



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



*МАГІСТЕРСЬКА КВАЛІФІКАЦІЙНА РОБОТА*

# МЕТОД І ЗАСІБ АДАПТИВНОГО ЛАЗЕРНОГО ОПРОМІНЕННЯ КРОВІ

студент гр. ЛТО-17мз Проданець Ігор Михайлович

Керівник: доцент каф. ЛОТ, к.т.н. Тужанський С.Є.

**ВІННИЦЯ – 2019**

## Актуальність теми

Інтенсивний розвиток оптоелектронних технологій стимулює інтерес до створення більш досконалих засобів лазерної терапії. Останнім часом з'являються прилади опромінення крові на ІЧ лазерних діодах із опроміненням через шкіру, для чого використовують спеціальні аплікатори. Однак існуючі прилади потребують більш ефективних і точних технологій контролю параметрів. Важливим при аналізі ряду захворювань (гіповолемія, аритмія, серцева недостатність) є контроль параметрів пульсу і сатурації крові. Таким чином, розробка й вдосконалення методів та засобів лазерного опромінення крові із динамічним контролем показників пульсу і сатурації крові під час процедури на базі сучасних технологій є актуальною науково-технічною задачею, вирішення якої дозволить забезпечити підвищити ефективність лікування порівняно із традиційними методами фототерапії крові.

**Мета МКР.** Метою магістерської кваліфікаційної роботи є розширення функціональних можливостей лазерного опромінення крові при терапії ряду захворювань за рахунок оптичного контролю показників пульсу і сатурації крові під час лікувальної процедури

## **Основні завдання МКР:**

- порівняльний аналіз та класифікація сучасних терапевтичних засобів лазерного опромінення крові,
- розробити медико-технічні вимоги для пристрою адаптивного лазерного опромінення крові;
- удосконалити метод лазерного опромінення крові із динамічним контролем показників сатурації крові і пульсу;
- розрахувати характеристики модуля випромінювачів і схеми узгодження, розробити структурну схему засобу адаптивного лазерного опромінення крові;
- розрахувати гранично допустимі рівні опромінення та проаналізувати лазерну безпеку запропонованого засобу;
- розрахувати економічну доцільність розробки та основні економічні показники її впровадження.

**Об'єкт дослідження** – процеси перетворення оптичного випромінювання при лазерному опроміненні крові у біотканинах

**Предмет дослідження** – функціональні характеристики засобів лазерного опромінення крові та оптичної пульсоксиметрії периферійного кровонаповнення.

**Наукова новизна.** Удосконалено метод неінвазивного лазерного опромінення крові при терапії ряду захворювань, в якому на відміну від існуючих використовується динамічний контроль показників сатурації крові і пульсу. Це дозволило підвищити ефективність терапевтичних процедур, а також розширити функціональні можливості методу.

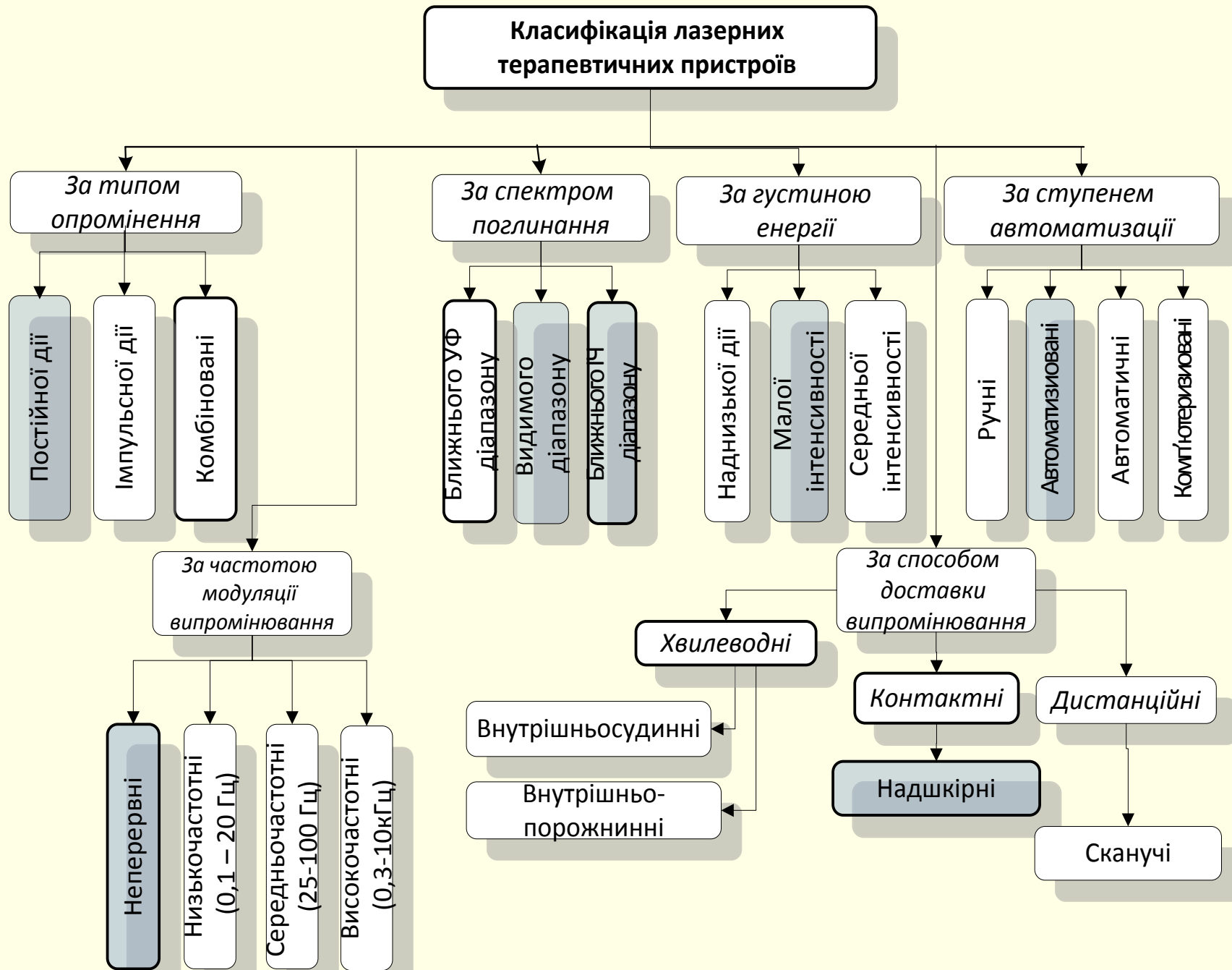
**Практичне значення** полягає в тому, що на основі отриманих теоретичних результатів розроблено схему засобу адаптивного лазерного опромінення крові із розширеними функціональними можливостями, зокрема:

- Розроблено функціональну схему неінвазивного засобу адаптивного лазерного опромінення крові, що включає динамічний контроль пульсу і сатурації крові в процесі лікування, конструкцію та схеми його основних функціональних вузлів;
- Здійснено інженерний розрахунок модельних характеристик лазерних випромінювачів засобу та імітаційне моделювання оптичних характеристик розсіювання лазерного випромінювання у шкірі.

**Апробація результатів роботи.** Результати досліджень обговорювались ХХІІІ Міжнародному молодіжному форумі «Радіоелектроніка та молодь у ХХІ столітті» (м. Харків, 2019)

**Публікації.** За результатами магістерської кваліфікаційної роботи опубліковано 1 тези доповіді у матеріалах конференції.

# Класифікація засобів лазерної терапії



# Пристрої лазерного опромінення крові

## Матрикс ВЛОК



## Лазмик ВЛОК



## МИЛТА



## МИТ-1



# Аналіз лазерних пристроїв для опромінення крові

Назва пристрою	Довжина хвилі, мкм	Середня потужність, мВт	Робочий діапазон частот, Гц	Режим експозиції	Метод дії
<i>Ліка Терапевт</i>	0,658 0,87 0,89	0...50 0...150 0...2	0,1...100 0,1...100 3000	Фіксований автоматичний	Контактний / волоконний інструмент
<i>Ліка М</i>	0,658	0...50	неперервний	Фіксований автоматичний	Волоконний інструмент, аплікатор
<i>Матрикс-ВЛОК</i>	0,635 0,405 0,532 0,89	0...5 0...2 0...2 0...80	неперервний	Дискретний	Волоконний інструмент
<i>АЛОК-1</i>	0,63	0...2	неперервний	Дискретний	Волоконний інструмент
<i>РИКТА-04</i>	0,635 0,84	1...40	5,50,1000	Дискретний	Контактний / волоконний інструмент
<i>ЛАЗМИК</i>	0,635 0,904	0...15	0,5...10000	Дискретний	Контактний / волоконний інструмент
<i>Розроблюваний пристрій</i>	0.87; 0,65;	0...50 0...50	неперервний	Фіксований автоматичний	Волоконний інструмент, аплікатор, пульсоксиметричний контроль

## **Медико-технічні вимоги до пристрою лазерного опромінення крові**

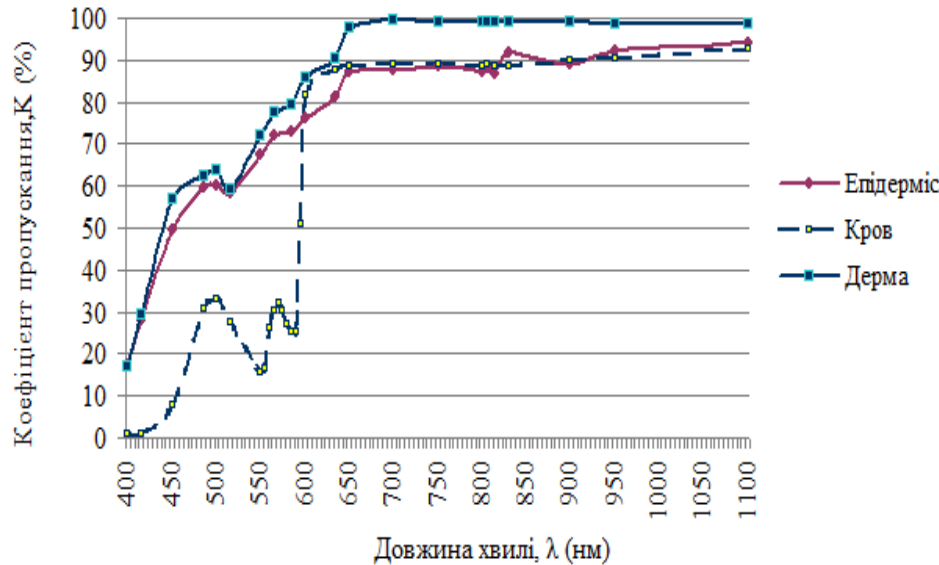
1. Спектральний діапазон – області максимального поглинання крові (440 нм, 630 нм, 870 нм – для черезшкірного опромінення)
2. Регулювання потужності випромінювання: від 0,1 мВт до 2 мВт (режим ВЛОК) та від 3 мВт до 50 мВт (черезшкірний режим);
3. Можливість підключення як універсальних світловодів (магістральних світловодів ВЛОК), так аплікаторів для неінвазивного опромінення крові;
4. Наявність режиму автоматичної експозиції (автоматичне припинення подачі випромінювання після закінчення встановленого часу процедури із супровідним звуковим сигналом);
5. Наявність функцій динамічного контролю за показниками життєдіяльності організму (серцева діяльність, дихання й інші);
5. Електробезпека;
6. Компактність, ергономічність;
7. Надійність експлуатації.



# Моделювання оптичних характеристик шкіри при дії лазерного випромінювання

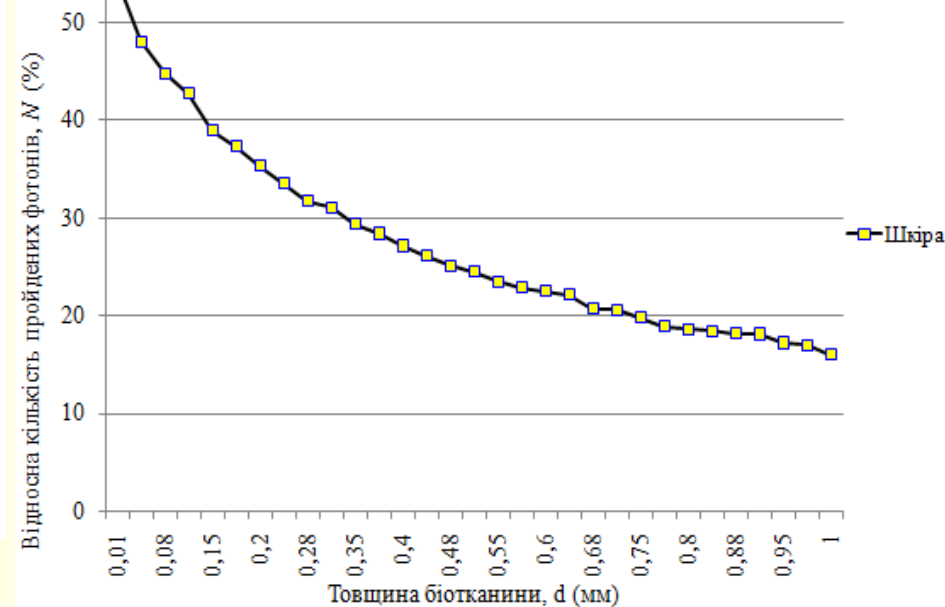
Шар	$\mu_s, \text{CM}^{-1}$	$\mu_a, \text{CM}^{-1}$	$g$	$n$	$d, \text{мм}$
Епідерміс	42,0	4,00	0,85	1,36	0,20
Кров	57,3	0,82	0,977	1,40	0,08
Дерма	17,5	0,23	0,85	1,36	4,72

Експеримент



Моделювання

(тришарова модель Монте Карло)



Вага фотона

$$W = W_0 (1 - R)$$

Довжина вільного пробігу

$$L = -l_{cep} \cdot \ln(1 - \xi)$$

Кут розсіювання (функція Хені Грінштейна)

$$\theta = \arccos \left( \frac{1 + g^2 - \left( (1 - g^2) / (1 - g + 2g\xi) \right)^2}{2g} \right) \quad 9$$

$$\Delta W = (\mu_a / \mu_t) \cdot W$$

$$l_{cep} = \frac{1}{(\mu_a + \mu_s)}$$

# Фотометричний аналіз сатурації крові (метод оптичної пульсоксиметрії)

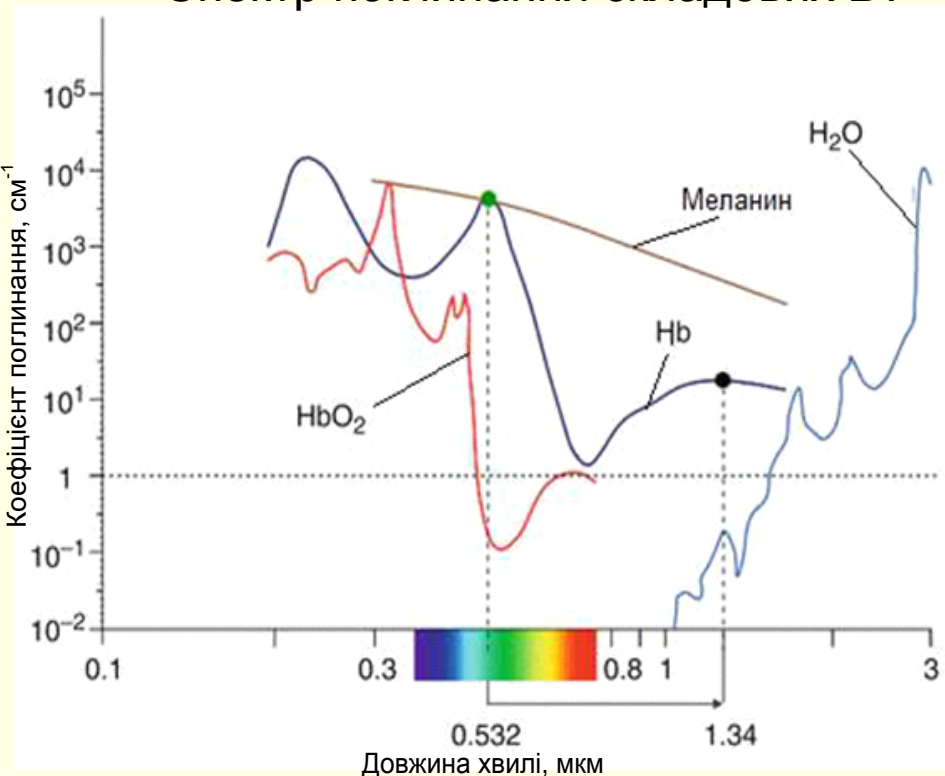
**Закон Бугера-Ламберта-Бера**  $I_{out} = I_0 \exp(-k c L)$ ,

$L$  – товщина шару БТ;  $k$  – коефіцієнт поглинання;  $c$  – концентрація крові, моль/л)

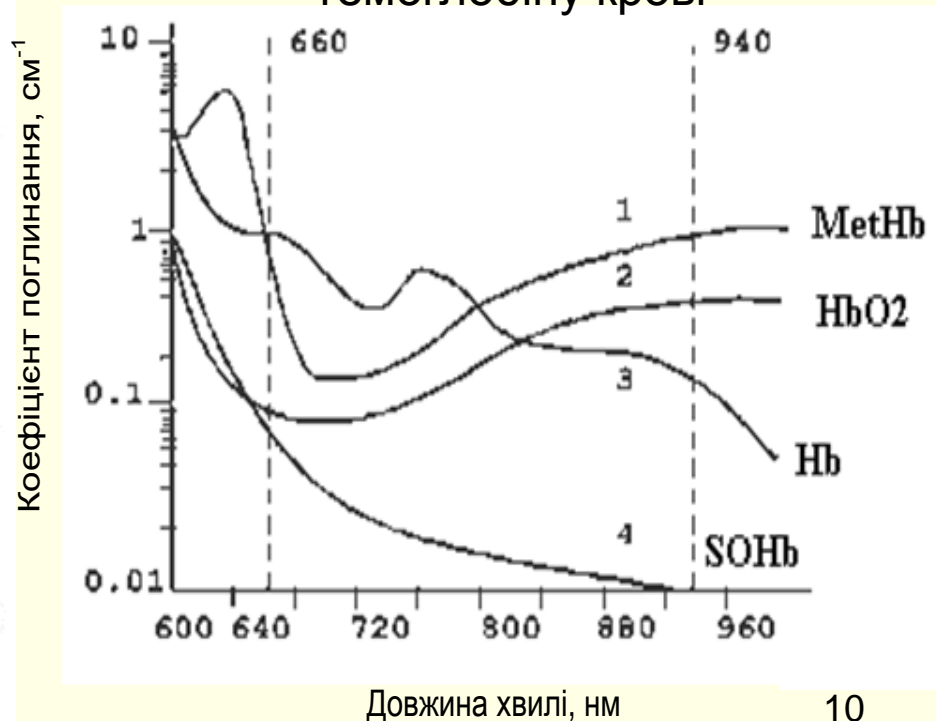
Коефіцієнт сатурації гемоглобіну периферійної крові

$$SpO_2 = \frac{C_{HbO_2}}{C_{HbO_2} + C_{Hb}} 100\%$$

Спектр поглинання складових БТ



Спектр поглинання фракцій гемоглобіну крові



# Модельний розрахунок параметрів лазерних випромінювачів (інжекційних лазерних діодів)

Пороговий коефіцієнт підсилення  $g_{nop} = \alpha_i + \frac{1}{l} \ln \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2}} = 57,1 [cm^{-1}]$ .

Густина порогового струму ЛД  $J_{nop} = g_{nop} \frac{8\pi e n^2 \Delta \nu D}{\eta_q \lambda_o^2} J_{nop} \begin{pmatrix} \lambda_1 = 0,87 \text{ мкм} \\ \lambda_1 = 0,65 \text{ мкм} \end{pmatrix} = \begin{matrix} 1469,52 \\ 2755,05 \end{matrix} [A/cm^2]$

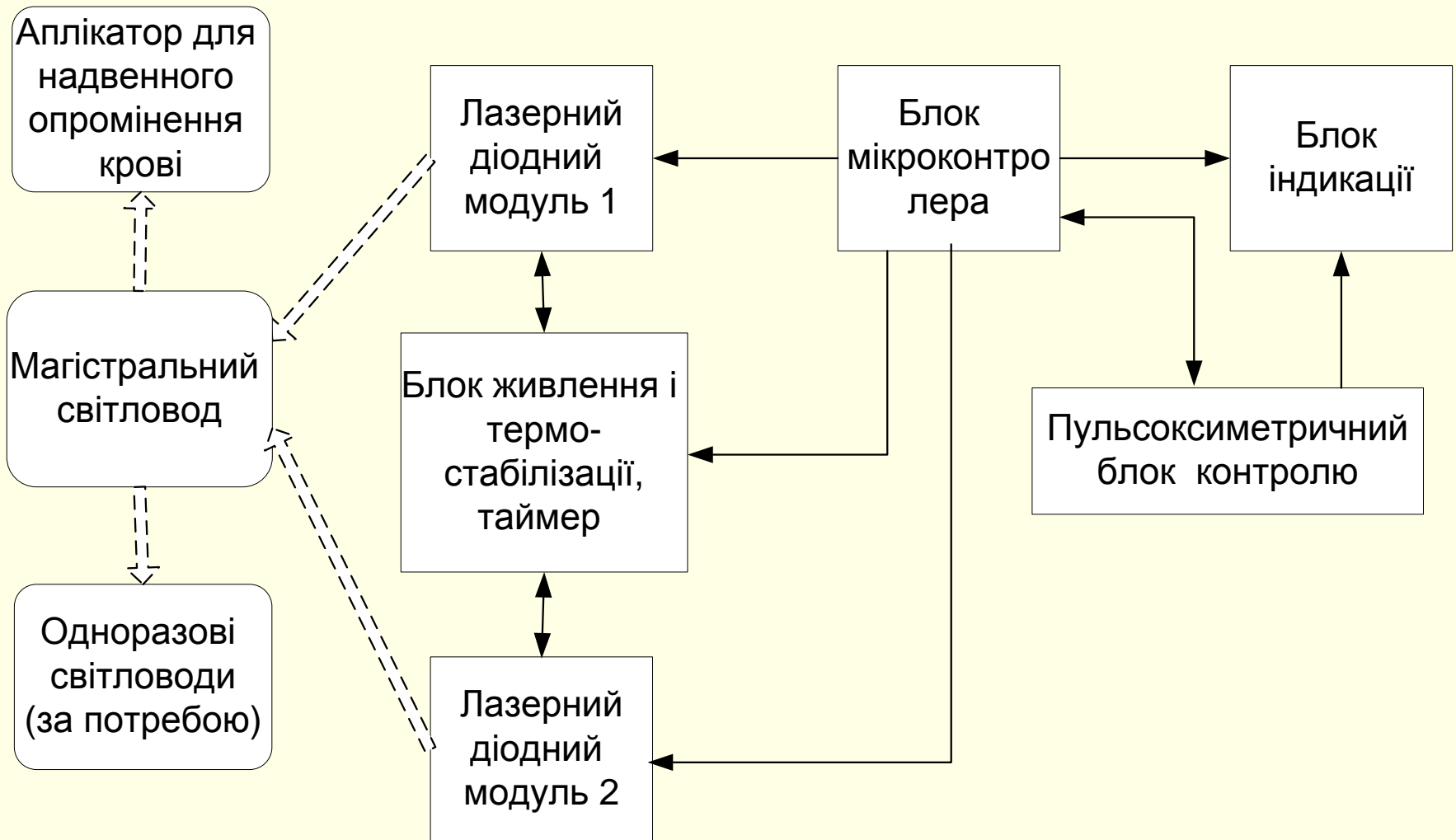
Вихідна потужність лазерів (робочий струм 0,01А):

$$P_{out} \begin{pmatrix} \lambda_1 = 0,87 \text{ мкм} \\ \lambda_1 = 0,65 \text{ мкм} \end{pmatrix} = h\nu [I_{pob} - I_n] \frac{1}{e \left( 1 + \kappa \frac{l}{\ln \frac{1}{\sqrt{R_1 R_2}}} \right)} \approx \begin{matrix} 41 \\ 29 \end{matrix} [mBm]$$

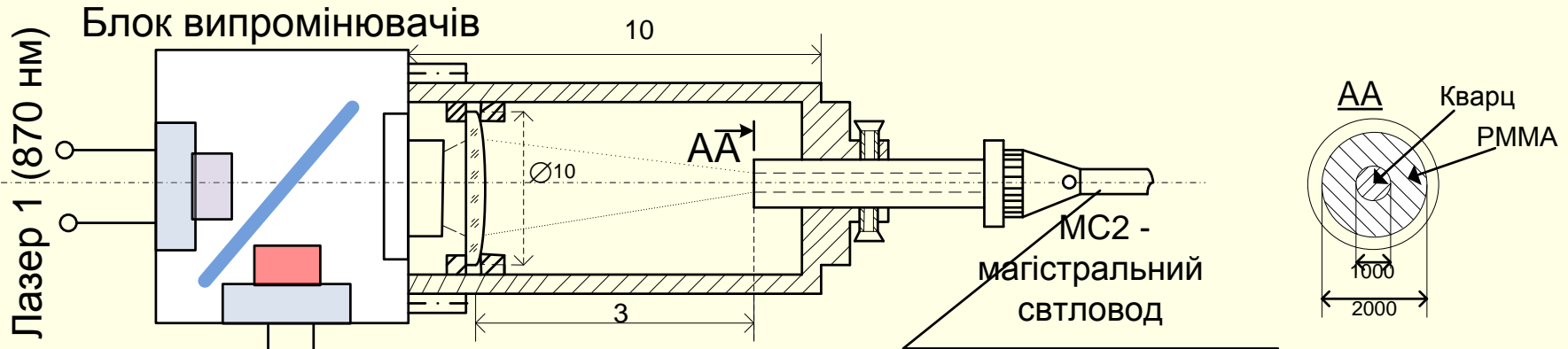
Потужності після проходження шкірного покриву для кожного з лазерів:

$$P_{out}(skin) = \begin{matrix} 0,15 \cdot 81 = 12,1 \\ 0,05 \cdot 79 = 3,95 \end{matrix} [mBm]$$

# Структурна схема пристрою лазерного опромінення крові



# Оптична схема узгодження блоку лазерних випромінювачів із магістральним волоконним світловодом



Мінімальний розмір діаметра перетяжки оптичної фокусувальної системи:

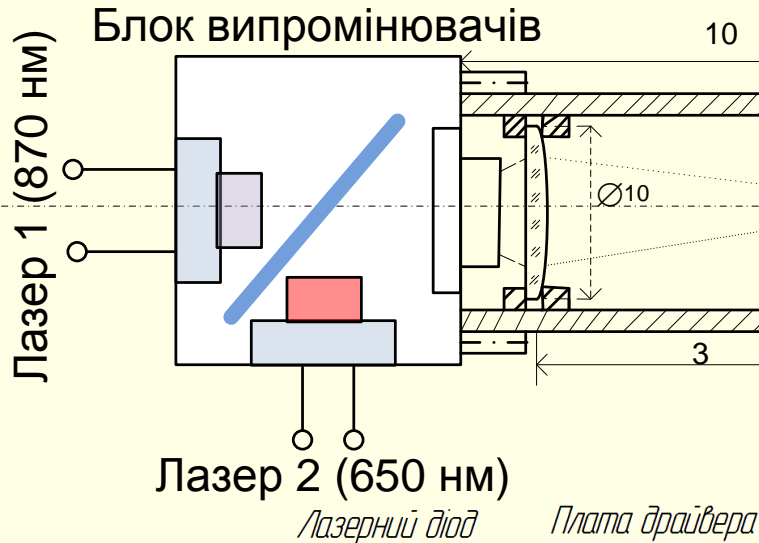
$$2 y' = \sqrt{\frac{2 \lambda R'_e}{\pi}} + 1,22 \frac{\lambda a}{D} + 2 \Delta y'$$

$$2 y' \approx 4,258 \text{ мкм}$$

Дифракційне та абераційне збільшення плями є малим.

Розмір плями фокусування лінзи на відстані 3мм

$$\delta = 2 f \text{tg } \theta = 0,922 \text{ мм}$$



# Електричні схеми драйверів лазерних випромінювачів

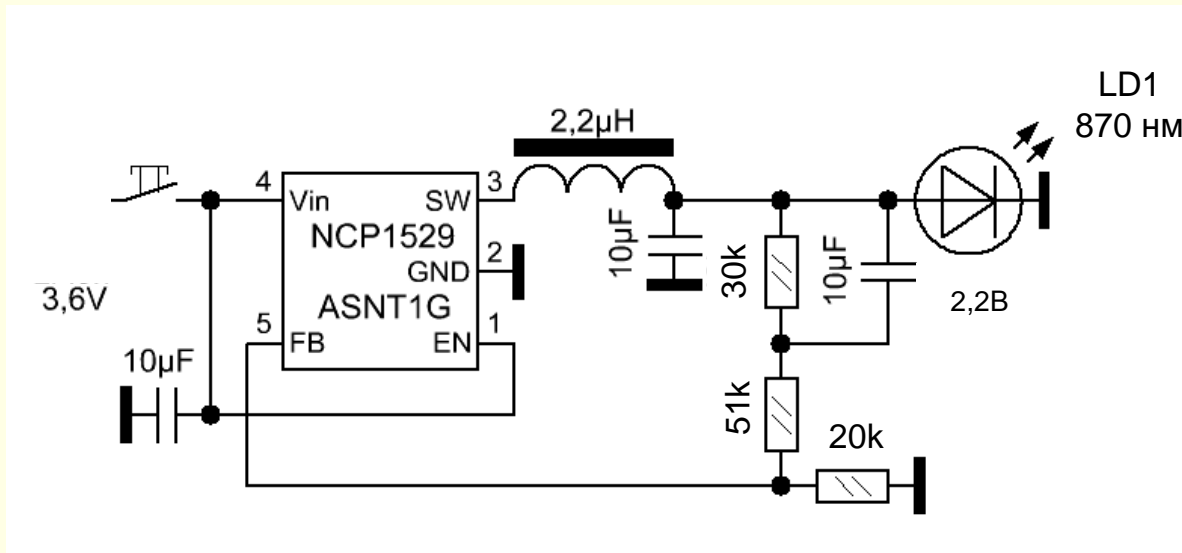


Схема драйвера лазерного модуля 1 (870 нм)

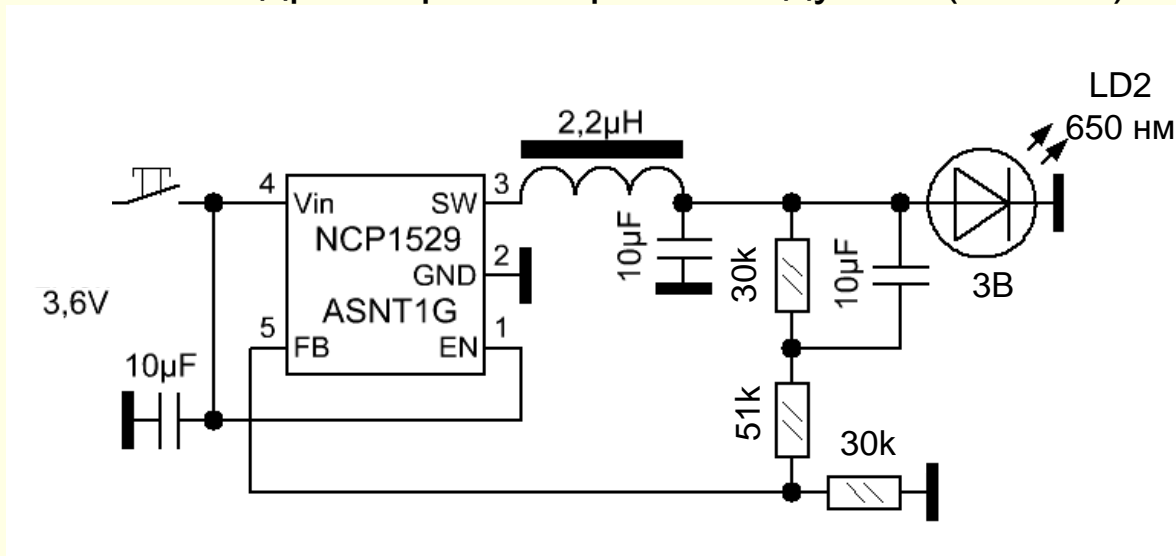
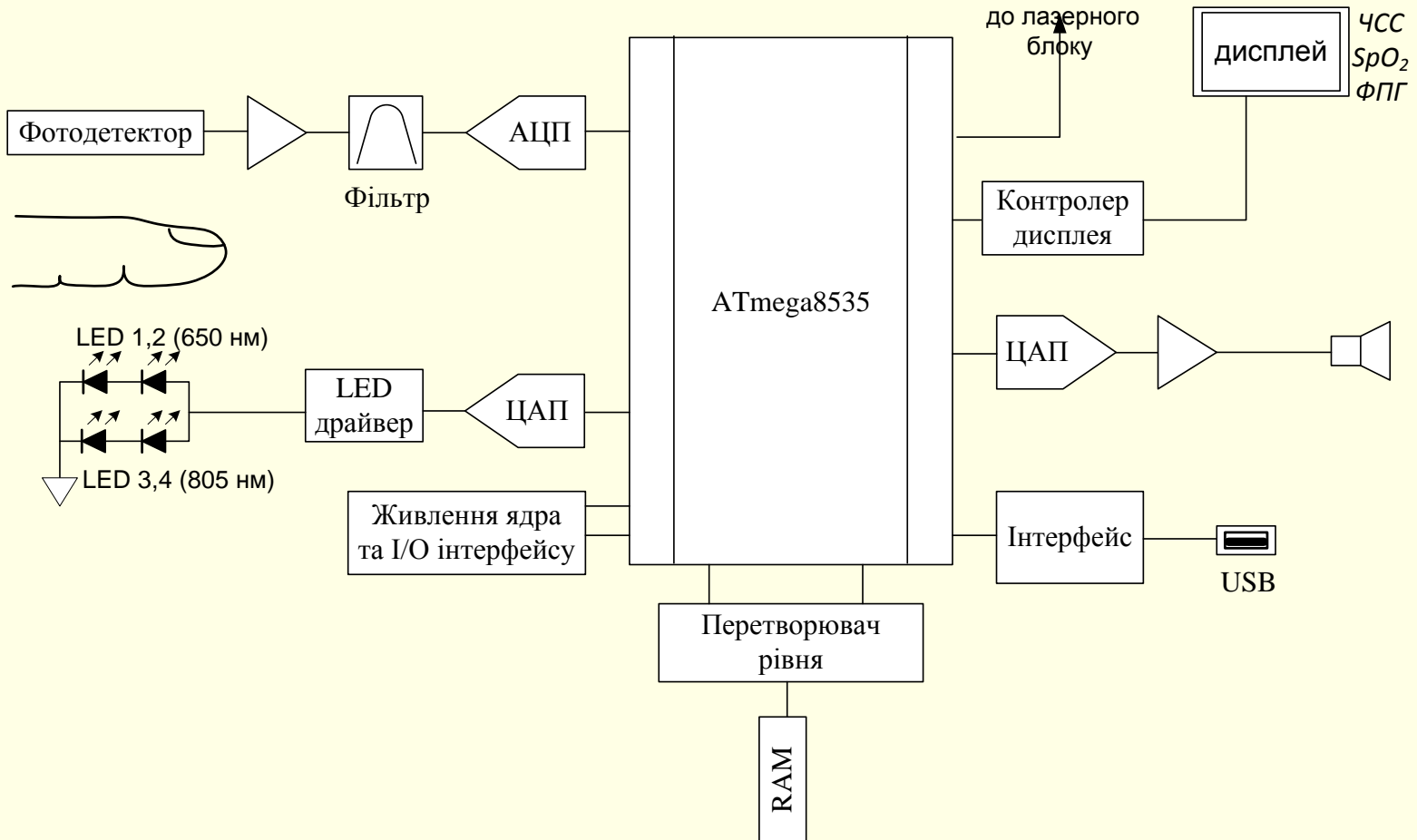


Схема драйвера лазерного модуля 2 (650 нм)

# Структурна схема пульсоксиметричного блоку контролю для адаптивного засобу лазерного опромінення крові



## Економічні розрахунки

**Загальні витрати на виконання роботи**

$$B_{\text{заг}} = 56804 \text{ (грн.)}$$

**Чистий прибуток (по рокам)**

$$\Delta\Pi_{2019} = 123000 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_{2020} = 378225 \text{ (грн.)}$$

$$\Delta\Pi_{2021} = 756450 \text{ (грн.)}$$

**Термін окупності**

$$T_{\text{ок}} = 0,94 \text{ роки}$$



## Висновки

Здійснений аналіз механізмів взаємодії лазерного випромінювання із кров'ю людини, а також сучасних методів і засобів лазерного опромінення крові, представлених на вітчизняному ринку.

Проведено аналіз методів оптичної пульсоксиметрії, які запропоновано поєднати із технологіями опромінення крові. Обґрунтовується вибір робочих спектрів для динамічного контролю показників сатурації периферичної крові у засобах оптичної пульсоксиметрії. Сформульовано медико-технічні вимоги до пристроїв лазерного опромінення крові із контролем динаміки змін у стані пацієнта.

Проведено імітаційне моделювання поширення оптичного випромінювання у шкірі, що дозволило визначити глибину проникнення і рівень потужності випромінювання усередині шкіри. Результати моделювання в цілому корелюють із даними експериментальних досліджень. Розраховано модельні характеристики лазерних випромінювачів.

Спроектовано терапевтичний засіб лазерного опромінення крові із пульсоксиметричним контролем стану пацієнта в процесі лікування, а також виконано розрахунок основних характеристик його вузлів. Виконано розрахунки гранично допустимих рівнів випромінювання лазерів та визначено заходи лазерної безпеки при роботі з пристроєм.

Запропоновані у роботі рішення дозволяють розширити функціональні можливості лазерних пристроїв для опромінення крові за рахунок більш ефективного контролю динаміки змін у показниках сатурації крові та пульсу під час процедури. Це також надає можливість використання запропонованих методів і засобів для клінічної медицини та експрес-аналізу витривалості спортсменів під час фізичних навантажень.

# ДЯКУЮ ЗА УВАГУ!

