Скицюк, С. І. Голопура // Фотобіологія та фотомедицина. - 2010. - Т. 7, № 3-4. - С. 102-105.

35. Програма Pixie portable [Електронний ресурс] / – Режим доступу до ресурсу https://soft.softodrom.ru/ap/Pixie-Portable-p582

36. Дастжерді А.Х.М., Клочко Т.Р., Рассохин В.Ф. Фізіотерапевтичний метод комплексного впливу на рубцеві тканини БТО // ВІСНИК НТУУ «КПІ». серія Приладобудування. -2006. - ВІП. 32. - С. 140-147.

37. 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.