



Вінницький національний технічний університет  
Факультет комп'ютерних систем управління та автоматики  
Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки



**МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА**

# **БАГАТОФУНКЦІОНАЛЬНИЙ ЛАЗЕРНИЙ ТЕРАПЕВТИЧНИЙ АПАРАТ**

Спеціальність 8.05100402 – «Лазерна і оптоелектронна техніка»

Виконав: студент гр. ЛОТ-14м Крістенсен Рохас Джоель Андре

Керівник: доцент, к.т.н. Тужанський Станіслав Євгенович

**ВІННИЦЯ – 2015**

## Актуальність теми.

- Лазерна терапія сьогодні широко застосовуються в отоларінгології, дерматології, невропатології, хірургії, стоматології та інших областях медицини. Ефективність лікування залежить від правильності вибору механізмів дії випромінювання та від характеристик апаратури. Розробляються нові та удосконалюються існуючі методики із використанням лазерних автоматизованих пристроїв на основі мікропроцесорного керування.
- На сьогоднішній день для приладів існує проблема ефективності терапевтичної дії при опроміненні віддалених зон. Багато терапевтичних апаратів засновані на застарілих підходах, які не забезпечують функціональної гнучкості, зокрема при застосуванні імпульсного випромінювання (використовують фіксований набір частот модуляції). Майже не використовуються можливості комплексного (сумісного) опромінення за допомогою декількох лазерів із різними довжинами хвиль в межах ураженої зони. Недоліком більшості приладів є також відсутність універсального підходу щодо динамічної зміни характеристик випромінювання у кожній точці поверхні (об'єму), яка опромінюється.
- Таким чином, розробка багатофункціонального терапевтичного апарату із підвищеною ефективністю дії на уражені ділянки за рахунок сукупної та комбінованої дії трьох напівпровідникових лазерів із гнучким вибором режимів і частот модуляції є актуальною медичною і науково-технічною задачею.

## Мета роботи.

- Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розширення функціональних можливостей лазерної терапії і, як наслідок, підвищення ефективності фізіотерапевтичних процедур при використанні апарату із комплексною дією трьох лазерних діодних випромінювачів із адаптивним вибором режимів роботи, густини потужності і частот модуляції випромінювання.

## **Основні завдання дослідження:**

- провести порівняльний аналіз існуючих методів і сучасних засобів лазерної терапії;
- сформулювати основні медико-технічні вимоги до лазерних напівпровідникових апаратів фізіотерапії;
- розрахувати основні технічні характеристики лазерних випромінювачів з урахуванням режиму сукупної (комбінованої) дії на біотканину;
- розрахувати параметри оптичної системи доставки випромінювання;
- спроектувати конструкцію і проаналізувати роботу багатофункціонального лазерного терапевтичного апарату;
- розробити схеми основних функціональних вузлів апарату на основі сучасної елементної бази та проаналізувати їх роботу.

**Об'єкт дослідження** – процеси передачі і доставки лазерного випромінювання у біотканину.

**Предмет дослідження** – методи і засоби терапевтичної дії лазерним випромінюванням на організм людини.

**Методи дослідження.** Теорія волоконної та інтегральної оптики; основи квантової електроніки і лазерної техніки; основи електроніки; теорія взаємодії лазерного випромінювання із біотканинами; комп'ютерне моделювання для аналізу характеристик лазерів і волоконно-оптичної системи.

## Наукова новизна.

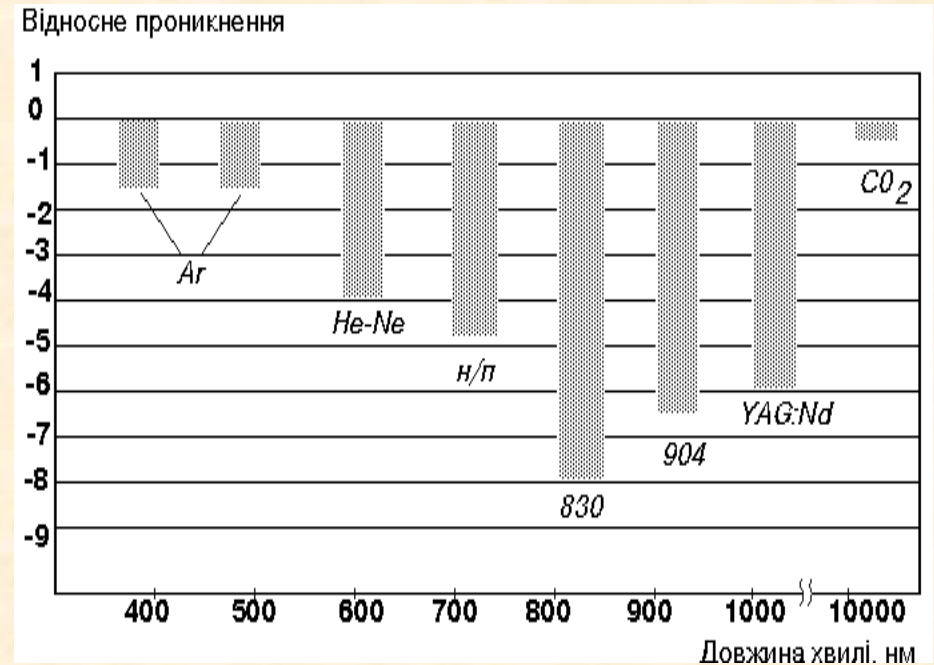
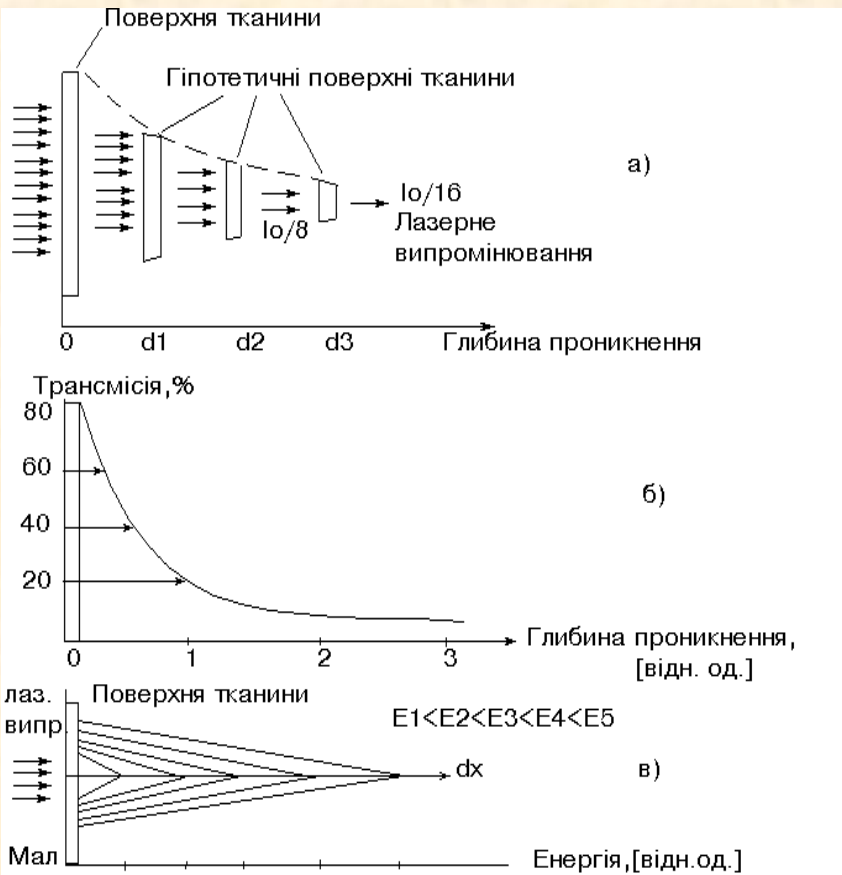
Удосконалено метод адаптивної лазерної терапії, який базується на сукупній терапевтичній дії випромінюванням трьох напівпровідникових лазерів різних довжин хвилі із можливістю адаптивного вибору комбінації випромінювачів, їх вихідної оптичної потужності, частот модуляції та способів доставки випромінювання з урахуванням потрібної енергетичної дози опромінення. Це дозволило підвищити ефективність фізіотерапевтичної дії лазерного випромінювання з урахуванням різної глибини проникнення кожної із довжин хвиль, а також розширити функціональні можливості методу для лікування більшої кількості захворювань.

## **Практичне значення одержаних результатів полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних положень:**

-Розроблено конструкцію, структурну схему пристрою та електричні схеми його основних функціональних вузлів, що враховують попередній теоретичний аналіз процесів взаємодії лазерного випромінювання із біотканинами та дозволяють підвищити ефективність терапевтичних процедур;

-Удосконалено схему доставки лазерного випромінювання до області ураженої ділянки організму, який базується на використанні виносних випромінювачів із волоконно-оптичним інтерфейсом для підключення універсальних магістральних світловодів з відповідним інструментарієм (залежно від захворювання), що дозволяє використовувати різні методики лікування із комбінацією дії випромінювачів різних випромінювачів з урахуванням особливостей ураженої ділянки.

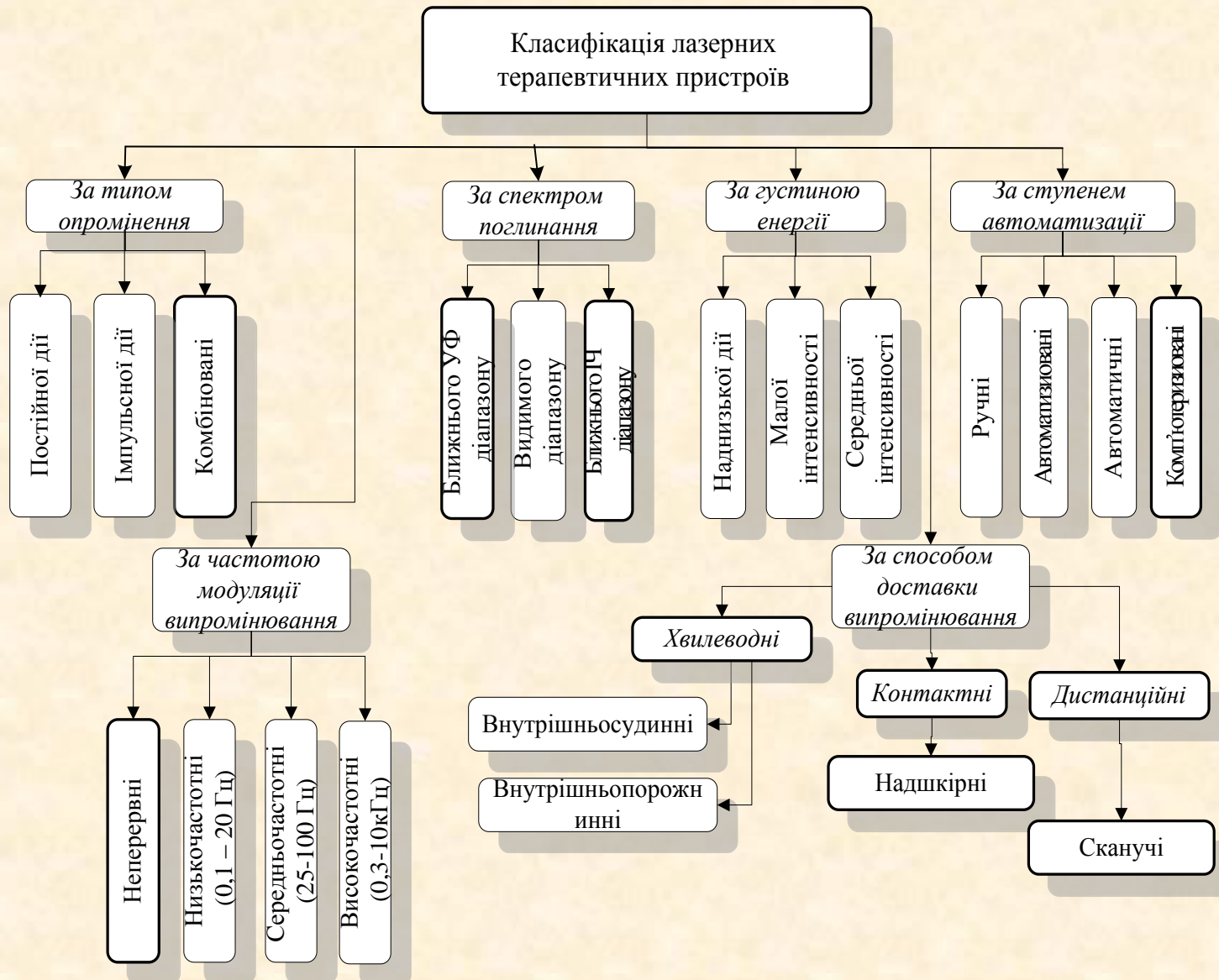
# Аналіз механізмів дії лазерного випромінювання на біотканину



Залежність проникнення від довжини хвилі

Проникнення випромінювання у тканину

# Класифікація терапевтичних лазерних пристроїв



## Характеристики контактних і волоконно-оптичних пристроїв для лазерної терапії

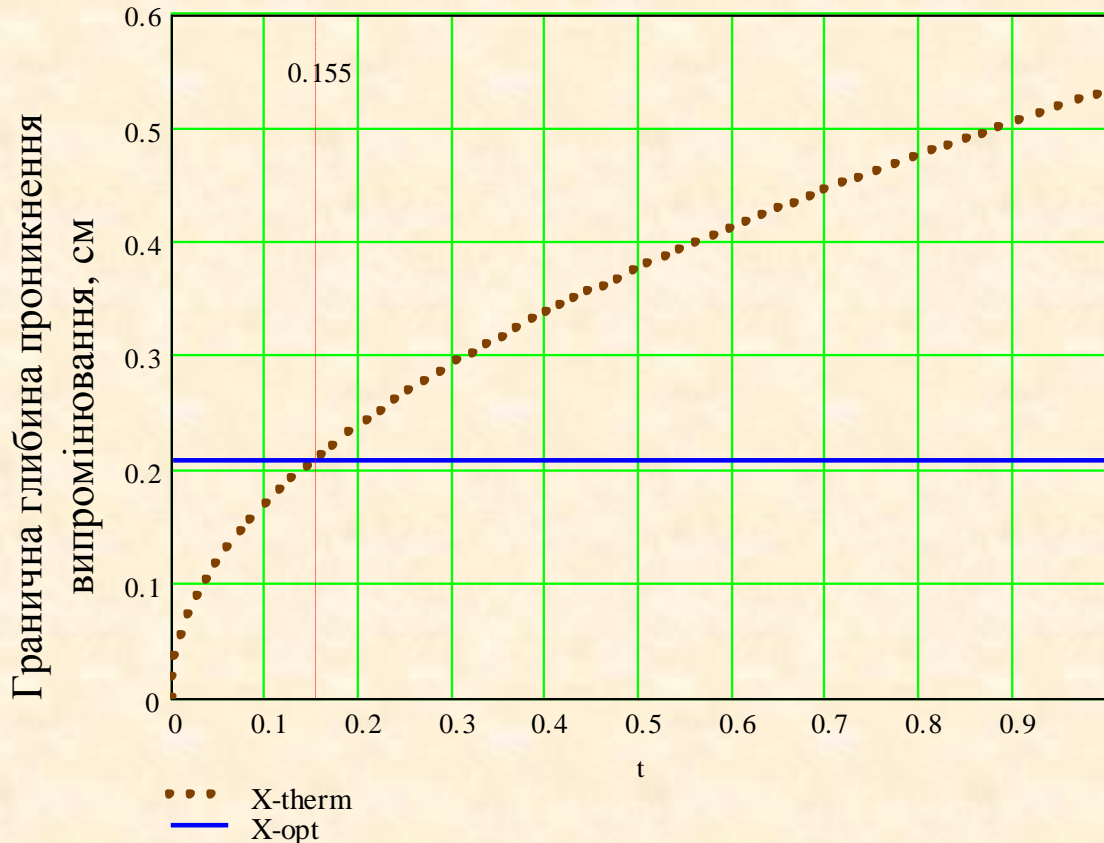
Назва пристрою	Довжина хвилі, мкм	Середня потужність, мВт	Робочий діапазон частот, Гц	Режим експозиції	Метод дії
Ліка Терапевт	0,658 0,87 0,89	0...50 0...150 0...2	0,1...100 0,1...100 3000	Фіксований автоматичний	Контактний / волоконний інструмент
Узор – 2К	0,89	0...3	5,80,150,300, 600,1500,3000	Фіксований автоматичний	Контактний
Матрикс	0,44 0,54 0,635 0,83	1...50	10,80,600,3000, 0,5...3000	Фіксований автоматичний, програмований	Контактний
РИКТА-04	0,635 0,84	1...40	5,50,1000	Дискретний	Контактний / волоконний інструмент
МИЛТА-Ф-8	0,85 0,89	0...100	5, 10, 50, 80, 150, 600, 1500, 5000	Дискретний	Контактний
Розроблюваний пристрій	0,87; 0,65;	0...100 0...50	9,4/300/1000 0,5...10000	Фіксований автоматичний, довільний програмований	Волоконний інструмент

## Медико-технічні вимоги до лазерних діодних терапевтичних пристроїв

- Можливість регулювання вихідної потужності випромінювання в широких межах: від 0,1-0,2 мВт до 20-100 мВт (в залежності від довжини хвилі густини енергії від 0,1 до 1 Дж/см<sup>2</sup>);
- Можливість регулювання частот модуляції випромінювання напівпровідникових лазерів – від 0,1 Гц до 5 кГц (постійний режим).
- Використання універсальних магістральних світловодних насадок та спеціалізованого волоконного інструментарію;
- Можливість роботи в режимі з автоматичною експозицією, при якому забезпечується автоматичне припинення подачі лазерного променя до пацієнта після закінчення встановленого часу процедури із супровідним звуковим сигналом;
- Лазерна та електробезпека;
- Простота в користуванні, ергономічність.



# Моделювання глибини термічного і оптичного проникнення від тривалості дії лазера



Тривалість дії лазера t, с

Модель, яка враховує ефекти оптичного (X-opt) і порогового теплового (X-therm) проникнення лазерного випромінювання в біотканину

$$X_{th} = k \sqrt{\frac{\lambda^2 \lambda_s^2}{\rho^2 c^2 \pi^2 n^2 k^2} \cdot \frac{W}{A}}$$

$$\lambda = 0,87 \text{ мкм}; W = 5 \text{ мВт}; A = 0,1 \text{ см}^2$$

$$n = 1,86; R = 0,5; k = 0,18;$$

$$c = 1930 \text{ Дж/кг}\cdot\text{К}; \rho = 1600 \text{ кг/м}^3$$

# Розрахунок характеристик лазерних випромінювачів

Рекомендована формула сполуки  $\text{Ga}_{0,15}\text{In}_{0,85}\text{As}_{0,34}\text{P}_{0,66}$ .

Порогове значення коефіцієнта підсилення лазера

$$g_{\text{пор}} = \alpha_i + \frac{1}{l} \ln \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2}} = 191,77 [\text{см}^{-1}].$$

Густина порогового струму інжекційного лазера:

$$J_{\text{пор}} = g_{\text{пор}} \frac{8\pi e n^2 \Delta v D}{\eta_q \lambda_o^2}, \quad J_{\text{пор}} = 6479,82 \left[ \frac{\text{А}}{\text{см}^2} \right]$$

Диференційний квантовий ККД:  $\eta_d = \frac{1 - R_1}{\left(1 + \sqrt{\frac{R_1}{R_2}}\right) (1 - \sqrt{R_1 R_2})} \frac{\frac{1}{l} \ln \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2}}}{\alpha + \frac{1}{l} \ln \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2}}} = 0,109 \approx 11\%$

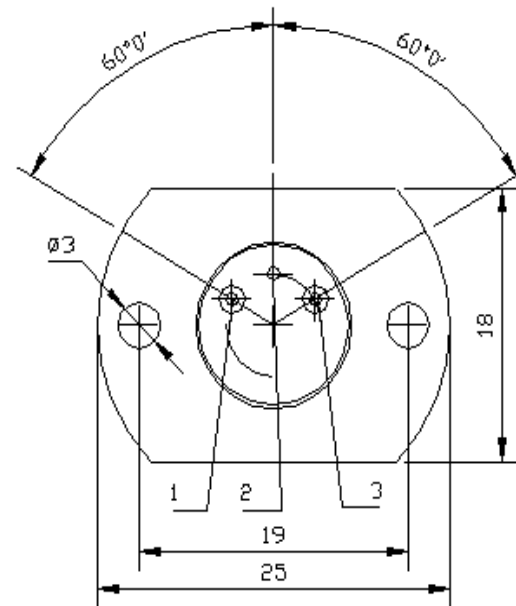
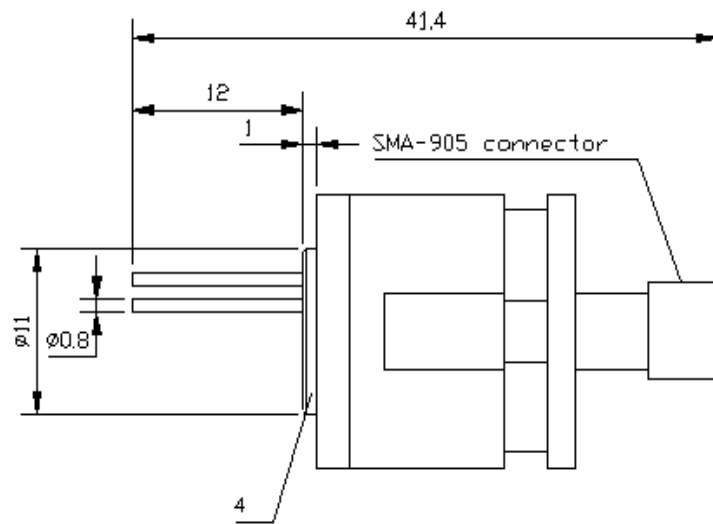
Ефективна площа р-п –переходу:  $S = h \cdot d = 4 \cdot 10^{-7} [\text{см}^2]$ .

Струм накачки лазерного діода  $I_n = J_{\text{пор}} S = 0,0259 [\text{А}]$ .

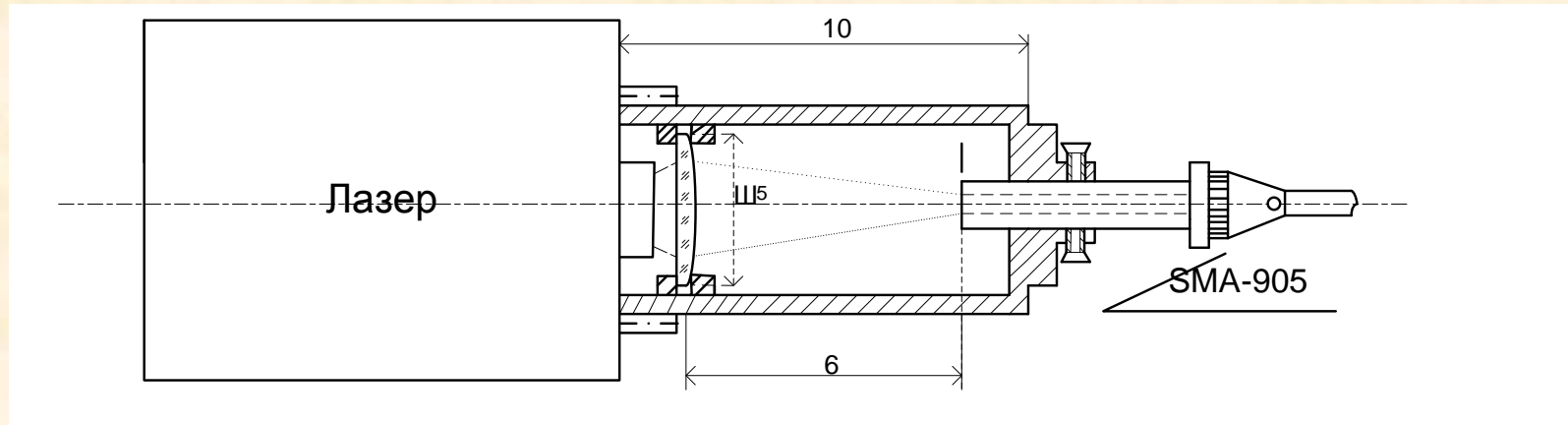
Вихідна потужність лазера для  $\lambda_1$  (робочий струм 0,15А)

$$P_{\text{out}} = h\nu [I_{\text{роб}} - I_n] \frac{1}{e \left( 1 + \alpha_l \frac{l}{\ln \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2}}} \right)} \approx 0,894 [\text{Вт}]$$

## Конструкція лазерних випромінювачів (світловод)



# Узгодження випромінювача із волоконним світловодом



Розбіжність лазера для основної ( $TEM_{00}$ ) моди:

$$\varphi = \varphi_{\text{дифр}} + \varphi_{\text{геом}} = \frac{2,44\lambda}{D} + 0,939 \sqrt{\frac{2\lambda}{R_{\text{екв}}}} = 2,828 \cdot 10^{-3} \text{ (рад.)}$$

Конфокальний параметр пучка

$$R'_e \approx \frac{R_e}{(1 + a/f')^2 + (\frac{R_e}{2f'})^2} \approx 3 \cdot 10^{-4}$$

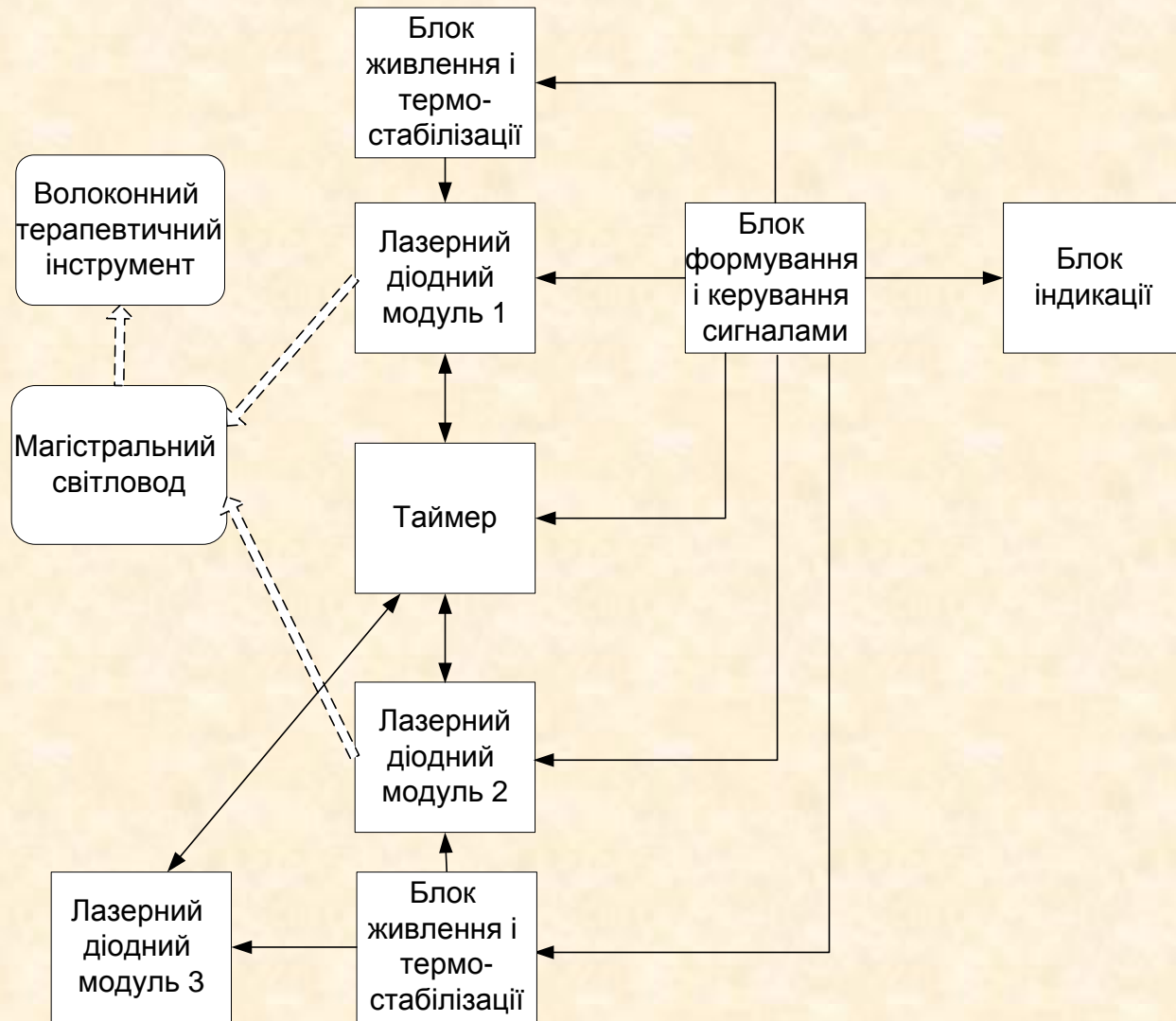
Мінімальний діаметр перетяжки системи:

$$2y' = \sqrt{\frac{2\lambda R'_e}{\pi}} + 1,22 \lambda a/D + 2\Delta y' = 10,3 \text{ мкм},$$

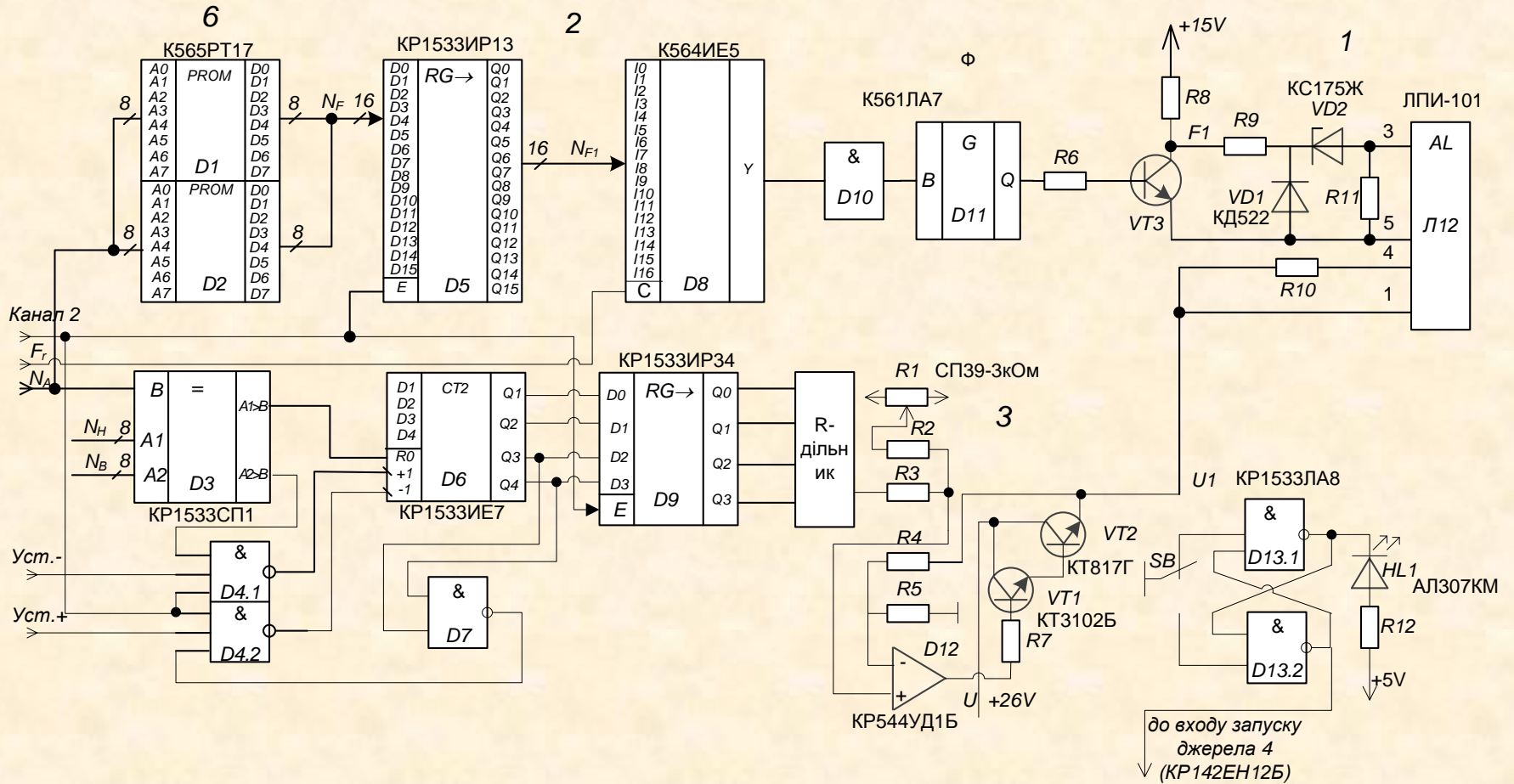
Мінімальний розмір плями фокусування

$$\delta = 2f'tg\theta = 56 \text{ мкм}.$$

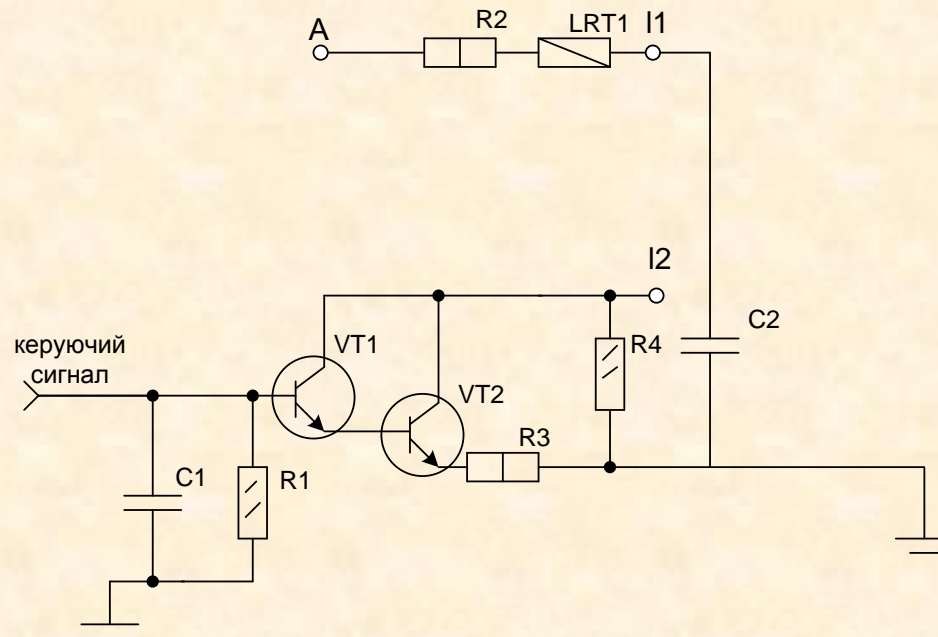
# Структурна схема лазерного терапевтичного апарату



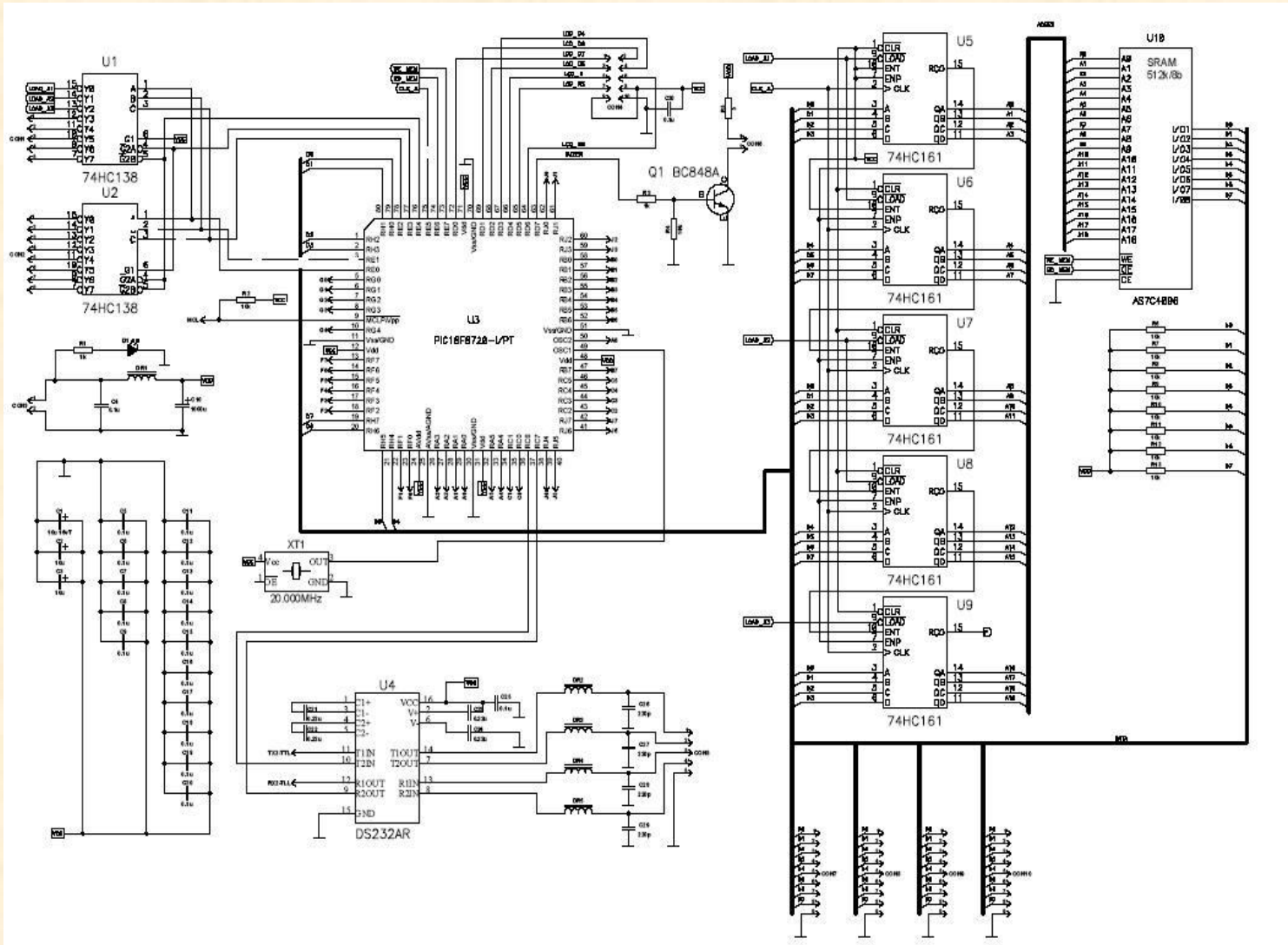
# Блок живлення і формування сигналів ІЧ імпульсного лазера



## Драйвер непрерывных лазеров



# Блок керування пристрою





## Висновки

- Виконано порівняльний аналіз методів і засобів лазерної фізіотерапії, розглянуто основні характеристики та особливості функціонування напівпровідникових лазерів для фототерапії.
- Розглянуто механізми спектрального поглинання та біологічні ефекти під дією лазерного випромінювання у біотканині. Проведено порівняльний аналіз основних методів і технік лазерного опромінення організму людини, розглянуто їх особливості.
- Розглянуто особливості функціонування терапевтичних приладів різних типів із порівнянням їх характеристик, удосконалено класифікацію сучасних приладів для лазерної терапії.
- Дістав подальшого розвитку метод адаптивної лазерної терапії, який базується на сукупній дії випромінювання трьох діодних лазерів різних довжин хвиль із можливістю комбінації випромінювачів та адаптивним вибором оптичної потужності, частоти модуляції та способів доставки з урахуванням потрібної енергетичної дози опромінення. Це дозволило підвищити ефективність фізіотерапевтичної дії лазерного випромінювання на різних глибинах проникнення для кожного з випромінювачів, а також розширити функціональні можливості методу для лікування більшої кількості захворювань.
- Розроблено структурну схему та здійснено розрахунок характеристик випромінювачів для багатофункціонального терапевтичного пристрою, а також оптичної системи для узгодження лазерів із волокном. На основі фундаментальних законів квантової електроніки розраховано основні характеристики резонатора, систем накачки струмом лазерних діодів, енергетичні характеристики випромінювачів. Розроблено схему блоків живлення і керування лазерами.
- Виконано економічну частину розрахунків.

ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

