


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

Приладобудівний факультет

**Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів
УДК 616.721.6**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

 **Наталія СТЕЛЬМАХ**
«03» листопада 2025 р.

**Дипломний проєкт
на здобуття ступеня бакалавра
за освітньо-професійною програмою «Комп'ютерно-інтегровані системи
та технології в приладобудуванні»
спеціальності 151 «Автоматизація та комп'ютерно інтегровані
технології»
на тему: «Комп'ютерно-інтегрована адаптивна система лазерної
медицини»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ПБ-12

Вялков Володимир Андрійович

Керівник:

доцент, к.т.н., доцент

Терещенко Микола Федорович

Рецензент:

доцент, к.т.н., доцент

Писарець Анна Валеріївна

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент

Київ – 2025 року

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

Приладобудівний факультету

Кафедра комп'ютерно-інтегрованих технологій виробництва приладів


Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 151 «Автоматизація та комп'ютерно-інтегровані технології»

Освітньо-професійна програма «Комп'ютерно-інтегровані системи та технології в приладобудуванні»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

 Наталія СТЕЛЬМАХ

«01» Квітня 2025 р.

ЗАВДАННЯ

на дипломний проєкт студента

Вялков Володимир Андрійович

1. Тема проєкту «Комп'ютерно-інтегрована адаптивна система лазерної медицини»,

керівник проєкту Терещенко Микола Федорович, доцент, кандидат технічних наук, доцент, затверджені наказом по університету від «_26_» _травня_ 2025 р. №_1765-с_

2. Подання студентом проєкту 01 червня 2025 року.

3. Вихідні дані до проєкту: Довжина червоного лазерного випромінювання 660(658)нм; максимальна потужність червоного лазерного випромінювання (потужність регулюється) 50 мВт або 250 мВт; довжина хвилі інфрачервоного лазерного випромінювання 810(780) нм; максимальна потужність інфрачервоного лазерного випромінювання (потужність регулюється) 100мВт; час випромінювання 0,01-99,99±20% с.; потужність, що споживається апаратом не більше 15 Вт; Напруга живлення 220В і 50Гц

4. Зміст пояснювальної записки

1. **Конструкторська частина:** Параметри та характеристики лазерного випромінювання. Дія лазерного випромінювання на біологічну тканину. Комплексний пошук джерел інтелектуальної власності. Функціонально-структурна схема комп'ютерно-інтегрованої адаптивної системи лазерної медицини (КІАСЛМ). Алгоритм та режими роботи КІАСЛМ. Мікропроцесорна система керування. Алгоритми контролю та керування.

Технологічна частина: Розрахунок електронного блоку на технологічність. Розробка структурної схеми складання та технологічної схеми. Висновки 5. Перелік графічного матеріалу: Порівняльна схема фізико-біологічного впливу лазерного випромінювання на біологічні тканини. Узагальнена класифікація методів, діючих систем та апаратів лазерної терапії. Загальна функціонально-структурна схема КІАСЛМ. Алгоритми керування роботою комп'ютерно-інтегрованої адаптивної системи лазерної медицини. Електрична схема. Складальне креслення електронного блоку КІАСЛМ. Деталювання. Структурна схема складання. Технологічна схема складання.

6. Дата видачі завдання «_01_» _квітня_ 2025 року.

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проєкту	Термін виконання етапів проєкту	Примітка
1	Аналіз та загальна оцінка впливу на біологічну тканину параметрів лазерного випромінювання	01 квітня - 06 квітня 2025 р.	Виконано
2	Системний пошук джерел інтелектуальної власності	07 квітня - 13 квітня 2025 р.	Виконано
3	Системи, методи та апарати лазерної терапії	14 квітня - 30 квітня 2025 р.	Виконано
4	Розробка конструкції КІАСЛМ	01 травня - 04 травня 2024 р.	Виконано
5	Розрахунок та оцінка параметрів лазерного випромінювання	06 травня - 11 травня 2025 р.	Виконано
6	Розрахунок значень елементів та параметрів мікропроцесора і електричних схем	12 травня - 19 травня 2025 р.	Виконано
7	Проведення технологічних розрахунків та їх обґрунтування	19 травня - 23 травня 2025 р.	Виконано
8	Розробка ТСС та ССС	24 травня - 26 травня 2025 р.	Виконано
9	Розробка алгоритмів автоматизації роботи КІАСЛМ. Впровадження.	27 травня - 31 травня 2025 р.	Виконано
10	Написання та оформлення ПЗ і представлення диплому до захисту	01 червня 2025 р. 01 червня 2025 р.	Виконано

Студент



Володимир ВЯЛКОВ

Керівник



Микола ТЕРЕЩЕНКО

Анотація

Дипломний проект на тему «Комп'ютерно-інтегрована адаптивна система лазерної медицини»

Метою дипломного проекту є розробка та проектування комп'ютерно інтегрованої адаптивної системи лазерної медицини, яка необхідна для збільшення рівню медицини та зменшення ціни на апарати.

Виконаний огляд та аналіз літературно-патентних джерел, який показав тенденції та напрям розвитку лазерного випромінювання в медицині. Проведений поглиблений аналіз сучасних апаратів і систем лазерної терапії та розроблена сучасна класифікацію методів, апаратів і систем лазерної терапії. Запропонована та розроблена нова структура комп'ютерно-інтегрованої адаптивної системи лазерної медицини (КІАСЛМ) та модифікований алгоритм керування роботою такої система лазерної медицини. Розроблена 3D-модель та виконані складальний креслення з деталюванням, та розроблено технологічну і структурну схеми складання. Досліджені алгоритми мікропроцесорного керування КІАСЛМ. Проведені розрахунки параметрів електричних схем, лазерного випромінювання і технологічні розрахунки конструкції КІАСЛМ.

Ключові слова: лазерна терапія , адаптивне керування, алгоритми роботи, лазерне випромінювання, структурні схеми систем і апаратів

Annotation

Diploma Project on the Topic: "Computer-Integrated Adaptive System of Laser Medicine"

The aim of the diploma project is the development and design of a computer-integrated adaptive laser medicine system, which is necessary to improve the level of medical care and reduce the cost of equipment.

A review and analysis of literary and patent sources was conducted, revealing trends and directions in the development of laser radiation in medicine. An in-depth analysis of modern laser therapy devices and systems was carried out, and a modern classification of laser therapy methods, devices, and systems was developed.

A new structure of the computer-integrated adaptive laser medicine system (CIALMS) was proposed and developed, along with a modified control algorithm for the operation of such a system. A 3D model was created, as well as an assembly drawing with detailing, and both technological and structural assembly diagrams were developed.

The algorithms for microprocessor control of the CIALMS were studied. Calculations of the parameters of electrical circuits, laser radiation, and the technological calculations for the CIALMS design were carried out.

Keywords: laser therapy, adaptive control, operational algorithms, laser radiation, structural diagrams of systems and devices

Зміст

ВСТУП.....	9
РОЗДІЛ 1 КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА.....	10
1.1.Характеристики та основні параметри дії лазерного випромінювання.....	11
1.2.Дія та ефекти лазерного випромінювання на шкіру.....	16
1.3.Класифікація діючих методів лазерної терапії.....	19
1.4.Огляд , аналіз та класифікація апаратів і систем лазерної терапії.....	21
1.5.Пошук інтелектуальної власності.....	36
1.6.Розробка структурно-функціональної схеми комп'ютерно-інтегрованої адаптивної системи лазерної терапії	41
1.7. Розрахунок електричної схеми.....	49
1.8. Напрямки автоматизації КІАСЛМ.....	52
Висновок до конструкторській частині.....	61
РОЗДІЛ 2 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	62
2.1. Проведення розрахунку на технологічність КІАСЛМ.....	63
2.2. Розробка ССС та ТСС.....	66
2.3. Розрахунок параметрів розмірного ланцюга.....	68
Висновок до технологічній частині.....	70
ВИСНОВКИ.....	71
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	
ДОДАТКИ	

ВСТУП

У наш час медицина стрімко розвивається, надаючи пацієнтам дедалі ефективніші та безпечніші методи лікування. Одним із найперспективніших напрямів сучасної фізіотерапії є застосування комп'ютерно-інтегрованої адаптивної системи лазерної медицини (КІАСЛМ). Ці системи широко використовуються для лікування різноманітних патологій завдяки високій точності впливу та мінімальній інвазивності процедур. КІАСЛМ дозволяють проводити терапію з використанням лазерного випромінювання та світлових хвиль певної довжини, що забезпечує глибоке проникнення в тканини організму без болю та ушкоджень.

Попри численні переваги, традиційні лазеро-терапевтчні пристрої мають і недоліки, серед яких — ризик перегріву тканин і можливість виникнення опіків. Це обумовлює необхідність впровадження інтелектуальних систем автоматизації, які дозволять контролювати параметри терапії в режимі реального часу та адаптувати їх відповідно до індивідуальних особливостей пацієнта. Такі вдосконалення не лише мінімізують побічні ефекти, а й значно підвищують ефективність лікування.

Метою даного дипломного проєкту є модернізація існуючої КІАСЛМ шляхом впровадження нових структурних схем та алгоритмів автоматизації, які забезпечать контроль температури в зоні дії лазерного випромінювання. Це дозволить досягти більш високого рівня безпеки та ефективності лікування широкого спектра захворювань.

Запропонована система передбачає використання сучасного мікроконтролера STM32, високоточних цифрових температурних сенсорів DS18B20, а також MOSFET-керованих лазерних джерел випромінювання. Інтерфейс користувача реалізовано на базі сенсорного дисплея, що забезпечує зручну взаємодію медичного персоналу з пристроєм. У поєднанні з програмним забезпеченням система дозволяє не лише задавати параметри лікування, а й у реальному часі відстежувати температуру оброблюваної ділянки тіла, з можливістю миттєвого реагування на зміни.

Таким чином, удосконалення КІАСЛМ шляхом впровадження системи температурного контролю є актуальним і перспективним напрямом розвитку сучасних лазеротерапевтичних технологій. Це дозволяє поєднати високу ефективність впливу з максимальним рівнем безпеки, що особливо важливо при роботі з пацієнтами, які мають підвищену чутливість до термічних факторів.

РОЗДІЛ 1

КОНСТРУКТОРСЬКА ЧАСТИНА

1.1 Характеристики та основні параметри дії лазерного випромінювання.

Лазерне випромінювання — це особливий тип електромагнітного випромінювання, який характеризується високим ступенем когерентності, монохроматичністю, вузькою спрямованістю та здатністю до фокусування в надзвичайно малу площу з утворенням високої щільності енергії [1]. Процес генерації лазерного випромінювання формується на трьох фізичних явищ, а саме: часткове поглинання енергії, спонтанне випромінювання, індуковане випромінювання.

Поглинання енергії - електрони атомів або молекул поглинають фотон і переходять на вищий енергетичний рівень.

Спонтанне випромінювання - електрон повертається на нижчий рівень, випромінюючи фотон довільно за фазою і напрямком.

Індуковане випромінювання - основа лазерного процесу, при якій фотон, проходячи повз збуджений атом, спричиняє випромінення ще одного фотона з тією ж фазою, напрямком та енергією.

За основу розробки був взятий апарат лазерний терапевтичний «Лика терапевт М» [2].



Рис.1.1 Апарат лазерний терапевтичний «Лика терапевт М» [3].

Основні характеристики апарату: довжина червоного лазерного випромінювання 660(658)нм; Максимальна потужність червоного лазерного

випромінювання(потужність регулюється) 50 мВт або 250 мВт; Довжина хвилі інфрачервоного лазерного випромінювання 810(780) нм; Максимальна потужність інфрачервоного лазерного випромінювання(потужність регулюється) 100мВт; Час випромінювання 0,01-99,99±20% с.

Апарат має можливість працювати зі змінюваними характеристиками такими як: потужність характеристика яка відповідає зміну сили лазерного випромінювання; час- характеристика відповідає за час взаємодії зі тканиною пацієнта; частота – характеристика модулювання лазерного випромінювання.

Потужність, що споживається апаратом не більше 15 Вт за технічним паспортом; Напряга живлення 220В і 50Гц

Лазерне випромінювання є одним із ключових технологічних чинників, що сприяє стрімкому розвитку багатьох галузей у сучасному світі. Завдяки своїм унікальним властивостям, воно стало основою для створення високоточних систем та інструментів, що застосовуються в оптиці, медицині, промисловості, телекомунікаціях та наукових дослідженнях [4].

На відміну від звичайного світла, лазерне випромінювання має низку специфічних характеристик, які зумовлюють його виняткові фізичні властивості. Насамперед, лазерне випромінювання характеризується: монохроматичним, когерентним, висока спрямованість, інтенсивність та щільність випромінювання [5].

Монохромність - випромінювання складається з хвиль практично однакової довжини, що означає дуже вузький спектр. Це дозволяє точно підбирати параметри взаємодії з певними матеріалами, тканинами або фотохімічними речовинами. Спектральна ширина лазерів може становити лише декілька герц, у той час як традиційні джерела світла мають ширину до терагерц.

Висока спрямованість - лазерний промінь майже не розходиться на відстані (розбіжність становить частки градуса). Це дозволяє фокусувати випромінювання на віддалених об'єктах або транспортувати енергію без значних втрат.

Інтенсивність та щільність енергії - завдяки фокусуванню у мікроскопічну пляму можна досягти щільності потужності до 10^9 Вт/см², що дозволяє проводити точкову обробку матеріалів, хірургічне втручання, викликати фотонні або термічні ефекти [6].

Поляризованість - більшість лазерів випромінюють світло з визначеною поляризацією (лінійною або круговою). Це дозволяє використовувати їх у прецизійній оптиці, телекомунікаціях, а також у медичних застосуваннях, де напрямок електричного вектора має значення для біологічної відповіді

Ключовими параметрами лазерного випромінювання є довжина хвилі, потужність, тривалість імпульсу, частота повторення та енергія випромінювання, які впливають на характер взаємодії з різними матеріалами чи тканинами [7]. Саме ці параметри визначають можливість застосування лазера в тій чи іншій сфері.

Таким чином, завдяки своїй універсальності, лазерне випромінювання стало невід'ємною частиною сучасного технологічного прогресу. Розглянемо основні параметри лазерного випромінювання.

Довжина хвилі (λ) – це відстань, на яку поширюється хвиля за період, що відповідає довжині між двома найближчими точками середовища, які коливаються в одній фазі. Вимірюється в нанометрах (нм) або мікрометрах (мкм).

$$\lambda = vT \quad (1.1)$$

-де v швидкість поширення хвилі,

T - час 1 коливання.

Потужність (P) - це значення кількості енергії, яка випромінюється лазером впродовж певного часу та вимірюється в Ваттах (Вт).

$$P = \frac{E}{t}, \quad (1.2)$$

-де E енергія лазерного випромінювання,

t час за який була випромінена енергія.

Щільність потужності випромінювання(θ) – співвідношення потоку випромінювання до площі поверхні, що є перпендикулярною до напрямку розповсюдження. Вимірюється в Вт/м²[3].

$$\theta = \frac{P}{S}, \quad (1.3)$$

-де P потужність випромінювання,

S Площа впливу

Діаметр пучка – фізична величина, що відповідає розміру поперечного перерізу променя лазера. Вимірюється в міліметрах (мм) або мікрометрах (мкм). Діаметр пучка впливає на концентрацію енергії променів і може мати значення від декількох міліметрів до розмірів менше міліметрів.

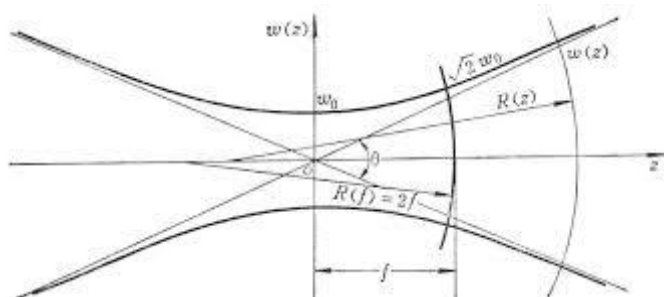


Рис.1.2 Діаметр $D(z)$ лазерного пучка [8]

Де:

$$D(z) = 2w(z) \text{ діаметр лазерного пучка}$$

$$w(z) = w_0 \sqrt{1 + \left(\frac{z}{zR}\right)^2}$$

мінімальний радіус

- **w(z) радіус пучка** на відстані z від фокусної точки. Це відстань, на якій інтенсивність падає до від максимальної.
- **R(z) - Радіус кривизни** хвильового фронту на відстані z.
- **Θ - Кут розходження пучка.**
- **Z - Розповсюдження променя.**
- **F - фокусна відстань.**
- **R(f)** значення радіуса кривизни на відстані f
- $\sqrt{2}w_0$ ширина пучка в певній точці, яка відповідає конкретному фазовому фронту

Спектр лазерного випромінювання – це параметр від якого залежить забарвлення лазера. В залежності від довжин хвиль лазерне випромінювання ділиться на діапазони і спектри.

Ультрафіолетовий діапазон: 180-400 нм;

Видимий спектр поділяється на 7 спектральних кольорів:

- 400-450 нм(фіолетовий);
- 450-480 нм (синій);
- 480-510 нм (блакитний);
- 510-575 нм (зелений);
- 575-585 нм (жовтий);
- 585-620 нм (помаранчевий);
- 620-760 нм (червоний).

Ультрачервоний діапазон поділяється на 2 області:

- 760 нм -15 мкм (ближча область);
- 15-30 мкм (дальня область).

Діапазон випромінювання зображено на рис. 1.3.

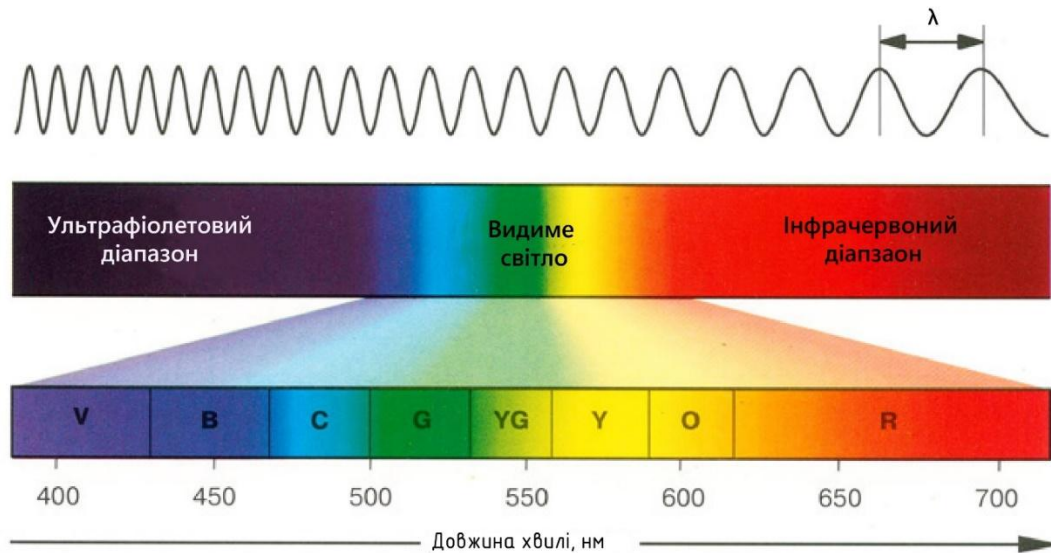


Рис. 1.3. Залежність діапазону випромінювання від довжини хвилі[9]

Таким чином було встановлено, що до основних параметрів та характеристики лазерного випромінювання можна віднести потужність, довжину хвилі, діаметр пучка, а також спектр лазерного випромінювання.

1.2. Дія та ефекти лазерного випромінювання на шкіру.

Дія та ефекти лазерного випромінювання у сучасній медицині дослідження впливу лазерного випромінювання на біологічні тканини, зокрема на шкіру, має важливе значення для вдосконалення методів лікування та профілактики різноманітних дерматологічних захворювань. Лазерна дія на шкіру вивчається як з точки зору біофізики, так і клінічної ефективності .

Лазерне випромінювання може взаємодіяти з біологічною тканиною на різних рівнях, залежно від його параметрів і характеристик: довжини хвилі, тривалості і форми пучка та його потужності [10]. Слід зазначити, що глибина проникнення лазерного випромінювання в біологічну тканину (рис.1.4) залежить від довжини хвилі.

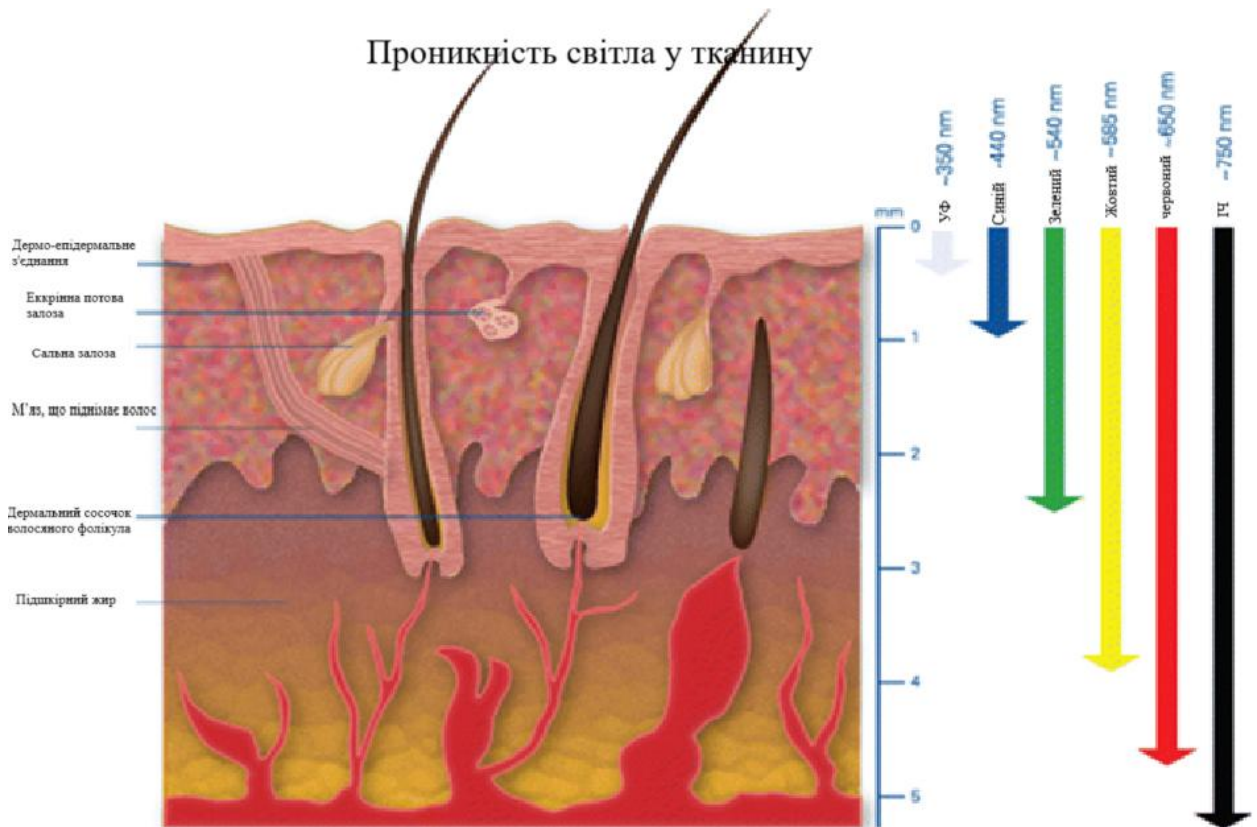


Рис. 1.4. Дія лазерного випромінювання на шкіру[9]

Лазерне випромінювання взаємодіє з шкірою через фізичні та біологічні процеси, що залежать від довжини хвилі, інтенсивності, тривалості впливу та типу шкірної тканини. Основна мета такої взаємодії — отримання терапевтичного або естетичного ефекту без ушкодження здорових тканин.

Основні механізми взаємодії: поглинання, розсіювання, відбиття та проникнення.

Поглинання лазерного випромінювання шкірою є ключовим механізмом, що визначає ефективність та безпечність лазерних процедур у медицині та косметології [11]. Цей процес залежить від взаємодії світла з основними хромофорами шкіри — меланіном, гемоглобіном та водою — кожен з яких має характерний спектр поглинання.

Меланін розташовано в епідермісі та є головним перешкода у видимому та ультрафіолетовому діапазоні. Максимум поглинання спостерігається

приблизно при 335 нм. У зв'язку з цим робить меланін основною цілю лазерів працюючих у діапазонні 400-700 нм.

Гемоглобін основний компонент крові та поділяється на оксигемоглобін та де оксигемоглобін тож характеристики залежать від виду компоненту. Максимум для оксигемоглобіну є 418 нм, 542 нм та 577 нм, в той час як, дезоксигемоглобін є 430 нм, 555 нм. У зв'язку з цим робить гемоглобін цільцю для лазерів 500-600нм.

Вода є основним поглиначем інфрачервоного випромінювання приблизно у діапазоні 1000 нм. Завдяки цим характеристикам вони

Розсіювання — це процес, при якому лазерне випромінювання, проходячи через тканини шкіри, змінює напрямок свого руху через взаємодію з мікроструктурами (клітинами, волокнами, колагеном). Це явище є другим за значенням після поглинання у світловій взаємодії з біологічними тканинами. На заломлення впливають декілька факторів

У більшості біологічних тканин розсіювання є важливим фактором у видимій і ближній інфрачервоній областях спектра. На довжинах хвиль від 0,45 до 0,59 мкм розсіювання і поглинання відіграють приблизно однакову роль при проходженні лазерного променя через тканину, але на довжинах хвиль від 0,6 до 1,5 мкм розсіювання стає домінуючим над поглинанням. Тому основний ефект взаємодії лазерного випромінювання з біологічною тканиною є результатом поглинання тканиною.

Відбивання — це процес, при якому частина лазерного випромінювання змінює напрям і відбивається від поверхні шкіри назад у навколишнє середовище. Цей ефект відбувається на межі повітря та рогового шару епідермісу й відіграє важливу роль у формуванні ефективної дози лазерної терапії.

Проникнення — це процес, при якому лазерне випромінювання проходить крізь шари шкіри, зменшуючи свою інтенсивність внаслідок поглинання і розсіювання. Глибина проникнення є критично важливим параметром у виборі лазера для терапевтичного чи хірургічного застосування [12].

1.3 Класифікація діючих методів лазерної терапії

Лазери - це складні джерела світла, які випромінюють монохроматичне світло у видимому та ближньому інфрачервоному діапазонах. Найбільший інтерес представляють лазери, в яких світлові промені добре проникають в біологічні тканини і можуть передаватися через тонкі, гнучкі волокна. м'яких тканин.

Ураховуючи ці всі властивості лазерна терапію розподілили за методами використання наприклад(мал): локальна лазеротерапія призначена для невеликих лише уражених частин тканин; сегментована лазерна терапія опромінення зон з ураженими зонами сегментів які пов'язані з пошкодженим органом; рефлекс терапевтична лазеротерапія яка пов'язана з опроміненням біологічно активних точок; внутрішньовенна лазерна терапія пов'язана з введенням світлодіоду у вену для опромінення із середини; лазерна пункційна терапія пов'язана з введенням випромінювачем використовуючи голку для глибокої стимуляції; магнітолазерна терапія комбінування двох методик для однієї ураженої ділянки; внутрішньо порожнина лазеротерапія призначена для праці через слизові оболонки через аплікатори.

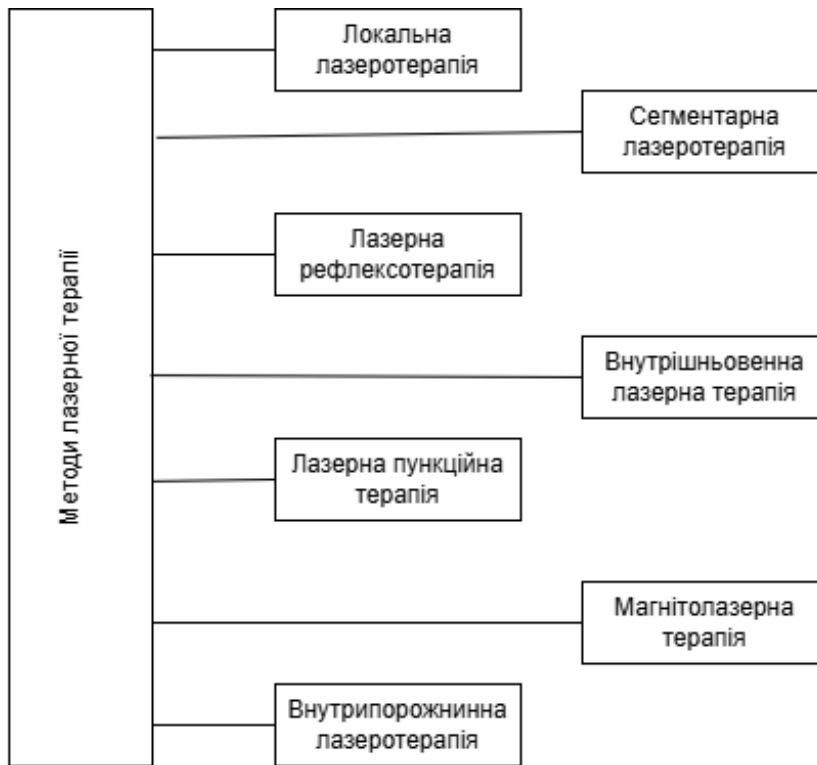


Рис.1.5. Методи лазерної терапії

У даному проекті було обрано локальна лазерна фізіотерапія для цих цілей було обрано діодний лазер який відповідає характеристикам гелійо-неонового лазеру(HeNe) з променем у спектру 632,8 нм., але для досягнення потрібної потужність потрібно використати як 2-4 лазери Опромінення даним лазером має невеликий тепловий ефектів в порівняні з більш потужними варіантам що допомагає зменшити ризики пошкодження тканин. Лікуючий ефект в першу чергу проявляється впливом на тканини, на капілярні системи та має знеболюючий ефект [13].Описуючи медичний вплив потрібно по перше виділити такі ефекти що лазер збільшує метаболізм клітин, що пришвидшує поділ клітин та синтез білків, як результат пришвидшується загоєння ран, виразок, тріщини на поверхні шкіри; по друге покращення мікроциркуляції завдяки: розширенню капілярів, покращенню притоку кисню та зменшення набряків; по третє знеболюючий седативний ефект завдяки зменшенню збудливості нервових клітин у зоні дії. Ураховуючи ці всі ефекти ми

отримаємо результат у вигляді збільшеній швидкості відновлення поранень тканин.

1.4 Огляд , аналіз та класифікація апаратів і систем лазерної терапії.

Апарат фототерапії T-07 – це сучасний високотехнологічний прилад, призначений для неінвазивного лікування дерматологічних проблем і профілактичного догляду за шкірою за допомогою світлових хвиль у видимому діапазоні. Його застосовують у косметологічних кабінетах, дерматологічних клініках та медичних центрах. Виробником апарата є компанія Alvi Prague (Чехія), відома розробкою професійного обладнання для естетичної медицини [14] .

Конструктивно апарат T-07 складається з основного блоку керування та фотонної маніпули, оснащеної світлодіодами різного спектру. Кожен світлодіод випромінює хвилі певної довжини, що мають різну біологічну дію на тканини. Маніпула фіксується на гнучкому кронштейні, що дозволяє регулювати кут її нахилу в межах 15–180°, забезпечуючи комфортне розташування над оброблюваною ділянкою шкіри.

T-07 підтримує два режими роботи: імпульсний та безперервний. У першому випадку світло подається періодично, що дозволяє досягти глибшого проникнення хвиль у тканини; у другому – здійснюється постійне освітлення, ефективно для поверхневих проблем.

Апарат підтримує роботу в монохромному, комбінованому режимах та режимах кольорових циклів, що дозволяє цілеспрямовано впливати на різні фізіологічні процеси в шкірі: зменшення запалення, стимуляцію колагеноутворення, покращення мікроциркуляції, нормалізацію роботи сальних залоз тощо. Така функціональність забезпечує широку терапевтичну гнучкість при лікуванні акне, розацеа, пігментації, ознак фотостаріння та інших дерматологічних станів.

Світловий спектр апарата охоплює сім основних довжин хвиль:

- **415 нм (фіолетовий)** — антибактеріальний ефект, застосовується при лікуванні акне;
- **462 нм (синій)** — заспокійлива дія, зменшення подразнення;
- **490 нм (бірюзовий)** — покращення кисневого обміну;
- **525 нм (зелений)** — зменшення пігментації та тонізація;
- **580 нм (жовтий)** — покращення мікроциркуляції та тонусу;
- **600 нм (помаранчевий)** — стимуляція регенеративних процесів;
- **650 нм (червоний)** — глибоке проникнення, активізація колагеногенезу та загальне омолодження шкіри.

Максимальна потужність випромінювання становить **до 7 Вт**, що є безпечним для пацієнта та відповідає сучасним стандартам апаратної косметології [15]. Живлення пристрою здійснюється від мережі **220–240 В, 50 Гц**, а клас електрозахисту **IP20** забезпечує достатній рівень безпеки для використання в умовах медичного кабінету.

Загальні габарити апарата становлять **100 × 300 × 215 мм**, маса – **2,8 кг**, що дозволяє легко розміщувати його на робочому столі або спеціальній підставці без потреби у складному монтажі. Завдяки ергономічній конструкції та зручності в експлуатації апарат Т-07 став популярним вибором серед фахівців естетичної медицини.



Рис.1.6 Апарат фототерапії T-07 [10]

PhysioGo.Lite Laser [16] — це діючий апарат низькоінтенсивної лазерної терапії, розроблений польською компанією **ASTAR**. Він призначений для проведення біостимулюючих процедур у фізіотерапії, ортопедії, ревматології, спортивній та естетичній медицині. Завдяки компактним розмірам, ергономічному дизайну та можливості автономної роботи від акумулятора, прилад ідеально підходить як для клінічного, так і для домашнього використання.

Апарат оснащений 5-дюймовим кольоровим сенсорним дисплеєм, що забезпечує інтуїтивно зрозуміле керування. Інтерфейс дозволяє вибрати програми лікування за назвою захворювання або медичною спеціалізацією. Вбудована енциклопедія містить опис методик проведення процедур, а також статистику виконаних сеансів. Підтримує два режими роботи: безперервний та імпульсний, з можливістю регулювання потужності та частоти імпульсів. Пристрій автоматично розраховує час процедури залежно від заданих параметрів (доза, потужність, площа обробки). Також передбачена функція автоматичного тестування потужності лазерного випромінювання перед початком сеансу.

PhysioGo.Lite Laser підтримує роботу з різними типами аплікаторів: точковим, скануючим та кластерним, що дозволяє ефективно адаптувати лікування під індивідуальні потреби пацієнтів. Пристрій працює з двома довжинами хвиль: 660 нм (червоне світло) для поверхневого впливу та 808 нм (інфрачервоне світло) для глибшого проникнення в тканини. Це дає змогу досягати як знеболювального, так і протизапального ефектів, а також стимулювати регенерацію клітин.

Максимальна потужність залежить від типу аплікатора і може сягати до 400 мВт (для точкового випромінювача на 808 нм) та до 5×40 мВт + 4×400 мВт для кластерного аплікатора. Частота імпульсного режиму змінюється в широкому діапазоні — від 1 до 5000 Гц, з регульованим коефіцієнтом заповнення імпульсу від 10 до 90%.

У базовій конфігурації апарат має 175 вбудованих лікувальних програм, а також дозволяє створювати до 200 користувацьких програм і зберігати вибрані протоколи в розділі «Улюблені». Крім того, PhysioGo.Lite Laser містить 38 спеціалізованих програм для акупунктури, у тому числі за методиками Нож'є (8 програм) та Фолля (30 програм).

Компактні розміри (30 × 23 × 11 см) і невелика вага (3 кг) роблять цей апарат портативним і зручним у щоденному використанні. Завдяки можливості підключення літій-іонного акумулятора (2100 мА·год) прилад може працювати автономно, що особливо важливо при виїзній терапії або в умовах обмеженого доступу до електромережі.

Серед додаткових функцій апарата слід відзначити: самодіагностику системи, енергозбереження, автоматичне розрахування часу процедури, збереження історії процедур, а також наявність вбудованої медичної енциклопедії, що значно спрощує роботу лікаря-фізіотерапевта або медичного косметолога.



Рис.1.7. PhysioGo.Lite Laser[16]

Апарат лазерної терапії серії LP[17] — це сучасне фізіотерапевтичне обладнання, призначене для неінвазивного лікування широкого спектра захворювань шляхом впливу на тканини інфрачервоним лазерним випромінюванням. Ці апарати використовуються в медичних установах для проведення процедур, спрямованих на зменшення болю, зняття запалення та стимуляцію регенераційних процесів.

Апарат серії LP складається з основного блоку керування та лазерного зонда. Залежно від моделі, апарат може мати один або два канали для підключення лазерних зондів з одним або шістьма діодами. Зонди оснащені системою регулювання рівня інтенсивності випромінювання, що дозволяє адаптувати процедуру під індивідуальні потреби пацієнта.

Апарат лазерної терапії серії LP є ефективним інструментом для проведення фізіотерапевтичних процедур, спрямованих на зменшення болю, зняття запалення та стимуляцію регенераційних процесів. Завдяки своїм технічним характеристикам та функціональним можливостям, апарат LP забезпечує високоякісне лікування та відповідає сучасним вимогам медичної практики.

Модель **LP-1M[18]** є представником серії апаратів лазерної терапії LP, розроблених для професійного використання у фізіотерапії. Вона працює на довжині хвилі **905 нм**, що належить до діапазону **інфрачервоного**

випромінювання з глибоким проникненням у тканини, сприяючи інтенсивному біостимулювальному та знеболювальному ефекту.

LP-1M оснащений одним імпульсним діодом з максимальною вихідною потужністю 30 Вт, що дозволяє формувати щільні імпульси з високим піковим значенням, зберігаючи при цьому безпечний середній рівень енергії. Пристрій підтримує частоту імпульсів у діапазоні 0,5–1000 Гц, що забезпечує можливість гнучкого налаштування параметрів лікування відповідно до клінічної ситуації.

Енергоспоживання апарата становить **20 ВА**, що свідчить про його економічність та можливість тривалої роботи без значного навантаження на електромережу. Компактні габарити (**170 × 315 × 390 мм**) і відносно невелика вага (**3,5 кг**) дозволяють зручно інтегрувати пристрій у фізіотерапевтичний кабінет.

LP-1M є надійним та ефективним рішенням для терапії запальних, дегенеративно-дистрофічних та травматичних захворювань опорно-рухового апарату, периферичної нервової системи, а також у комплексному лікуванні післяопераційних станів. Поєднання високої потужності, широкого діапазону частот і простоти керування робить цей апарат затребуваним у повсякденній медичній практиці.



Рис.1.8 Апарат лазерної терапії LP-1M[18]

BTL-6000 High Intensity Laser [19]— це високо потужний апарат (до 30 Вт) з довжиною хвилі 1064 нм, призначений для глибокої терапії суглобів, зв'язок та хребта. Головна особливість — наявність роботизованої сканувальної головки, яка автоматично охоплює великі ділянки (до 1225 см²) без необхідності ручного втручання. Пристрій оснащений сенсорним інтерфейсом, має попередньо налаштовані терапевтичні програми та систему зворотного зв'язку з температурним контролем.

BTL-6000 підтримує декілька режимів випромінювання — неперервний, імпульсний і одиничний імпульс, що дозволяє адаптувати лікування під конкретні клінічні задачі. Завдяки довжині хвилі 1064 нм апарат забезпечує проникнення лазерного випромінювання на глибину до 10 см, що особливо ефективно при терапії великих суглобів, м'язів та глибоких структур опорно-рухового апарату.

Максимальна потужність — до 30 Вт (для розширеної конфігурації), що значно підвищує щільність енергії на одиницю площі тканини. Це сприяє потужному біостимулювальному ефекту, знеболенню та протизапальній дії.

Апарат обладнаний сенсорним 5,7-дюймовим екраном, через який здійснюється вибір із 61 попередньо встановленого протоколу. Також реалізована система ногого керування та аварійного вимкнення, що підвищує безпеку при проведенні процедур. Додатково передбачена автоматична калібровка та захисні механізми, які запобігають перевантаженню та некоректній роботі пристрою.

Компактний корпус (розміри: 320 × 190 × 280 мм, вага — близько 7 кг) та можливість інтеграції з роботизованим сканером роблять BTL-6000 High Intensity Laser універсальним рішенням для клінік фізіотерапії, спортивної медицини та реабілітаційних центрів.



Рис.1.9 BTL-6000 High Intensity Laser[19]

MLS M6 (ASA Laser) [20] — інноваційна автоматизована система з двома джерелами випромінювання (808 та 905 нм), яка використовує технологію MLS® для синхронної дії на різні шари тканин. Скануюча головка пересувається за заданим шаблоном, забезпечуючи рівномірне опромінення та стабільний біостимулюючий ефект. Потужність лазера досягає 3×25 Вт, що дозволяє зменшити тривалість процедур. Пристрій має вбудовану базу клінічних програм, сенсорний дисплей та систему контролю параметрів в реальному часі

MLS M6 дозволяє працювати в чотирьох основних клінічних режимах: знеболення, біостимуляція, протизапальна терапія та лікування набряків, що охоплює широкий спектр медичних показань — від гострих травм до хронічних запальних процесів.

Завдяки двом незалежним робочим каналам, можливе одночасне застосування ручного аплікатора та автоматизованої скануючої головки, що підвищує ефективність та швидкість лікування. Розмір зони впливу складає 5 см для роботизованої головки та 2 см для ручного аплікатора, що дозволяє адаптувати терапію до анатомічних особливостей пацієнта.

Апарат оснащений 5,7-дюймовим кольоровим сенсорним дисплеєм, що забезпечує зручний доступ до вбудованої бази клінічних протоколів, а також

систему багаторівневої безпеки — зокрема, інтерлок, попереджувальне світло, звукові сигнали та захист доступу паролем.

MLS M6 відзначається високою ергономічністю завдяки мобільній стійці (габарити: 106 × 43 × 154 см) та вазі 43 кг, що робить його оптимальним рішенням для клінік фізичної реабілітації, спортивної медицини та ортопедії.



Рис.1.10 MLS M6 (ASA Laser)[20]

Polaris HP S (ASTAR) [21] — високо потужний апарат (до 18 Вт) із довжинами хвиль 808 та 980 нм, орієнтований на лікування патологій опорно-рухового апарату та спортивних травм. Апарат обладнаний оптичним адаптером DILA, що дозволяє фокусувати енергію глибоко в тканинах. Сенсорний інтерфейс забезпечує зручне керування, а вбудована база даних містить понад 200 програм. Часткова автоматизація реалізується через адаптивний аплікатор та систему самодіагностики.

Завдяки широкому діапазону частот імпульсів (від 1 до 10 000 Гц) та можливості налаштування коефіцієнта заповнення імпульсів від 1% до 90%, Polaris HP S забезпечує гнучкість у підборі параметрів лікування, що дозволяє максимально точно адаптувати терапію під індивідуальні потреби пацієнта. Режими випромінювання включають безперервний, імпульсний та суперімпульсний, що сприяє досягненню різних терапевтичних ефектів — від знеболення до стимуляції регенерації тканин.

Вбудовані алгоритми автоматичного розрахунку часу процедури, дози та потужності забезпечують безпеку та ефективність сеансів, знижуючи ризик помилок під час налаштувань. Система самодіагностики регулярно контролює працездатність лазера, що гарантує стабільність вихідної потужності і довговічність апарата.

Компактні розміри та вага пристрою дозволяють легко інтегрувати Polaris HP S у будь-який кабінет фізіотерапії, а також використовувати його для мобільних виїздів. Надійність і зручність експлуатації роблять цей апарат незамінним інструментом у сучасній реабілітаційній медицині.



Рис.1.11 Polaris HP S (ASTAR)[21]

Wellue Cold Laser + TENS [22]— компактний автоматизований пристрій для домашнього використання, що поєднує дію червоного та інфрачервоного лазера (650 і 808 нм) з технологією електростимуляції (TENS). Незважаючи на простоту, апарат має кілька режимів інтенсивності, автоматичне таймерне керування та не потребує спеціальної підготовки для використання. Ідеально підходить для реабілітації, зменшення болю та покращення мікроциркуляції.

Окрім основних терапевтичних можливостей, пристрій вирізняється зручною ергономікою: легкий (близько 200 г), з компактними розмірами (19 × 5 × 5 см), він зручно тримається в руці або фіксується за допомогою ремня. Інтуїтивний цифровий дисплей дозволяє легко обирати режими роботи, а живлення від акумулятора забезпечує до 5 годин автономної терапії без потреби в частій

зарядці. У комплекті також передбачені захисні окуляри, зарядний кабель та аксесуари, необхідні для повноцінного використання, що робить апарат максимально готовим до роботи "з коробки".



Рис.1.12. **Wellue Cold Laser**[23]

Після критичного аналізу сучасних апаратів лазерної терапії було запропоновано та розроблено сучасну класифікації діючих медичних лазерних апаратів та систем.



Рис.1.13 Класифікація апаратів лазерної терапії

Представлена схема відображає багаторівневу класифікацію апаратів лазерної терапії, що дозволяє чітко систематизувати сучасні пристрої за ключовими технічними та функціональними ознаками. Як видно, класифікація охоплює такі аспекти, як довжина хвилі (що безпосередньо впливає на глибину проникнення лазерного випромінювання), рівень автоматизації, режим генерації випромінювання, спосіб використання, конструктивне виконання (форм-фактор) та сферу медичного застосування. Такий підхід забезпечує гнучкість у виборі апарату відповідно до конкретних клінічних задач: від портативних ручних пристроїв для фізіотерапії до стаціонарних автоматизованих систем хірургічного призначення. Діаграма наочно демонструє різноманіття можливих конфігурацій, підкреслюючи багатофункціональність і універсальність лазерної технології в медицині.

Виконаєм порівняння апаратів лазерної дії (табл 1.2) .

Параметр	PhysioG o.Lite Laser	LP-1M	BTL- 6000 HIL	MLS M6	Polaris HP S	Wellue Cold Laser
Клас лазера	3B	3B	IV	IV	IV	3B
Довжина хвилі	660 нм, 808 нм	905 нм	1064 нм	808 нм, 905 нм	808 нм, 980 нм	650 нм, 808 нм
Макс. потужність	400 мВт (точкови й)	30 Вт (пікова)	до 30 Вт	3×25 Вт (пікова)	18 Вт (пікова)	150 мВт/ді од
Режими	Безпере рвний, імпульс ний	Імпуль сний	Безпере рвний, імпульс ний, одинич ний імпульс	Комбінов аний	Безперерв ний, імпульсни й, суперімпу льсний	Постій ний, пульсу ючий
Частота імпульсів	1–5000 Гц	0.5– 1000 Гц	1 Гц – 20 кГц	1–2000 Гц	1–10000 Гц	40–200 Гц (TENS)
Інтерф ейс	5" сенсорн ий	—	5.7" сенсорн ий	5.7" сенсорни й	7" сенсорний	Цифров ий дисплей
Кількіс ть каналів	1	1	1	2	1	—

Живлення	100–240 В, акумулятор	230 В	230 В	100–240 В	230 В	US В акумулятор
Програми	175 вбуд., 200 корист.	—	61 протокол	4 режими, клін. база	>400 вбуд., 250 корист.	3 режими TENS
Автоматизація	Таймер, енциклопедія, автотест	Ні	Сканер, зворотній зв'язок	Робот олівка, реальний час	Адаптивний аплікатор	Таймер, автоматичне вимкнення
Вага	3 кг	3.5 кг	~7 кг	43 кг	6 кг	~200 г
Застосування	Клініки, домашнє	Фізіотерапія	Ортопедія, спорт	Медицина, реабілітація	ОДА, спорт, реабілітація	Домашнє, побутове

У ході аналізу технічних характеристик сучасних апаратів для лазерної терапії, таких як PhysioGo.Lite Laser, LP-1M, BTL-6000 HIL, MLS M6, Polaris HP S та Wellue Cold Laser, було визначено їхні переваги, недоліки та оптимальні сфери застосування.

Апарат Polaris HP S продемонстрував найкраще співвідношення між функціональністю, потужністю, гнучкістю налаштувань та ступенем автоматизації. Завдяки використанню двох довжин хвиль (808 нм та 980 нм),

високій піковій потужності (до 18 Вт), наявності сенсорного інтерфейсу (7") та широкому вибору вбудованих і користувацьких програм (понад 650), Polaris HP S є оптимальним вибором для використання в ортопедії, спортивній медицині та фізіотерапії. Додатковою перевагою є адаптивний аплікатор, що підвищує точність і безпеку лікування.

Серед високо потужних систем також слід відзначити BTL-6000 HIL (до 30 Вт, довжина хвилі 1064 нм), який забезпечує глибоке проникнення лазерного випромінювання, та MLS M6, який відрізняється унікальною роботизованою системою сканування та повною автоматизацією процесу терапії, що робить його доцільним для великих клінік та реабілітаційних центрів.

У сегменті пристроїв для домашнього використання найкращі показники має PhysioGo.Lite Laser. Пристрій поєднує достатню вихідну потужність (до 400 мВт), підтримку двох довжин хвиль (660 нм та 808 нм), зручний сенсорний інтерфейс та наявність великої кількості вбудованих терапевтичних програм, що дозволяє ефективно використовувати його як у клінічних умовах, так і в домашньому середовищі.

Найбільш мобільним і доступним варіантом є Wellue Cold Laser, який завдяки своїм компактним розмірам, USB-зарядці та простому керуванню ідеально підходить для побутового застосування, особливо при незначних м'язово-скелетних порушеннях.

Отже, за результатами аналізу можна зробити висновок, що найкращим багатофункціональним апаратом для професійного використання є Polaris HP S, тоді як PhysioGo.Lite Laser є найоптимальнішим варіантом для поєднання клінічного та домашнього застосування. Вибір конкретного пристрою має базуватись на потребах користувача, рівні медичної підготовки персоналу та специфіці терапевтичних завдань.

Особливу увагу привертають системи з повністю автоматизованим скануванням, можливістю контролю температури тканин та адаптацією параметрів лікування відповідно до індивідуальних характеристик пацієнта. Такі технології дають змогу точно дозувати енергію, уникати перегріву тканин і досягати стабільних клінічних результатів. Крім того, вбудовані програмні протоколи, сенсорні інтерфейси та засоби зворотного зв'язку дозволяють створювати повністю контрольовані, стандартизовані процедури, що особливо актуально для багатопрофільних клінік та центрів реабілітації.

Разом з тим, аналіз показав, що існує певне розділення між професійними клінічними системами та побутовими портативними пристроями. Перші забезпечують високу потужність, глибоку дію та широкий функціонал, у той час як другі — доступність, простоту та базовий рівень терапевтичного впливу.

На основі огляду можна зробити висновок, що розробка власної автоматизованої системи лазерної терапії, яка включатиме інтелектуальний модуль управління, температурний контроль та динамічну зміну параметрів випромінювання, є актуальною та обґрунтованою. Такий підхід дозволить створити ефективний, безпечний та технологічно сучасний пристрій для лікування широкого спектру захворювань, що відповідатиме вимогам доказової медицини та сучасної медичної інженерії.

1.5 Пошук та аналіз об'єктів інтелектуальної власності

На основі аналізу літературно – патентних джерел було встановлені наступні технічні рішення, які по суті були близькими до розробленого нами апарату.

Патент України 154786. Лазерний автоматизований терапевтичний апарат [24].

Цей патент має досить корисну інформацію для розрахунку для лазерного терапевтичного апарату, що дозволить більш точно розрахувати голівку для апарату ураховуючи, що потрібно використати більше ніж 1 лазерний діод.

Тож за умови, що лазерний автоматизований терапевтичний апарат, що містить джерело лазерного випромінювання, світловод, що оптично з'єднаний з джерелом лазерного випромінювання, і оптичну систему для формування пучка променів, що має обертаючий елемент, а між джерелом лазерного випромінювання і вхідним торцем світловода послідовно вставлені оптично пов'язані перший об'єктив, відстань від якого до вхідного торця світловода менша за його фокусну відстань, світловод, другий об'єктив, що встановлений за вихідним торцем світловода з можливістю узгодження апертури другого об'єктива з апертурою пучка променів, що виходять зі світловода, коліматор, що містить розсіювальну лінзу і об'єктив, в колімованому пучку променів встановлений дифракційний елемент, дифрагмовані пучки променів, що виконують роль вторинних джерел опромінення вражених тканин, та волоконно-оптичний об'єднувач світловодів, що складається з загального світловода та парного числа під'єднаних, кінцева частина загального світловода виконана у вигляді граней, які нахилені до осі загального світловода під кутом:

$$\varphi: \varphi \leq \frac{\pi}{2} - \arcsin \frac{n_2}{n_1} - \arcsin \frac{NA}{n_1}$$

а кожний з під'єднаних світловодів встановлений до відповідної грані загального світловода з зазором, не меншим за половину максимальної довжини хвилі об'єднуваного випромінювання, при цьому кут V між осями під'єданого та загального світловодів дорівнює:

$$V = \frac{\pi}{2} - \nu - \varphi - \arcsin \left(\frac{n_1}{n_0} \cdot \cos 3\varphi \right) + \arcsin \left(\frac{n_3}{n_0} \cdot \nu \right)$$

де n_0 - показник заломлення середовища загального світловода; n_2 - показник заломлення грані загального світловода; n_3 - показник заломлення середовища під'єданого світловода; NA - числова апертура загального світловода; ψ - кут нахилу перпендикуляра до торцевої поверхні під'єданого світловода до його осі, а волоконно-оптичний об'єднувач має кут між гранями кінцевої частини загального світловода та його віссю, що складає 25° - 35° , торцеві ж поверхні розгалужених світловодів виконані перпендикулярно до їх осі, який відрізняється тим, що додатково містить датчики температури, блоки керування та живлення лазерного випромінювання, що з'єднані між собою та підключені до джерел лазерного випромінювання, другий вихід з блока керування під'єднаний до дифракційного елемента.

Патент України 152756 Автоматизований адаптивний лазерний апарат[25]

Система лазерно-світлової терапії, що містить високочастотний генератор електричних сигналів, регулятор вихідної потужності, імпульсний модулятор і перетворювач з п'єзокристалічною пластиною, що має електроди з обох сторін, яка жорстко встановлена на підкладці, під кутом до її площини, простір між ними заповнений компаундом, а зовнішня сторона підкладки є робочою поверхнею перетворювача і має можливість контакту із зонами поверхні тіла людини, високочастотний генератор підключений через керований низькочастотний імпульсний модулятор до регулятора вихідної потужності, виконаного у вигляді атенюатора, з'єданого з електродами, при цьому система містить постійні магніти, закріплені на робочій поверхні перетворювача, а кути між п'єзокристалічною пластиною і підкладкою можуть змінюватися від -45° до $+45^\circ$, поліхроматичний перетворювач, виконаний у вигляді драйвера світлодіодного з матрицею на RGB-діодах, виготовленою з можливістю контакту із зонами поверхні тіла людини, а атенюатор з'єднаний з драйвером через перемикач на три положення свічення - червоним, зеленим

та синім світлом, причому за допомогою високочастотного генератора та імпульсного модулятора регулюються частоти та сила світла, а поліхроматичний перетворювач розміщений в ергономічній ручці-корпусі, та блоки живлення, управління, клавіатури, індикації та лазерний випромінювач, що розміщений в виносній рукоятці, і блок контролю оптичної потужності з фотоприймачем, причому блок живлення з'єднаний з мережею живлення та блоком управління, а до блока управління під'єднані блоки клавіатури, індикації, контролю оптичної потужності, що з'єднаний з фотоприймачем, та лазерним випромінювачем і поліхроматичним перетворювачем, яка відрізняється тим, що містить температурні датчики, розміщені на виході лазерного випромінювача та з'єднані з блоком управління, а лазерний випромінювач розміщений на виносній стійці

Патент України 152708 Система лазерної-світлової терапії[26]

Автоматизований адаптивний лазерний апарат, що містить зв'язані між собою мікропроцесор керування, з'єднаний з перетворювачем, і оптичний блок, що має два випромінювачі, що генерують лазерне випромінювання відповідно у видимому і інфрачервоному діапазонах оптичного спектра, до дистального торця загального оптоволоконна під'єднаний змінний інструмент з температурним сенсором, при цьому мікропроцесор оснащений блоками індикації і ручного регулювання, а перетворювач підключений до оптоволоконна і виконаний у вигляді конічного розсіювача з дифузним відображенням стінок, який комутується з мікропроцесором за допомогою вбудованого в основу фотодіода, а температурний сенсор містить температурні датчики, закріплені в кінцевій частині оптоволоконна в поперечній площині з можливістю кутового переміщення і вбудовані в роз'єм змінного інструмента та з'єднані з мікропроцесором, та має датчики визначення типу шкіри, розміщені на оптоволоконні і з'єднані з мікропроцесором, який відрізняється тим, що має блок автоматизованого керування, площинний сканер, зв'язані між собою, аналізатор параметрів

опромінювання з'єднаний з мікропроцесором і блоком автоматизованого керування, підключеним до мікропроцесора, а температурні датчики виконані у вигляді решітки Брегга

В результаті аналізу літературно-патентних джерел були виявлені технічні рішення, які мають суттєву спорідненість з розробленим нами лазерним терапевтичним апаратом. Зокрема, описані корисні моделі і патенти містять важливі конструктивні та функціональні елементи, що можуть бути використані для вдосконалення оптичної системи, підвищення точності розрахунків голівки апарата та забезпечення ефективної роботи при застосуванні кількох лазерних діодів. Значна увага в цих рішеннях приділена застосуванню волоконно-оптичних об'єднувачів із визначеними кутами нахилу граней, впровадженню датчиків температури, автоматизованим системам керування та адаптивним елементам, що дозволяють підвищити функціональність і безпеку апарата.

Описані патентні рішення підтверджують актуальність використання комплексного підходу, який поєднує оптику, електроніку і мікропроцесорне керування для досягнення оптимальної терапевтичної дії. Водночас, розроблений нами апарат відрізняється унікальним поєднанням цих елементів та впровадженням додаткових датчиків і блоків управління, що забезпечують більш високий рівень адаптивності та контролю параметрів лазерного випромінювання. Це створює передумови для підвищення ефективності і безпеки лазерної терапії.

Таким чином, проведений аналіз підтверджує інноваційний характер розробленого апарату та його конкурентоспроможність на фоні існуючих технічних рішень.

Таким чином нами була запропонована, на базі структур апаратів підприємства ФОТОНІКА+ плюс, нова структурно-функціональна схема КІАСЛІМ.

1.6 Розробка функціональної схеми комп'ютерно-інтегрованого адаптивної системи лазерної медицини

Наразі актуальною є розробка сучасних систем з можливістю контролювати стабільність температури та підтримувати однакову потужність під час опромінення біологічної тканини. Такі системи дають змогу контролювати температуру тканин під час лазерної терапії, що в свою чергу запобігатиме можливим пошкодженням і перегріванню тканин та допоможе забезпечити ефективність і безпеку процедури. Розробка структурно-функціональної схеми автоматизованої системи лазерної терапії є важливим кроком в удосконаленні лазерної терапії та сприяє оптимальному використанню цієї технології в медичній практиці.

Для розробки було за основу обрано апарат «Ліка терапевт М» він включає в себе блок управління з декількох кнопок, інформативний блок з дисплею, блок впливу, та блок живлення. Тож ця схема має не достатки які впливають на роботу з пацієнтами, а саме ця схема не перевіряти данні під час праці тож її потрібно модифікувати.

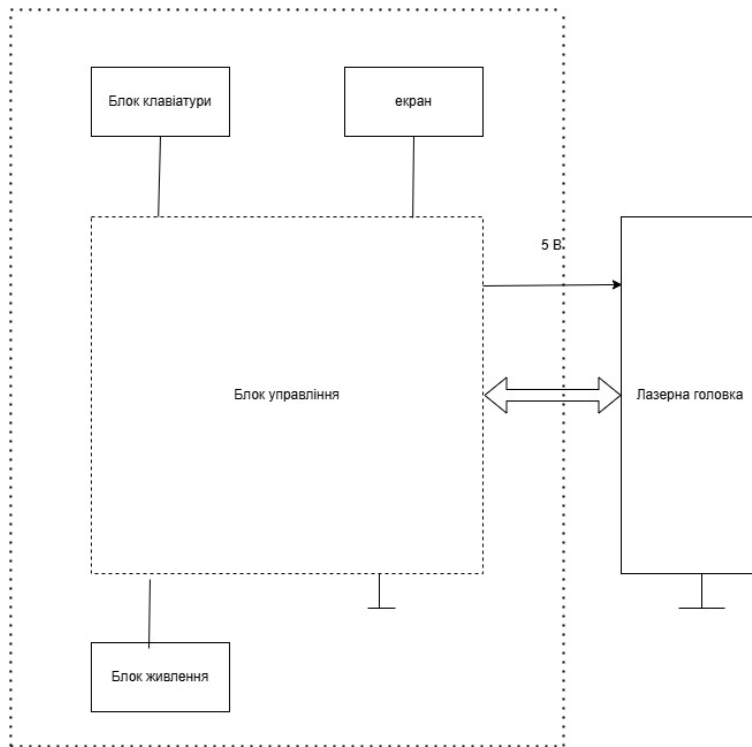


Рис.1.14 Структурна схема ЛІКА терапевт М

Подальший розвиток лазерних технологій привів до створення іншої структури – системи лазерної медицини, де уже і було використано контроль температури.

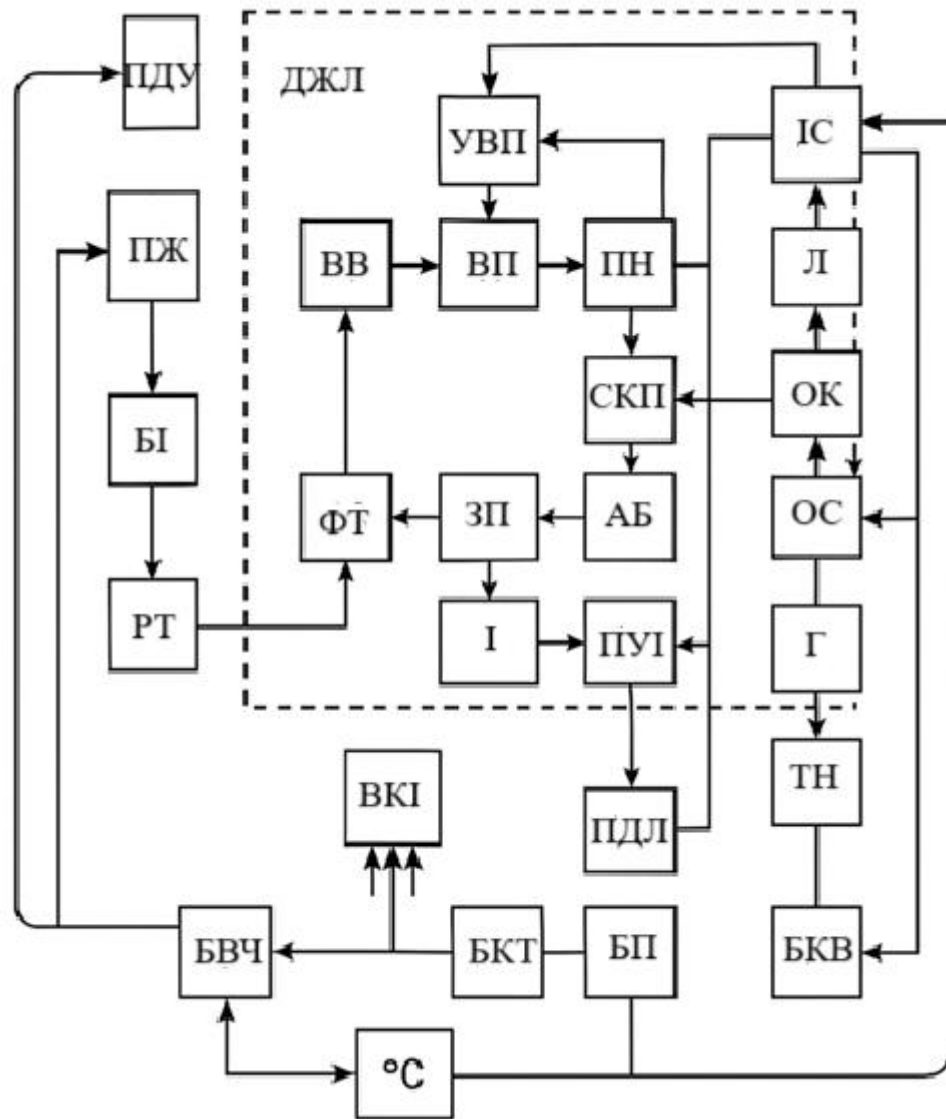


Рис. 1.15 Система лазерної медицини

ПДУ — Пульт дистанційного управління, **ПЖ** — Потужностний живильник (блок живлення), **БІ** — Блок індикації, **РТ** — Розв'язуючий трансформатор, **ДЖЛ** — Джерело живлення лазера, **УВП** — Управління ВЧ перетворювачем, **ВВ** — Високочастотний перетворювач, **ВП** — Випрямляч, **ПН** — Помножувач напруги, **ФГ** — Ферорезонансний трансформатор, **ЗП** — Зарядний пристрій, **АБ** — Акумуляторна батарея, **І** — Інвертор, **ПУІ** — Пристрій управління інвертором, **ВКІ** — Вихідні канали інвертора, **ПДЛ** — Потужні діодні лазери, **СКП** — Стабілізуючі канали підключення, **ІС** — Інтерфейс зв'язку, **Л** — Лазер, **ОК** — Оптиковолоконний світловод, **ОС** —

Оптична система, Г — Голка, ТН — Терапевтична насадка, БВЧ — Блок відліку часу, °С — Датчик температури, БКТ — Блок керування температурним режимом, БП — Блок порівняння, БКВ — Блок контролю випромінювання.

Основна проблема в тому що головна задача датчика температури це захист апарату, а не пацієнту.

Наразі актуальною є розробка сучасних систем КІАСЛМ з можливістю контролювати стабільність температури та підтримувати однакову потужність під час опромінення біологічної тканини. Для розробки структурно-функціональної схеми автоматизованої системи лазерної терапії за основу було вибрано апарат” Лика терапевт М ”

Як розвиток цього напрямку було розроблено нове технічне рішення - систему КІАСЛМ (заявка на патенту України № u 2025 01037)

Зазначена система призначена для автоматизованого керування процесом лазерного опромінення з урахуванням температурного контролю та стабілізації потужності випромінювання. У заявленій системі реалізовано зворотній зв'язок між блоком лазерного випромінювання та температурними датчиками, що дозволяє адаптивно регулювати параметри випромінювання залежно від стану біологічної тканини. Завдяки цьому забезпечується підвищення ефективності та безпеки процедур лазерної терапії.

Конструктивно система включає модулі контролю температури, стабілізації потужності, програмного управління режимами опромінення, а також інтерфейс користувача для візуалізації та налаштування параметрів. Розроблене рішення дозволяє реалізувати персоналізований підхід до лікування, з урахуванням індивідуальних особливостей пацієнта.

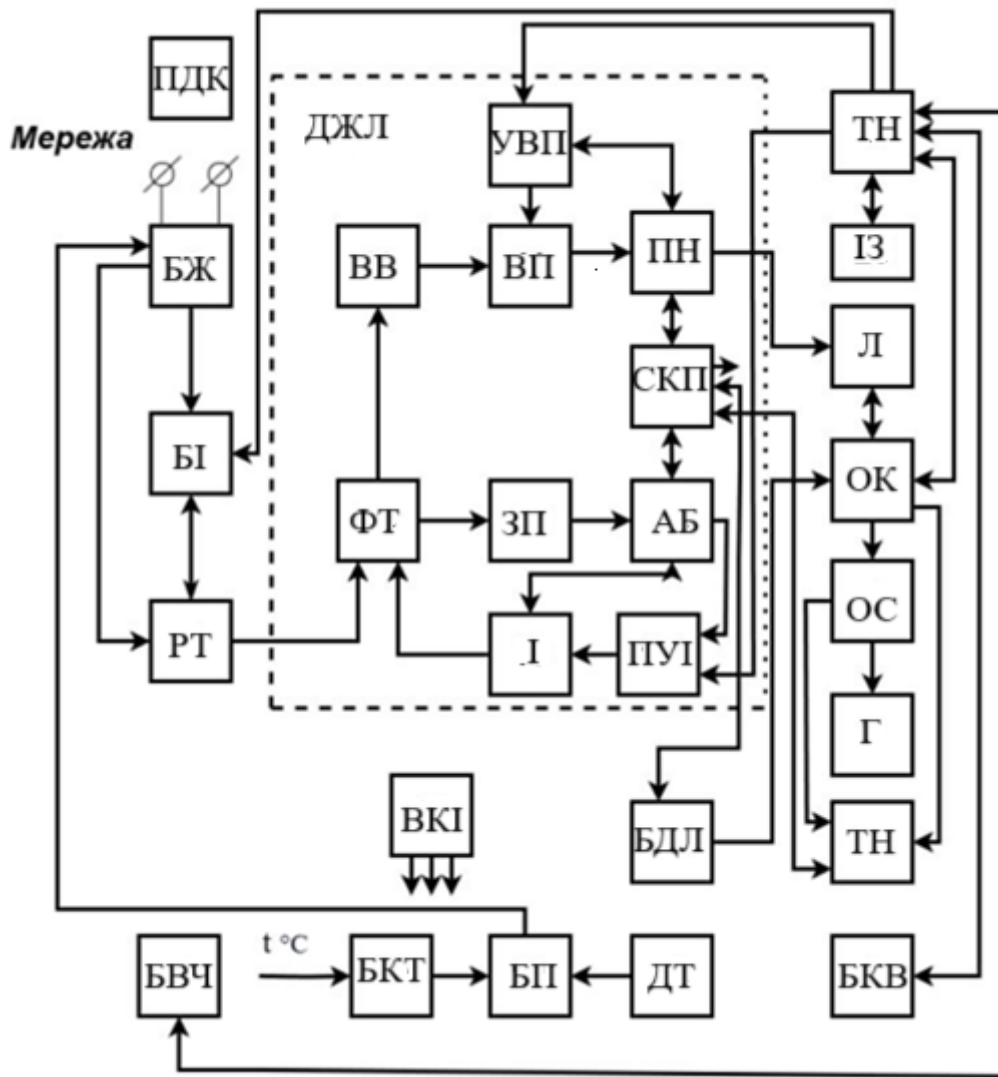


Рис.1.16 Комп'ютерно-інтегрована адаптивна система лазерної медицини

БЖ – Блок живлення, **РТ** – Розв'язуючий трансформатор, **БІ** – Блок індикації, **ДЖЛ** – Джерело живлення лазера, **Л** – Лазер, **ОС** – Оптичний світловод, **Г** – Голка, **БКВ** – Блок контролю випромінювання, **БВЧ** – Блок відліку часу, **ВВ** – Вхідний випрямляч, **ВП** – Високочастотний перетворювач, **УВП** – Управління ВЧ перетворювачем, **ПН** – Помножувач напруги, **ФТ** – Ферорезонансний трансформатор, **ЗП** – Зарядний пристрій, **АБ** – Акумуляторна батарея, **УІ** – Управління інвертором, **І** – Інвертор, **ДТ** – Датчик температури, **БКТ** – Блок керування температурою, **БП** – Блок порівняння, **ОК** – Оптичний комутатор, **ТН** – Терапевтична насадка, **МБК** – Мікропроцесорний блок керування, **ПДК** – Пульт дистанційного керування,

ІЗ – Інтерфейс зв'язку, **СКП** – Стабілізуючі канали підключення, **ВКІ** – Вихідні канали інвертора, **ДЛА** – Блок діодних лазерів.

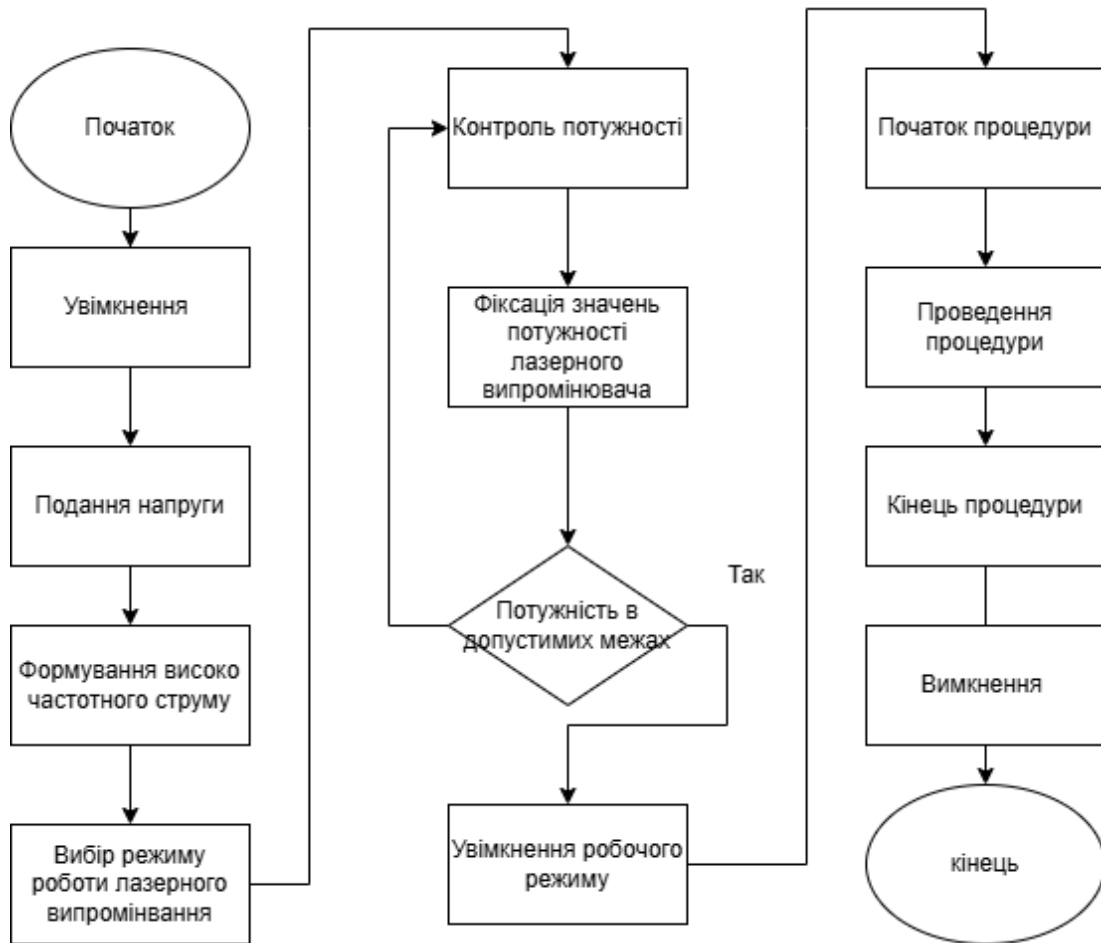


Рис.1. 17 Алгоритм роботи ЛИКА терапевт М

Ця проста схема проста в виконанні вона починає роботу з подання напруги, після підбору налаштування апарату і фіксація починається робота, але ця схема доста точно проблематична, а саме відсутність захисту від перегріву тканини, що може нашкодити пацієнту.

На основі цієї блок схеми та висновків була розроблена покращена система з більш зручним керуванням та можливістю використання без дроту, та більш зручний формат використання об'єднавши блок інформації та блок керування.

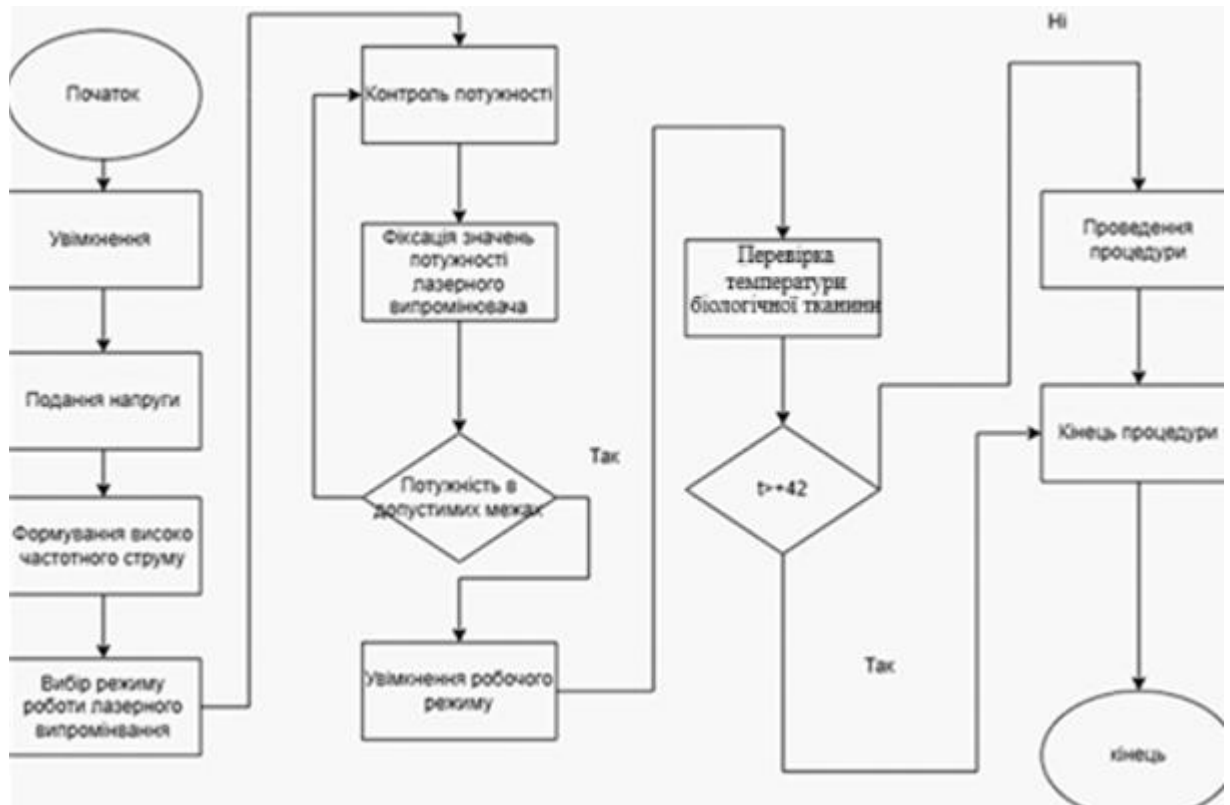


Рис.1.18 Алгоритм автоматизованого керування КІАСЛІМ

У сучасних медичних і високоточних електронних пристроях, зокрема в автоматизованих системах лазерної терапії, ключову роль відіграє мікроконтролер як центральний елемент обробки, керування та взаємодії з периферією. Враховуючи вимоги до потужності, багатозадачності, швидкодії, низького енергоспоживання, а також підтримки великої кількості периферійних пристроїв, для даного проєкту було обрано мікроконтролер STM32H743ІТ6 виробництва STMicroelectronics. Це рішення було прийнято на основі детального аналізу функціональних можливостей та практичних переваг у порівнянні з іншими мікроконтролерами схожого класу.

STM32H743ІТ6 є представником флагманської серії STM32H7, яка побудована на базі ядра ARM Cortex-M7 з робочою тактовою частотою до 480 МГц. Це дозволяє досягти обчислювальної продуктивності на рівні понад 1000 Dhrystone MIPS, що є одним з найвищих показників серед контролерів архітектури Cortex-M. Завдяки апаратній підтримці інструкцій DSP, а також наявності блоку з плаваючою комою (FPU), цей мікроконтролер здатен

ефективно виконувати операції цифрової обробки сигналів у реальному часі, що є надзвичайно важливим для систем, які обробляють біологічні сигнали, вимірюють температурні або оптичні параметри та забезпечують високоточне керування.

Мікроконтролер має 2 мегабайти флеш-пам'яті з можливістю організації подвійного банку, що дозволяє реалізовувати оновлення програмного забезпечення без переривання основного процесу роботи пристрою — критично важлива функція в медичних системах, де безперервність функціонування є вимогою безпеки. Оперативна пам'ять становить 1 мегабайт і складається з кількох сегментів з незалежним доступом, серед яких особливо варто відзначити DTSM-область, оптимізовану для найшвидшого доступу до оперативних змінних, а також AXI-RAM, яка забезпечує високошвидкісний паралельний доступ у складних багатозадачних конфігураціях.

Окрему увагу заслуговує периферія STM32H743ПТ6, яка реалізована надзвичайно широко й гнучко. Контролер підтримує майже всі сучасні промислові інтерфейси: UART, SPI, I2C, CAN, USB, Ethernet, SDIO, а також спеціалізовані інтерфейси для дисплеїв і аудіо, такі як LTDC, SAI, SPDIFRX та DCMI. У поєднанні з можливістю апаратного прискорення графіки (блок DMA2D), це відкриває широкі можливості для реалізації повноцінного сенсорного графічного інтерфейсу, що є актуальним у медичних приладах, де відображення візуальної інформації повинно бути чітким, швидким і стабільним.

Засоби керування в мікроконтролері реалізовані через потужну систему таймерів, включаючи як стандартні 16- і 32-бітні, так і спеціалізовані PWM-генератори з підтримкою фазових затримок та мертвого часу, що робить їх ідеальними для керування потужними світлодіодами, лазерами або двигунами. Завдяки цьому можлива реалізація високоточної імпульсної модуляції в реальному часі, з урахуванням швидких сенсорних відгуків [27].

З технічної точки зору, контролер також передбачає механізми забезпечення безпеки і цілісності даних, включаючи апаратну підтримку криптографічних алгоритмів AES, SHA, генератор випадкових чисел TRNG, модулі CRC-контролю та підтримку захищеного завантаження коду. Нові ревізії ядра також включають підтримку технології ARM TrustZone®, що дозволяє розмежовувати критичні та некритичні частини програмного забезпечення, створюючи захищене середовище виконання, що особливо важливо для медичних і сертифікованих пристроїв.

Мікроконтролер підтримується потужною екосистемою інструментів розробки від STMicroelectronics, зокрема середовищами STM32CubeIDE, STM32CubeMX, а також бібліотеками HAL і LL. Це значно полегшує інтеграцію вбудованого ПЗ, знижує час на розробку й дає змогу гнучко масштабувати систему залежно від функціональних вимог.

Зважаючи на усе вищезазначене, STM32H743ПТ6 повністю відповідає критеріям надійності, продуктивності, масштабованості та багатофункціональності, які були визначені як основні для системи автоматизованої лазерної терапії. Саме тому його було обрано як базовий обчислювальний елемент у даному дипломному проєкті.

1.7. Розрахунок електричних схем та мікроконтролера

Головним чином для систему дуже важлива швидкість обміну інформацією тож було проведено пошук та обрано мікроконтролер STM32H7 з підвищеною швидкодією. У якості спосіб керування обрано ЛСД дисплей з сенсорним управлінням. У якості резервного живлення обрано 2 літій-іонних акумулятора. Також буде використано 2 датчик перший датчик температури, другий датчик потужності. У якості способу зарядки та використання мережі було обрано зарядний модуль з захистом котрий має можливість використання функції швидкого заряду, також для контролю бажано використати контролюючий елемент у вигляді мосфет транзистору Для використання

модулів бажано розрахувати кількість та характеристики акумуляторів для використання також середній споживання. Основний робочий компонент діодний лазер 100мВт 4 шт. для використання у фізіотерапії.



Рис. 1.19 Структура систем керування КІАСЛМ

Використовуючи данні з технічних паспортів можна розрахувати середні споживання системою данні, що до характеристик використаних деталей будуть наведені у таблиці 1.

Компоненти	Споживаний струм
4 Лазери	0,108 А
STM32H7	0,05 А
TFT дисплей	0,04 А
Датчики	0,003
Разом	0,201

Таб.1

Використовуючи ці данні ми можемо розрахувати приблизний час праці системи за умови що ми використаємо найдешевші акумулятори в кількості 2 шт. ємністю 2000мА*год

$$t = \frac{4A \cdot \text{год}}{0,201A} = 19,9 \text{ год}$$

Ураховуючи певні фактори приблизне число буде зменшено приблизно до 17 годин.

Тепер розрахуймо приблизний час зарядки літій-іонні акумуляторів при умові що зарядний пристрій має силу струму приблизно 2 А

$$t = \frac{4}{2} = 2 \text{ год}$$

Важливо розрахувати втрати енергії від компонентів яка піде на нагрівання, що потрібно враховувати, бо при перегрів компонентів спричинить вихід зі строю компонентів . Тож виберемо головні елементи для розрахунку впершу чергу порахуємо втрати польового транзистору MOSFET, оскільки це найбільш напружений елемент у схемах, оскільки він контролює потужність діодів, другий елемент для розрахунку модулю зарядки та перетворювач.

Почнемо з польового транзистору MOSFET для початку розрахуймо втрати потужності на каналі

$$P_{\text{втрат}} = I^2 \cdot R$$

$$P_{\text{втрат}} = 0,201^2 \cdot 0,045 = 9,1 \text{ мВт}$$

-де I потужність яку потрібно контролювати.

-де R опір біполярний MOSFET.

Оцінка нагріву елементу при нормальній кімнатній температурі

$$T_{MOSFET} = P_{\text{втрат}} \cdot R_{\text{системи}} + T_{\text{Навк}} = 0,201 \cdot 200 + 22 = 23,82^{\circ}$$

-де R $200^{\circ}\text{C}/\text{Вт}$

-де $T_{\text{Навк}}$ це температура у навколешньому середовищі

Тепер розрахуймо теплові втрати при зарядці для оцінки потреби у радіаторів, для початку розрахуймо потужність:

$$P_{\text{Втрат}} = (V_{\text{вхід}} - V_{\text{вихід}}) \cdot I =$$

Тепер ми можемо розрахувати теплові втрати:

$$T = P \cdot R + T = 1,6 \cdot 40 + 22 = 86^{\circ}\text{C}$$

Отже після розрахунки можемо зробити певні висновки, а саме у даній системі відносно не великі температури які дозволяють не використовувати радіатор, але корпус має мати місця для обміну воздухом для зниження температури. Тож деталі підібрани гарно для взаємодії.

1.8 Напрямки автоматизації КІАСЛМ

Для праці з такою системою був обраний мікроконтролер тож потрібно розробити код для праці системи у стабільному стані, та обробки даних та отримання стабільного результату. Код був написаний на мові програмування С оскільки це один з кількох варіантів який підтримує достатню бистродією та максимальне використання пам'яті, а низькорівневість покращиває взаємодію с комп'ютерними пристроями.

Почнемо впершу чергу з зручного меню яке буде допомагати, тож першим елементом буде головне меню, яке має допомагати користувачу з працею с апаратом

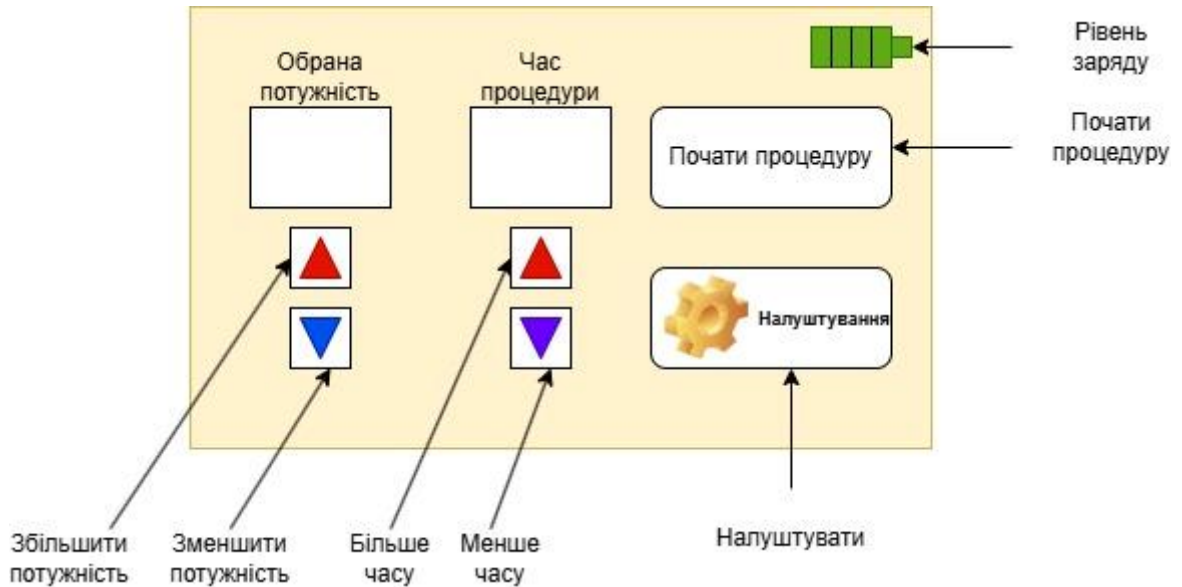


Рис.1.20 Меню контролю

Далі було розроблено меню під час процедури, головними функціями екрану під час процедури є час який залишився до кінця, саме головне можливість плавного вимикання лазеру під час процедури, але головною функцією є аварійне зупинення для випадків коли виникають непередбачені проблеми.



Рис.1.21 Меню під час роботи

Також важливо урахувати, що певні характеристики зміняться як в самих діодах так і в компонентах тож важливо надати можливість налаштувати характеристики, тож було розроблено меню налаштування.



Рис.1.22 Меню налаштування

Вирішивши який буде дизайн меню розробимо повноцінно код для системи котрий допоможе нам отримати потрібні результати

Код управління:

```
#include "main.h"

#include "stm32h7xx_hal.h"

#include "ds18b20.h"

#include "touch_screen.h"

#include "laser_control.h"

#include <stdbool.h>

// Глобальні змінні

uint8_t target_temp = 38;

uint16_t session_time = 300; // в секундах

bool is_running = false;

bool emergency_stop = false;

// Час

uint32_t session_start = 0;

// Ініціалізація
```

```
void System_Init() {  
  
    HAL_Init();  
  
    SystemClock_Config();  
  
    MX_GPIO_Init();  
  
    MX_USART3_UART_Init();  
  
    MX_I2C1_Init();  
  
    DS18B20_Init();  
  
    Touch_Init();  
  
    Laser_Init();  
  
}  
  
// Оновлення інтерфейсу при процедурі  
  
void Update_Procedure_UI(uint16_t remaining_time) {  
  
    Touch_Clear();  
  
    Touch_DrawText(10, 10, "ТРИВАЄ ПРОЦЕДУРА");  
  
    Touch_DrawText(10, 40, "Час, що залишився: ");  
  
    Touch_DrawNumber(200, 40, remaining_time);  
  
    Touch_DrawButton(10, 100, 100, 50, "Стоп 5с");  
  
    Touch_DrawButton(120, 100, 100, 50, "Аварія");  
  
}
```

// Зчитування кнопок меню процедури

```
void Check_Procedure_Buttons() {  
  
    if (Touch_ButtonPressed(10, 100, 100, 50)) {  
  
        for (int i = 0; i < 5; i++) {  
  
            HAL_Delay(1000);  
  
            Laser_SetState(false);  
  
        }  
  
        is_running = false;  
  
    }  
  
    if (Touch_ButtonPressed(120, 100, 100, 50)) {  
  
        Laser_SetState(false);  
  
        is_running = false;  
  
        emergency_stop = true;  
  
    }  
  
}
```

// Головне меню

```
void Show_MainMenu() {  
  
    Touch_Clear();
```

```

Touch_DrawText(10, 10, "Налаштування");

Touch_DrawText(10, 50, "Температура: ");

Touch_DrawNumber(200, 50, target_temp);

Touch_DrawButton(240, 50, 40, 40, "+");

Touch_DrawButton(290, 50, 40, 40, "-");

Touch_DrawText(10, 100, "Час: ");

Touch_DrawNumber(200, 100, session_time);

Touch_DrawButton(240, 100, 40, 40, "+");

Touch_DrawButton(290, 100, 40, 40, "-");

Touch_DrawButton(10, 160, 100, 50, "ПУСК");

}

// Обробка налаштувань

void Handle_Settings() {

    if (Touch_ButtonPressed(240, 50, 40, 40)) target_temp++;

    if (Touch_ButtonPressed(290, 50, 40, 40)) target_temp--;

    if (Touch_ButtonPressed(240, 100, 40, 40)) session_time += 10;

    if (Touch_ButtonPressed(290, 100, 40, 40)) session_time -= 10;

    if (Touch_ButtonPressed(10, 160, 100, 50)) {

        is_running = true;
    }
}

```

```
    emergency_stop = false;

    session_start = HAL_GetTick();

}

}

// ОСНОВНИЙ ЦИКЛ

int main(void) {

    System_Init();

    Show_MainMenu();

    while (1) {

        if (!is_running) {

            Handle_Settings();

            HAL_Delay(200);

        } else {

            uint32_t elapsed = (HAL_GetTick() - session_start) / 1000;

            uint16_t remaining = (session_time > elapsed) ? session_time - elapsed :

0;

            float current_temp = DS18B20_ReadTemp();
```

```
if (current_temp >= 40.0) {  
    Laser_SetState(false);  
} else {  
    Laser_SetState(true);  
}  
  
Update_Procedure_UI(remaining);  
Check_Procedure_Buttons();  
  
if (remaining == 0 || emergency_stop) {  
    Laser_SetState(false);  
    is_running = false;  
    Show_MainMenu();  
}  
  
HAL_Delay(500);  
}  
  
}  
  
}
```

Отже ми розробили чудову структуру КІАСЛМ, після чого реалізували її використовуючи мікроконтролер та компоненти, отримавши повноцінний пристрій котрий має достатньо широкий функціонал, та найголовніше адаптивність налаштувань до об'єкта впливу.

Висновок до конструкторської частини

У конструкторській частині було розроблена компактна та ергономічна конструкція адаптивного пристрою лазерної терапії. Було підібрано оптимальні компоненти: мікроконтролер STM32H743, сенсорний дисплей, MOSFET-керування лазерами, температурний контроль на базі DS18B20, а також блок живлення з літій-іонними акумуляторами, балансиrom і зарядкою через USB Type-C.

Усі елементи розміщено в ергономічному корпусі, що забезпечує зручність користування та портативність. Продумано вентиляцію та тепловідведення, враховано теплові втрати та режим експлуатації.

У результаті було створено конструктивно завершений пристрій, що поєднує функціональність, безпечність і естетичність, повністю відповідаючи технічним вимогам до сучасного медичного обладнання.

ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Проведення розрахунку на технологічність електронного блоку КІАСЛМ

Використовуючи програмне забезпечення SolidWorks було розроблено складальне креслення електронного блоку КІАСЛМ (рис 2.1).

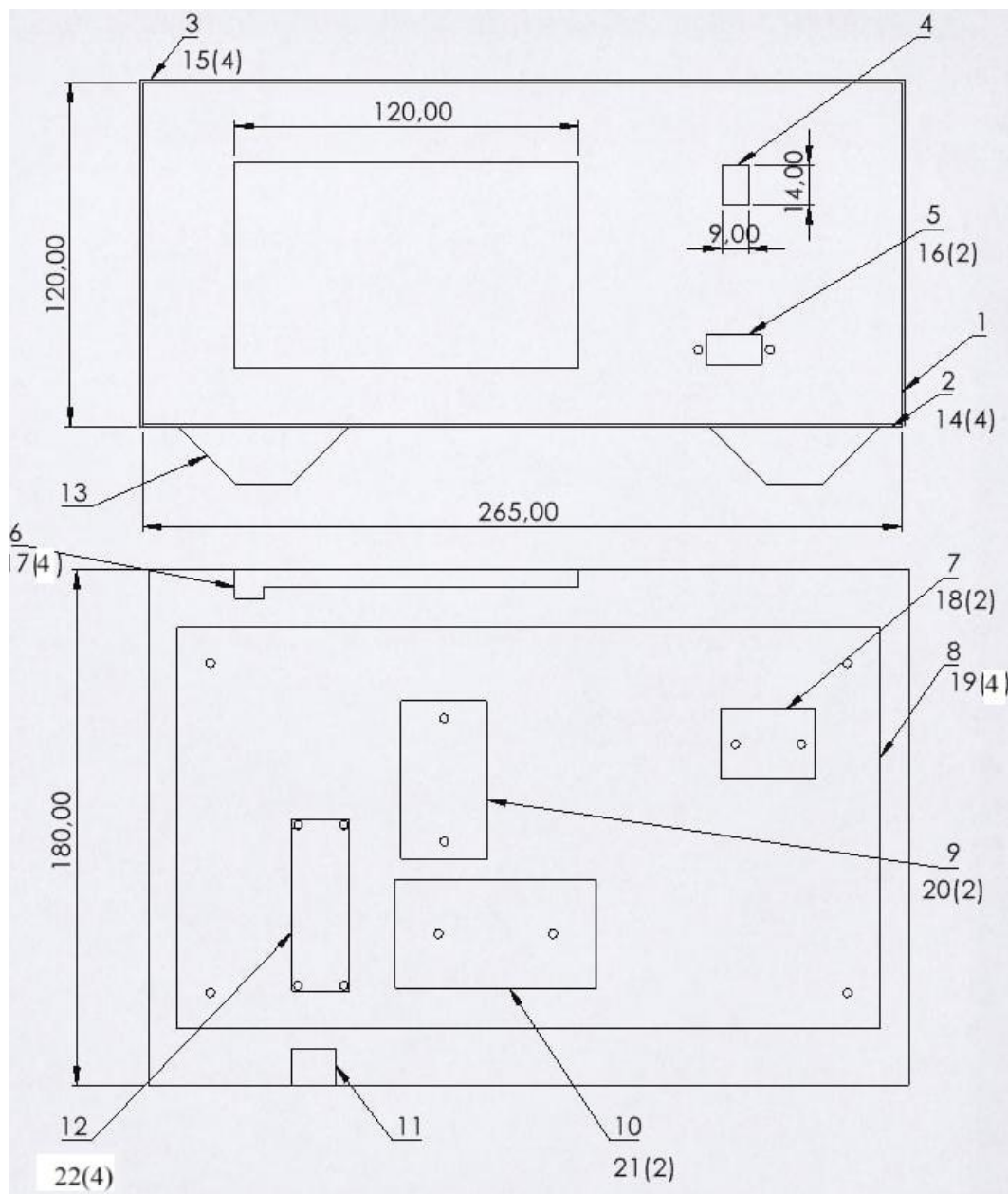


Рис2.1 Складальне креслення електронного блоку

На рисунку зображено корпус який складається з таких деталей:

- 1.Корпус
- 2.Ніжка
- 3.Верхня кришка

4. Кнопка вимкнення
5. DE 9
- 6.Екран
- 7.Плата MOSFET
- 8.Блок дна
9. Мікроконтролер
- 10.Блок акумуляторів
- 11.Вхід type C
12. Блок заряду та балансир
- 13-22.Гивнт М3х4

Для вдалого визначення виробу на технологічність використаємо загальні показники. Серед загальних показників можна підкреслити наступні показники:

- 1) уніфікації вузлів;
- 2) уніфікації виробу;
- 3) конструкторської складності;
- 4) уніфікації деталей.

1) Розрахунок уніфікації вузлів виконується з використанням наступної формули:

$$K_{уН.Н} = \frac{N_{уН}}{N_{\Sigma}}, \quad (2.1)$$

де $N_{уН}$ – кількість складальних одиниць, що уніфіковані;

N_{Σ} – сума складальних одиниць, що уніфіковані.

$$K_{уН.Н} = \frac{1}{13} = 0,077$$

Отримавши значення, можна порівняти технологічність за наступними показниками:

- за умови $K_{уН.N} < 0,2$ – технологічність низька;
- за умови $K_{уН.N} = 0,2-0,4$ – технологічність задовільна;
- за умови $K_{уН.N} > 0,4$ – технологічність висока.

Знаючи, що $K_{уН.N} = 0,048$, то технологічність в даному випадку низька.

2) Розрахунок уніфікації виробу виконується з використанням наступної формули:

$$K_{уН} = \frac{N_{уН.} + n_{уН.}}{N_{\Sigma} + n_{\Sigma}}, \quad (2.2)$$

де $N_{уН}$ – кількість складальних одиниць, що уніфіковані, N_{Σ} – сума складальних одиниць, що уніфіковані, $n_{уН.}$ – кількість всіх деталей, що уніфіковані, n_{Σ} – сума всіх деталей, що уніфіковані.

$$K_{уН} = \frac{N_{уН.} + n_{уН.}}{N_{\Sigma} + n_{\Sigma}} = \frac{1}{13} = 0,077.$$

Отримавши значення, можна порівняти технологічність за наступними показниками:

- за умови $K_{уН.} < 0,25$ – технологічність незадовільна;
- за умови $K_{уН.} = 0,25-0,5$ – технологічність задовільна;
- за умови $K_{уН.} > 0,5$ – технологічність висока.

Знаючи, що $K_{уН} = 0,077$, то технологічність в даному випадку незадовільна.

3) Розрахунок конструкторської складності виконується з використанням наступної формули:

$$K_{СЛ.} = \frac{N_{\Sigma}}{n_{\Sigma}}, \quad (2.3)$$

де N_{Σ} – сума складальних одиниць, що уніфіковані, n_{Σ} – сума всіх деталей, що уніфіковані.

$$K_{\text{сл.}} = \frac{36}{10} = 3,6$$

Отримавши значення, можна порівняти технологічність за наступними показниками:

- за умови $K_{\text{сл.}} < 0,1$ – технологічність низька;
- за умови $K_{\text{сл.}} = 0,1-0,2$ – технологічність задовільна;
- за умови $K_{\text{сл.}} > 0,2$ – технологічність висока.

Знаючи, що $K_{\text{сл.}} = 3,6$, то технологічність в даному випадку за висока.

4) Для розрахунку критерію уніфікації деталей використовують формулу:

$$K_{\text{ун.п.}} = \frac{n_{\text{ун.}}}{n_{\Sigma}}, \quad (2.4)$$

де $n_{\text{ун.}}$ – кількість всіх деталей, що уніфіковані;

n_{Σ} – сума всіх деталей, що уніфіковані.

$$K_{\text{ун.п.}} = \frac{3}{10} = 0,3,$$

Отримавши значення, можна порівняти технологічність за наступними показниками [29]:

- за умови $K_{\text{ун.п.}} < 0,3$ – технологічність погана;
- за умови $K_{\text{ун.п.}} = 0,3-0,6$ – технологічність задовільна;
- за умови $K_{\text{ун.п.}} > 0,6$ – технологічність хороша.

Знаючи, що $K_{\text{ун.п.}} = 0,3$, то технологічність в даному випадку задовільна.

2.2. Розробка ССС та ТСС

Проектування технологічної схеми складання(ТСС) починається з вибору базового елемента, який слугуватиме в ролі базової лінії складання. В даному випадку було вибрано дно.

Також потрібно врахувати що перед складанням корпусу потрібно розмістити внутрішні у вигляді деталей, для початку ми почнемо з дна, на яке ми в монтуємо електричні компоненти, а саме мікроконтролер зарядний пристрій об'єднаний з балансиром, та акумуляторний блок, після чого ми монтуємо екран на передню панель використовуючи клей, після вмонтуємо роз'єм DE9 та кнопку ввімкнення з ввімкненням постачанням напруги. В кінці ми прикручуємо верхню кришку.

нижче розташовуємо основні складальні вузли та деталі, наприклад корпус. Нижче розташовуємо з яких складаються дані вузли.

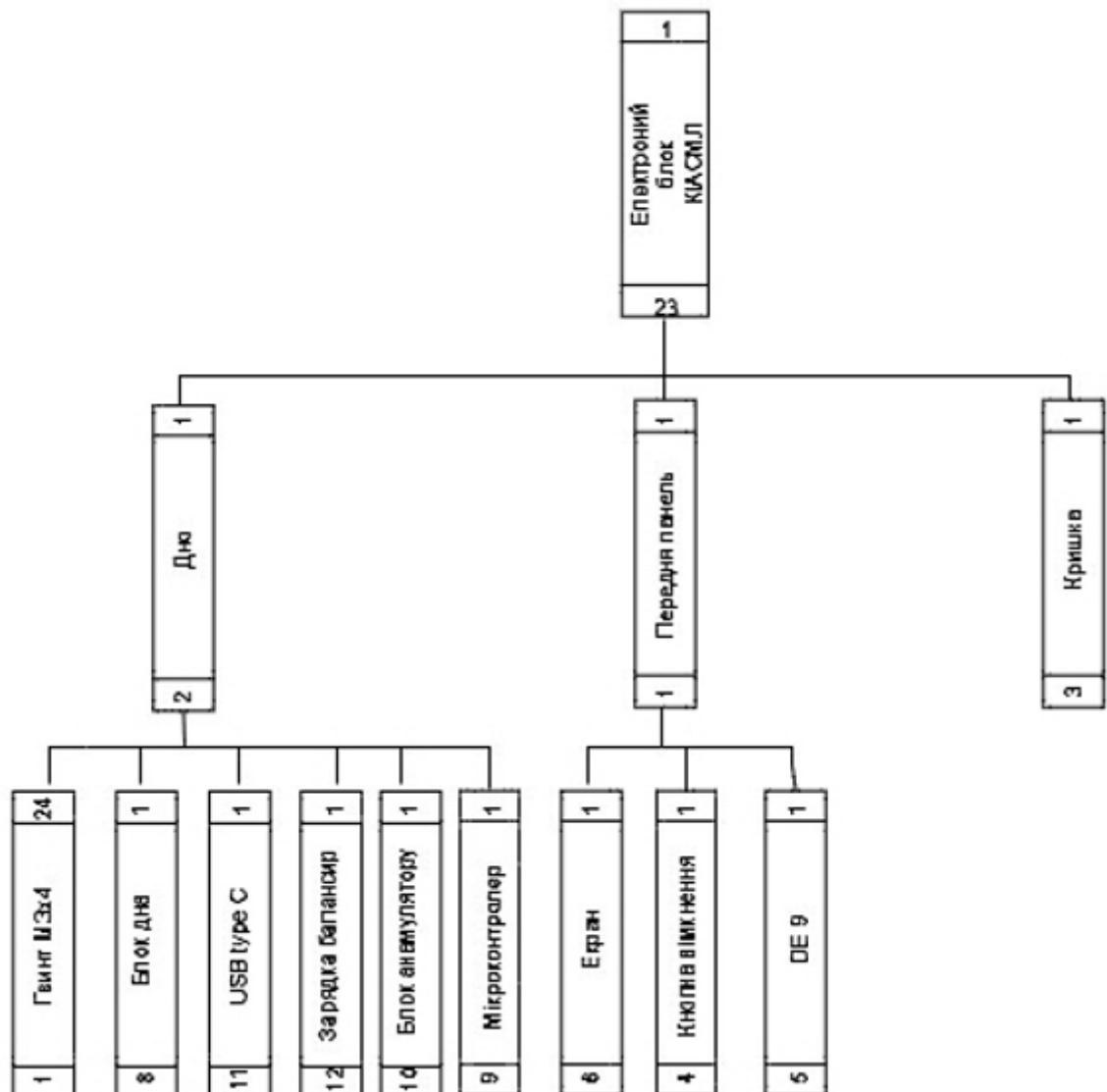


Рис. 2.4 Розроблена Структурна складальна схема електронного блоку

2.3. Розрахунок параметрів розмірного ланцюга

Розрахунок параметрів розмірного ланцюга є значущою частиною під час проектування приладів і систем [30]. При проектуванні необхідно прояснити взаємозв'язок між розмірами і допусками. Розміри визначають якість функціонування, забезпечуючи організацію поверхонь компонентів у складальній одиниці.

Розрахунок допуску замикаючої ланки:

$$\delta_{\text{зам}} = \delta_1 + \delta_2 + \delta_3 = 0,05 + 0,1 + 0,05 = 0,2\text{мм}$$

Розрахунок граничних розмірів

Мінімальне значення:

$$L_{min} = 120 - 0,1 = 119,9\text{мм}$$

Максимальне значення:

$$L_{max} = 120 + 0,1 = 120,1\text{мм}$$

Допуск замикаючої ланки:

$$\delta_{зам} = L_{max} - L_{min} = 120,1 - 119,9 = 0,2\text{мм}$$

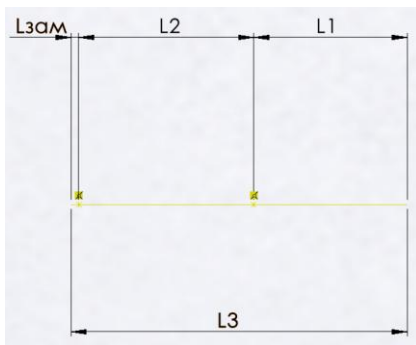


Рис.2.5 Замикаюча ланка

Висновок до технологічної частини

У технологічному розділі було розроблено послідовність виготовлення та складання корпусу пристрою з урахуванням сучасних методів виробництва. Основні конструктивні елементи корпусу — верхня, нижня частини та передня панель — виготовляються методом 3D-друку з використанням FDM-технології, що забезпечує гнучкість виготовлення, скорочення витрат часу та матеріалів, а також можливість швидкої модифікації конструкції.

ВИСНОВКИ

У ході виконання дипломного проєкту була спроектована та реалізована комп'ютерно-інтегрована адаптивна система лазерної медицини з можливістю як температурного моніторингу так і керування параметрами лікувальної процедури. Основною метою проєкту було створення компактного, надійного та безпечного пристрою, який забезпечує ефективну дію лазерного випромінювання на біотканини з урахуванням індивідуальних параметрів користувача.

Було виконано повний цикл розробки: проведено патентно-інформаційний пошук аналогів, визначено технічні вимоги, виконано електричні та теплові розрахунки, створено структурну і принципову схеми пристрою. Для реалізації обрано високопродуктивний мікроконтролер STM32H743, сенсорний інтерфейс користувача, MOSFET-керування лазерами, температурний датчик DS18B20 та блок живлення з балансиrom і зарядкою через USB Type-C. Розроблено програмне забезпечення, що забезпечує стабільну та безпечну роботу системи з врахуванням аварійного захисту та плавного завершення процедури.

Конструкція КІАСЛІМ спроектована з урахуванням ергономіки, компактності та ефективного тепловідведення. Реалізована модульна структура полегшує обслуговування та модернізацію системи.

СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

- [1] Терещенко М.Ф. Біофізика: підручник / М.Ф. Терещенко, Г. С.Тимчик, І.О. Яковенко. - Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2019.- 444 с. <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/27589>
- [2] Фізіотерапія: підручник для студентів вищих медичних навчальних закладів/ В.Д. Сиволап, В.Х. Каленський; ЗДМУ. - 3.: ЗДМУ, 2014- 196 с.
- [3] Tymchik G., Vysloukh S., Tereshchenko N., Matvienko S. Investigation thermal conductivity of biological materials by direct heating hermistor method. 2018 IEEE 38th International Conference on ELECTRONICS AND NANOTECHNOLOGY (ELNANO) (Kyiv, 24.04.2018). Kyiv, 2018. P. 429-434
- [4] Матвієнко С. М. Вплив процесів конвекції в рідині на похибку вимірювання теплопровідності методом прямого підігріву термістора / Г. С. Тимчик, М. Ф. Терещенко, А. М. Матвієнко // Наукові вісті НТУУ —КПІІ. — 2017. — № 4. — С. 121–130.
- [5] <https://www.slideshare.net/slideshow/lasers-characteristics-stimulated-absorption-spontaneous-emission-stimulated-emission-population-inversion/185896051>
- [6] ФП “Ліка терапевт М”[Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу:<http://www.fotonikaplus.com.ua/produksiya/lazernye-apparaty/apparat-lazernyj-terapevticheskij-lika-terapevt-m.html>
- [7] Яка Довжина Хвилі Лазера? [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <http://ua.oem-laser.com/info/what-is-the-wavelength-of-the-laser-51286560.html>
- [8] [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://corelamps.com/yak-obraty-svitylnyk-chy-lampochku/svitlo/>
- [9]https://fotonikaplus.com.ua/images/instrukcii/%D0%98%D0%BD%D1%81%D1%82%D1%80%D1%83%D0%BA%D1%86%D0%B8%D1%8F_%D0%9B%D0%B8%D0%BA%D0%B0-%D1%82%D0%B5%D1%80%D0%B0%D0%BF%D0%B5%D0%B2%D1%82_%D0%9C.pdf
- [10] Saleh B. E. A., Teich M. C. *Fundamentals of Photonics*.

[11] Терещенко М. Ф. Оцінка та контроль ефективності впливу на біологічний об'єкт лазерним випромінюванням / М. Ф. Терещенко, С. П. Якубовський. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2013. – №44. – С. 90–97.

[12] Оптичне й лазерне випромінювання [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://en.ppt-online.org/88426>. (дата звернення 04.04.2023).

[13] Терещенко М. Ф. Контроль дози лазерного опромінення біологічних тканин температурним методом / М. Ф. Терещенко, І. В. Максимчук, Л. А. Мамедова, С. П. Якубовський // Вісник НТУУ «КПІ». Серія приладобудування. – 2013. – Вип. 45. – С. 175 – 180.

[14] Швидкий В. В. Динаміка змін параметрів лазерного випромінювання в біологічних тканинах / В. В. Швидкий, М. Ф. Терещенко. // Вісник НТУУ «КПІ». Серія Приладобудування. – 2017.

[15] Weber M. Handbook of Laser Wavelengths Laser & Optical Science & Technology / Marvin J. Weber., 2018. – 784 с.

[16] Дипломний проєкт бакалавра: виконання, оформлення та захист : навч. посіб. / Уклад. : С. П. Вислоух, М. Ф. Терещенко, Г. С. Тимчик. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2022. – 64 с.

[17] BTL 5000 Laser [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://medmax.com.ua/ua/equipment/physiotherapy/laser-therapy/5000-laser.html>

[18] Opton Pro [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://medgarant.net.ua/uk/zimmer-opton-pro-u/>

[19] Лазерні методи лікування [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://zrenie.dp.ua/uk/services/lazerni-metody-likuvannia>

[20] [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://foramed.com.ua/ru/fizioterapiya/lazernaya_terapiya.html

[21] [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://shyko.com.ua/ua/p929358891-lazernoe-udalenie-tatuirovok.html>

[22] Біомедичні оптико-електронні інформаційні системи і апарати. Ч.3. – Лазерні біомедичні системи : навчальний посібник / [Кожем'яко В. П., Готра З. Ю., Павлов С. П. та ін.]. – Вінниця : ВДГУ, 2000. – 143 с.

[23][Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: <https://alvi-prague.ua/uk/aparat-fototerapii-t-07>

[24] Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://base.nipo.gov.ua/efiling/show_claim.php?prop_id=0 Патент України 154786

[25] [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://base.nipo.gov.ua/efiling/show_claim.php?prop_id=0 Патент України 152756

[26] [Електронний ресурс]. – Режим доступу до ресурсу: https://base.nipo.gov.ua/efiling/show_claim.php?prop_id=0 Патент України 152708

Додаток 1



ЗАТВЕРДЖУЮ
Директор ТОВ «НМЦ Медітех»

Терещенко Т.Ф.
(ініціали, прізвище)

«02» червня 2025 р.

АКТ 4/2025

**впровадження в виробництво матеріалів дипломного проекту, як
ескізного проекту**

на тему: **«Комп'ютерно-інтегрована адаптивна система лазерної
медицини»**

виконану студентом **Вялковим Володимиром Андрійовичем**,
керівник дипломного проекту **Терещенко Микола Федорович**

Виконаний дипломний проект на основі завдань цільової програми наукових досліджень НАН України «Матеріали для медицини і медичної техніки та технології їх отримання і використання» на 2017-2025 роки, затвердженої Постановою Президією НАН України №76 від 15.03.2017, та договору про співпрацю № Д/0002.01/1700.02/197/2022 від 26.09.2022 р. між КПІ ім. Ігоря Сікорського та ТОВ «НМЦ МЕДІНТЕХ» впроваджено на основі наступних підстав:

Результати розробки і дослідження є актуальним при створенні нових типів комп'ютерно-інтегрованих систем лазерної медицини та розробці нових лазерних випромінювачів, згідно Програм пріоритетних досліджень на 2019-2025 р.

Отримані результати проектування комп'ютерно-інтегрованих систем лазерної медицини, методика розрахунків, конструкції блоків та схем можуть бути використані в спільних роботах ТОВ «НМЦ МЕДІНТЕХ» та КПІ ім. Ігоря Сікорського.

По результатам роботи над дипломним проектом запропоновано і нове технічне рішення по **заявці на патент України № u 2025 01037**, яка разом з дипломним проектом і впроваджена в ТОВ «НМЦ МЕДІНТЕХ».

Отримані дані по дипломному проекту будуть використані в підрозділах ТОВ «НМЦ МЕДІНТЕХ» в 2024-2025 рр.

Додаток 2

ДПБ.ПБ12.04.1720.02СХ

Перв. примен.

Проникність світла у тканину

Довідка №

ДПБ.ПБ12.04.1720.02СХ

Взам. шев. №

ДПБ.ПБ12.04.1720.02СХ

Подл. та дата

Ізм.	Лист	№ докум.	Подл.	Дата
		Розроб В.А		
		Перев. Терещенко М.Ф.		
		Т.контр.		
		Н.контр.		
		Утв.		

Взам. шев. №

ДПБ.ПБ12.04.1720.02СХ

Інв. № подл.

Лист	Маса	Масштаб
		1:1
Лист		Листов
КПІ ім. Ігоря Сікорського ПФФ		
Формат А4		

Схема дії лазерного випромінювання

ДПБ.ПБ12.04.1720.03СХ		ДПБ.ПБ12.04.1720.03СХ																																																																					
Перев. примен.	Довідка №	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px;"> <p style="text-align: center; margin-bottom: 10px;">Методи лазерної терапії</p> <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Локальна лазеротерапія</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Сегментарна лазеротерапія</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Лазерна рефлексотерапія</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Внутрішньовенна лазерна терапія</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Лазерна пункційна терапія</div> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Магнітолазерна терапія</div> </div> <div style="display: flex; justify-content: space-around; margin-top: 10px;"> <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;">Внутрипорожнинна лазеротерапія</div> </div> </div>																																																																					
Взам. инв. №	Име. № дубл.																																																																						
Подр. № а дма	Взам. инв. №	<div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p style="text-align: center; margin-bottom: 5px;">ДПБ.ПБ12.04.1720.03СХ</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> <td style="width: 10%;"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Изм</td> <td style="text-align: center;">Лист</td> <td style="text-align: center;">№ докум.</td> <td style="text-align: center;">Подп.</td> <td style="text-align: center;">Дата</td> <td colspan="5" rowspan="2" style="text-align: center; vertical-align: middle;">Класифікація методів лазерної терапії</td> <td style="text-align: center;">Лист</td> <td style="text-align: center;">Масштаб</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Розроб</td> <td style="text-align: center;">Вялков В.А</td> <td colspan="3"></td> <td style="text-align: center;">1:1</td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Перев.</td> <td colspan="4" style="text-align: center;">Терещенко М.Ф.</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Лист</td> <td colspan="2" style="text-align: center;">Лист ов</td> <td colspan="2" rowspan="3" style="text-align: center; vertical-align: middle;"> КПІ ім. Ігоря Сікорського ПФФ Формат А4 </td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">І.контр.</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">ІІ.контр.</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> <tr> <td style="text-align: center;">Утв.</td> <td colspan="4"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> <td colspan="2"></td> </tr> </table> </div>												Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Класифікація методів лазерної терапії					Лист	Масштаб	Розроб	Вялков В.А				1:1	Перев.	Терещенко М.Ф.				Лист		Лист ов		КПІ ім. Ігоря Сікорського ПФФ Формат А4		І.контр.									ІІ.контр.									Утв.										
Изм	Лист	№ докум.	Подп.	Дата	Класифікація методів лазерної терапії					Лист	Масштаб																																																												
Розроб	Вялков В.А									1:1																																																													
Перев.	Терещенко М.Ф.				Лист		Лист ов		КПІ ім. Ігоря Сікорського ПФФ Формат А4																																																														
І.контр.																																																																							
ІІ.контр.																																																																							
Утв.																																																																							
Подр. № а дма	Взам. инв. №	ДПБ.ПБ12.04.1720.03СХ																																																																					
Име. № дубл.	Взам. инв. №	Класифікація методів лазерної терапії																																																																					
Подр. № а дма	Име. № дубл.	Лист																																																																					
Име. № дубл.	Име. № дубл.	Лист ов																																																																					
Име. № дубл.	Име. № дубл.	КПІ ім. Ігоря Сікорського ПФФ																																																																					
Име. № дубл.	Име. № дубл.	Формат А4																																																																					

ДПБ.ПБ12.04.1720.04СХ				
Довідка №	Перс. примен. \$PRPSHEET.1{Перс_Примен}			
Взам. инв. №	Взам. инв. № дубл.			
Подп. та дата	Подп. та дата			
№ подл.	№ подл.			

Апарати лазерної терапії

- По довжині хвилі
 - Червоне випромінювання
 - Ближнє інфрачервоне
 - Середнє інфрачервоне
- По автоматизації
 - Автоматичні
 - Напів-автоматичні
 - Ручні
- По режиму генерації
 - Постійний
 - Імпульсний
- За способом використання
 - Ручний
 - Роботизований
- За форми апарату
 - Стационарні
 - Портативні
- Взаємодія з комп'ютером
 - Відсутній
 - Комп'ютерно інтегровані
- За областю використання
 - Терапія
 - Хірургія
 - Косметологія

ДПБ.ПБ12.04.1720.04СХ				
Класифікація апаратів лазерної терапії	Лист .	Масштаб	Масштаб	Масштаб
Розроб. Вялков В.А.	Лист	Масштаб	Масштаб	Масштаб
Перев. Терещенко М.Р.	Лист	Масштаб	Масштаб	Масштаб
Т.контр. \$PRPSHEET.1{n_T_контр}	Лист	Масштаб	Масштаб	Масштаб
Н.контр. \$PRPSHEET.1{n_H_контр}	Лист	Масштаб	Масштаб	Масштаб
Утв. \$PRPSHEET.1{n_Утв}	Лист	Масштаб	Масштаб	Масштаб

КПІ ім. Ігоря Сікорського ПФФ

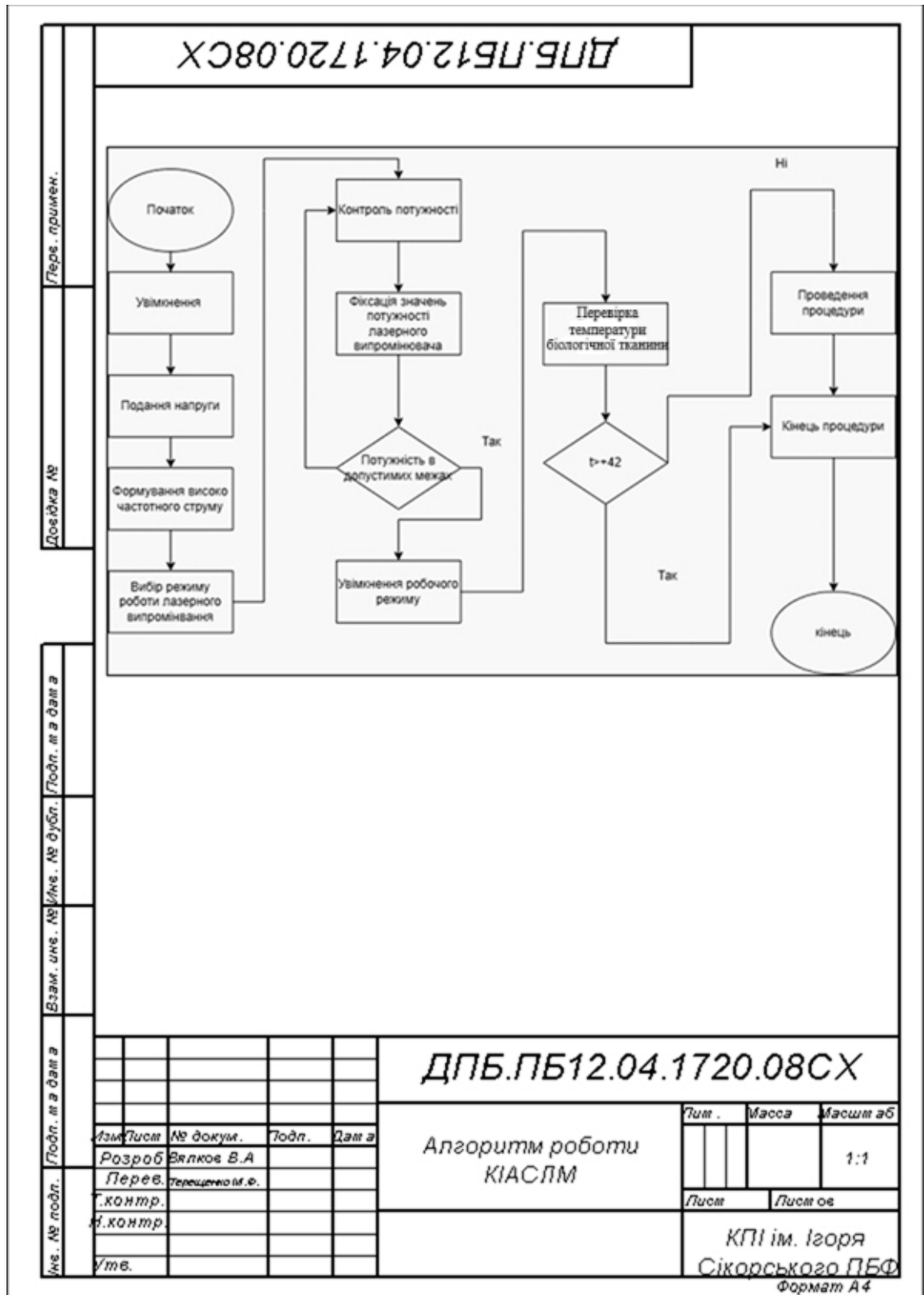
Формат А4

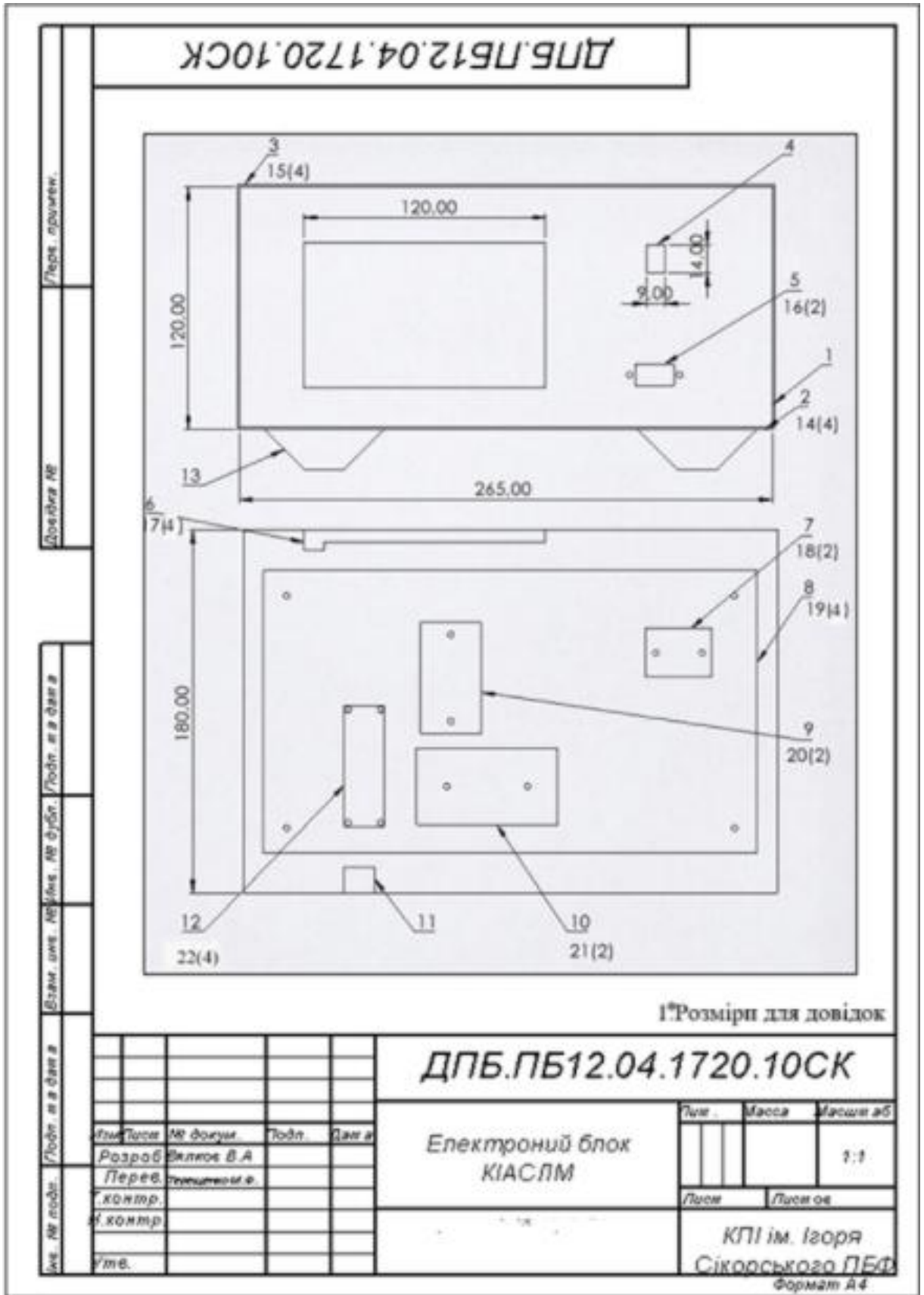
ДПБ.ПБ12.04.1720.06СХ

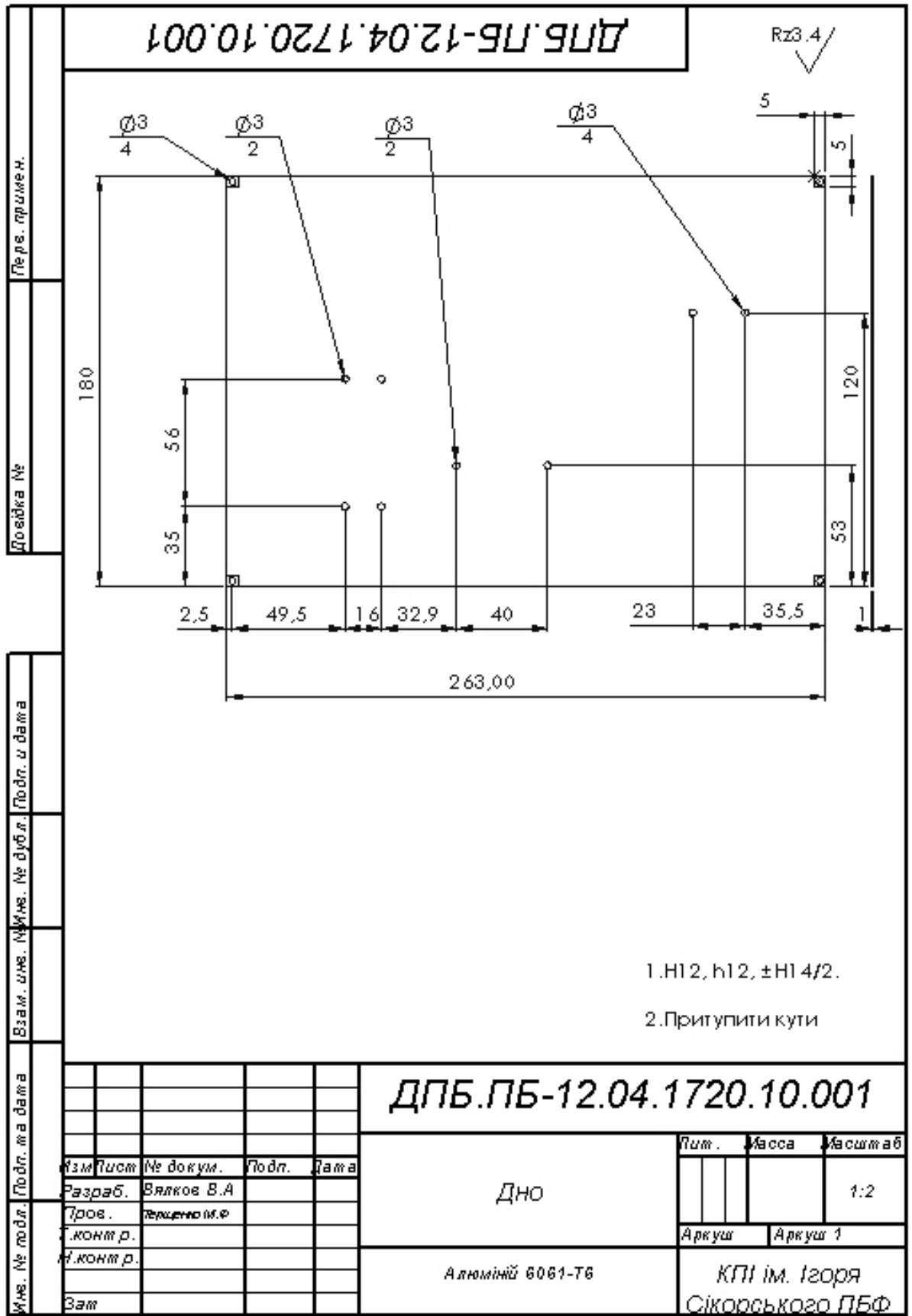
Додаток №

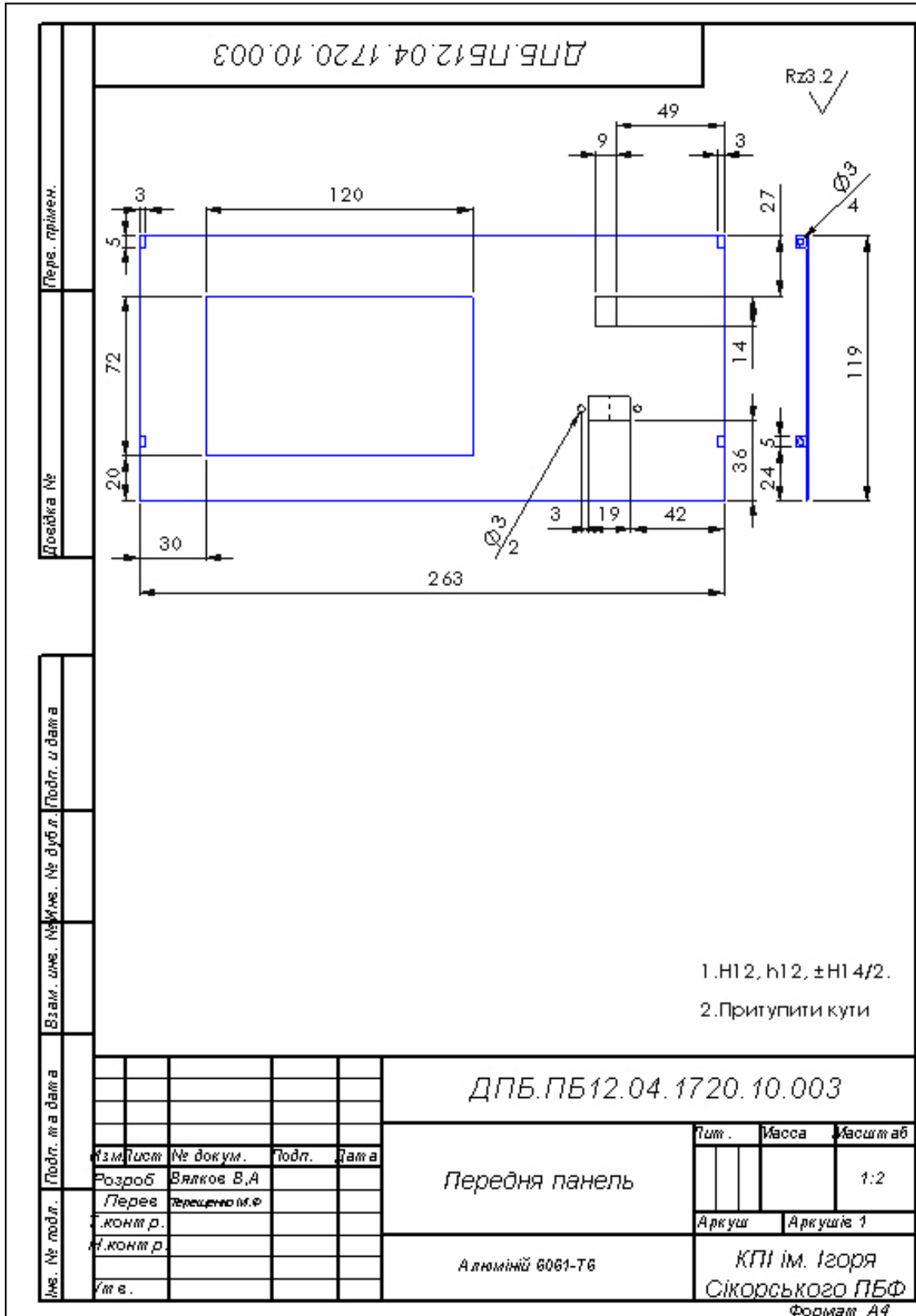
Гляре, примок.

						ДПБ.ПБ12.04.1720.06СХ			
№ в. № подл.	Годл. № докум.	№ докум.	Годл.	Зам.	Електрична схема			Лист	Масштаб
№ контр.	№ контр.	№ контр.	№ контр.	№ контр.	Контролю потужності			Лист	Листов
№ в. № подл.	Годл. № докум.	№ докум.	Годл.	Зам.	КПІ ім. Ігоря			Сікорського ПБФ	
					Формат А4				









Довідка № _____
 Перег. примен. _____

Взам. зм. № _____
 Мат. № _____
 Підп. і дата _____

Підп. та дата _____
 Ім'я, № подл. _____

Зм.	Лист	№ докум.	Підп.	Дата
Розроб		Вялков В.А		
Перев		Терещенко М.Р		
Контр.				
Контр.				
Утв.				

ДПБ.ПБ12.04.1720.10.003		
Передня панель	Тит.	Маса
		Масштаб
		1:2
	Арк. уш.	Арк. ушів
		1
Алюміній 6061-T6	КПІ ім. Ігоря Сікорського ПБФ	
	Формат А4	

