

**Вінницький національний технічний університет**  
**Факультет та комп'ютерних систем управління і автоматики**  
**Кафедра лазерної та оптикоелектронної техніки**  
Спеціальність 152 – «Метрологія та інформаційно-вимірвальна техніка»  
спеціалізація «Лазерна техніка та оптоінформатика»

**Дипломний проект**  
**на тему:**  
**НЕОДИМОВИЙ ЛАЗЕР ДЛЯ ОБРОБКИ МЕТАЛІВ**

Студент гр. ЛТО-16сп – Мукогоренко Дмитро Сергійович

Керівник – к.т.н., доцент Тужанський С.Є.

**Мета роботи:** розширення функціональних можливостей технологічного лазера на неодимовому склі, а також підвищення ефективності лазерної обробки металів при маркуванні та інших поверхневих процесах.

**Області застосування – лазерна поверхнева обробка металів:**

- гравірування - маркування - термозміцнення - скрайбування

**Технічні характеристики технологічного лазера:**

Випромінювач – лазер на неодимовому склі

Довжина хвилі – 1064 нм;

Вихідна потужність – 0,1...100 Вт;

Частота імпульсів – 1 Гц...100Гц;

Оптична система – діаметр плями в фокусі 0,3 мм;

Швидкість переміщення деталі – 10см/сек;

Координатний стіл – 100x100мм<sup>2</sup>

Живлення – 220В, 50 Гц

## Завдання дипломного проекту

- Провести порівняльний аналіз лазерних технологій і процесів поверхневої обробки матеріалів,
- Провести класифікацію лазерних технологічних систем, здійснити порівняльний аналіз твердотільних лазерів і технологічних комплексів на їх основі для поверхневої обробки металів;
- Провести техніко-економічне обґрунтування доцільності розробки;
- Розрахувати основні енергетичні і оптичні характеристики лазера та його резонатора у складі випромінювача технологічної системи;
- Провести модельний розрахунок основних параметрів лазерної обробки при дії потужним лазерним випромінюванням на поверхню матеріалу;
- Розробити загальну схему конструкції технологічного лазера, оптичну схему випромінювача і системи фокусування;
- Провести економічні розрахунки та здійснити аналіз заходів щодо безпеки при роботі з технологічним лазером.

# Технологічні операції поверхневої лазерної обробки матеріалів

- Лазерне зміцнення поверхонь металів і сплавів;
- Лазерне скрайбування напівпровідників;
- Підгонка резисторів;
- Маркування;
- Лазерна літографія;
- Гравірування

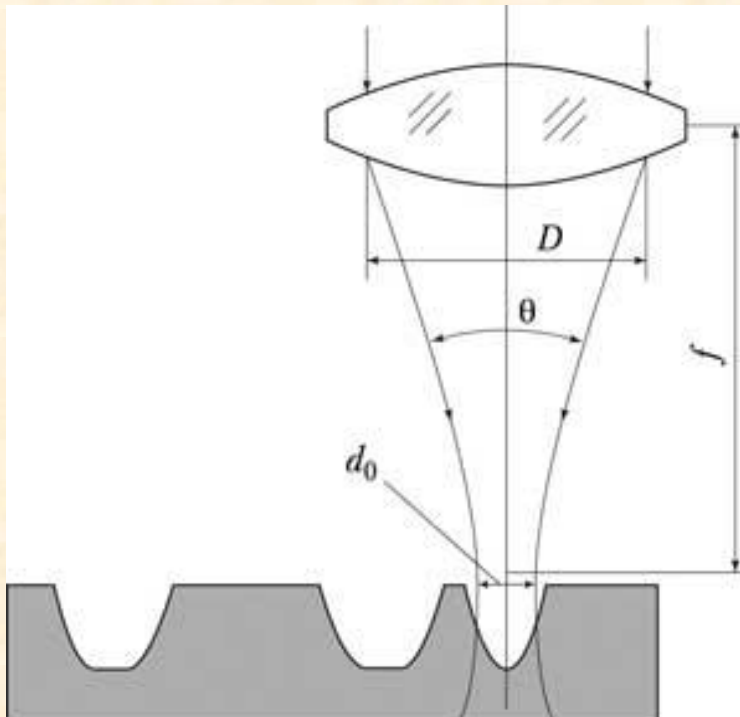


Схема прямого лазерного гравірування

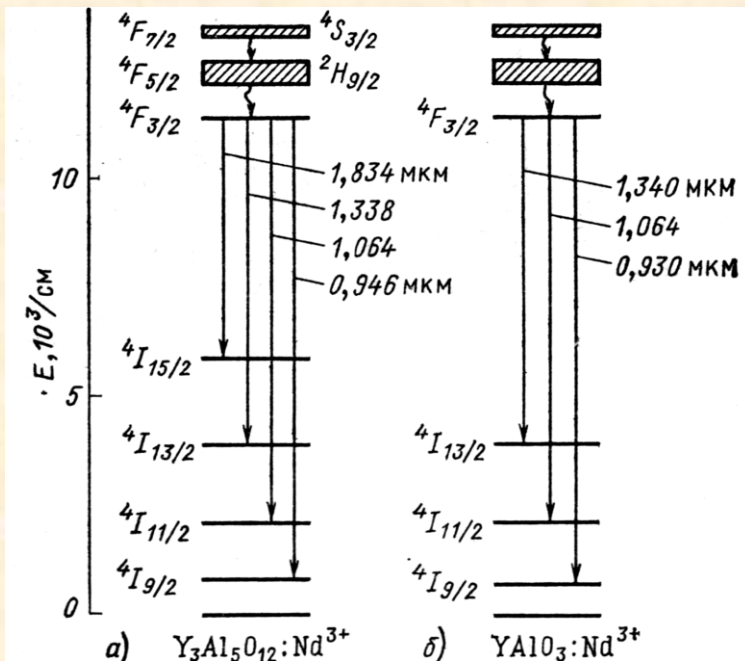
$D$  – апертура лінзи;

$f$  – фокусна відстань лінзи;

$\theta$  – розбіжність променю,

$d_0$  – діаметр плями

# Твердотільні лазери для обробки матеріалів



Спектр поглинання іонів  $Nd^{3+}$  в  $Y_3Al_5O_{12}$  (а) і  $YAlO_3$  (б) при температурі  $T=300K$

## 1) Рубіновий лазер

( $\lambda = 694,3$  нм; к.к.д = 0,1%,  $\lambda_j = 1...3$  мс,  $E_i \sim 1$  Дж;  $f = 1$  Гц);

## 2) Лазери на склі з Nd

( $\lambda = 1061$  нм - для силікатного скла і  $\lambda = 1054$  нм - для фосфатного скла;  $E_i = 10^3$  Дж;  $f = 1...2$  Гц);

## 3) ІАГ: лазер

( $\lambda = 1064$  нм; 946 нм; 1319 нм; 1833 нм; к.к.д.=2%;  $P_{сер} = 20...40$  Вт (для 1064 нм). Для неперервного режиму  $P = 65...250$  Вт (1064 нм) і  $P = 30$  Вт для імпульсного режиму (1319 нм). Параметри імпульсного режимі:  $f = 25...300$  Гц;  $\lambda_j = 8...100$  нс;  $E_i = 0,05...0,5$  Дж;  $P_i = 5...5 \times 10$  кВт.

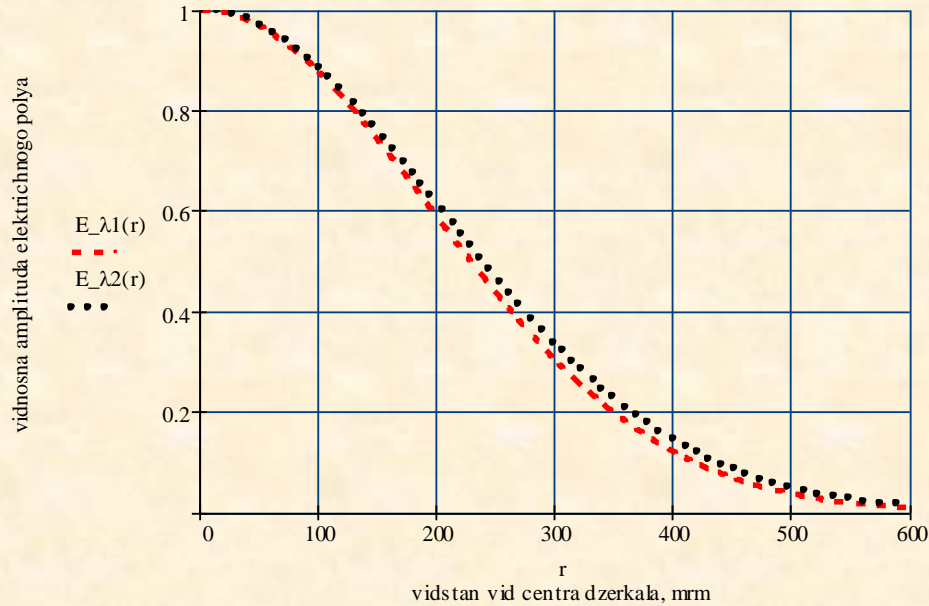
## 4) ІАГ: $Er^{3+}$ - лазер

( $\lambda = 2,94$  мкм; 3,05 мкм). Параметри є близькими до ІАГ лазера

## Порівняння характеристик технологічних лазерних комплексів

Параметр / Модель	DPA 50 (Росія)	DPA 100 (Росія)	HT YA G - M75 (Росія)	ЛТУ Інфрамарк-15 (Україна)	YAG –Т80С (Росія)	RJ YAG CX-DM- 50W (Китай)
Максимальна потужність,Вт	50	100	75	20(75)	80	50
Довжина хвилі, нм	1064,1					
Робоче поле,мм	175*175	100*100	100*100	150*150	160*160	110*110
Максимальна глибина гравіювання, мм	0,3	2,0	0,3...4	2	2	0,5
Максимальна швидкість переміщення, мм/с	9000	7000	7000	5000	1000	7000
Мінімальна ширина лінії, мм	0,1	0,15	0,015	0,05	0,06	0,02
Мінімальний символ, мм	0,3	0,4	0,3	0,3		0,25
Точність повторюваності, мм	±0,002	±0,002	±0,003	±0,001	±0,001	±0,001
Споживана потужність, кВт	1,5	1,8	5	5	7,5	3
Параметри електромережі	220В / 50Гц / 10А		220В/50Гц /20А	380В/220В (50Гц)/10А	380 В / 50Гц / 20А	220В/50Гц /15А
Частота імпульсів, кГц	0.5... 50		1...50	0,5...50	1...50	0,2...50
Керування	ПК із програмним комплексом EZ-cad			ПК із спеціалізованим ПЗ		
Спосіб охолодження	Автономний двохконтурний водяний (замкнений контур із дистильованою водою)					

# Розрахунок параметрів лазера

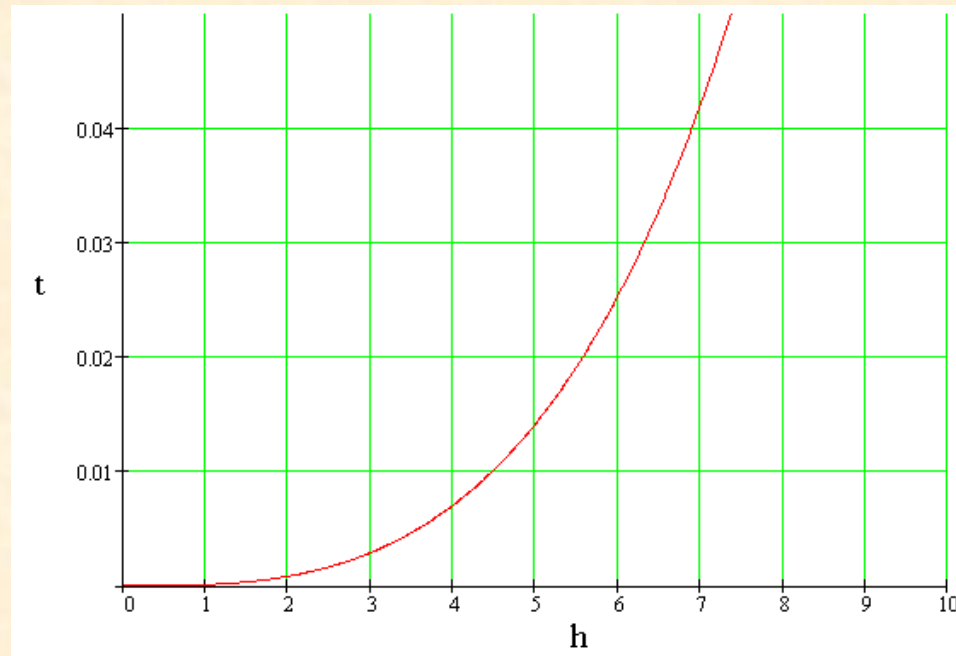
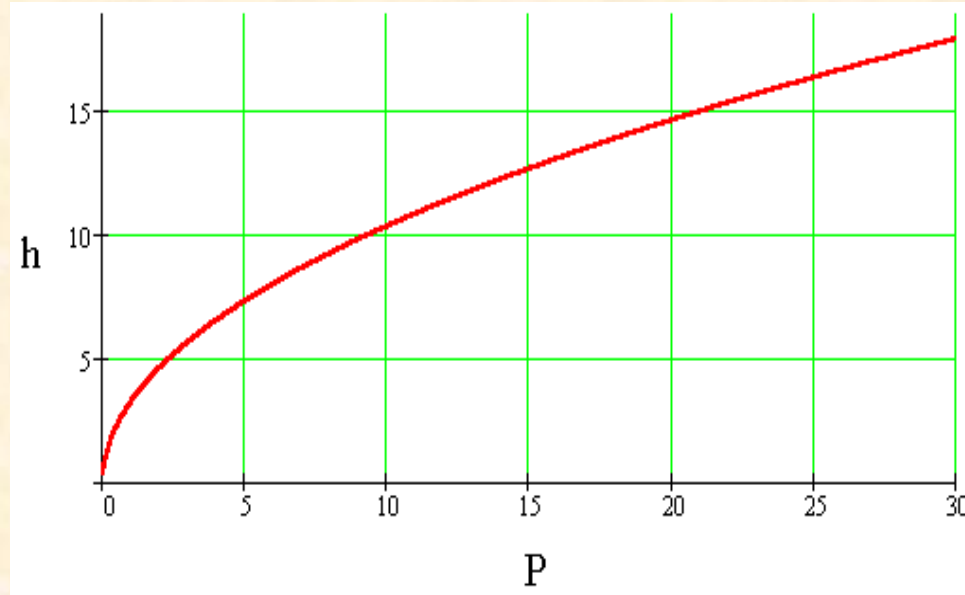


*Розподіл енергії на поверхні дзеркала*

*Вихідна енергія випромінювання*

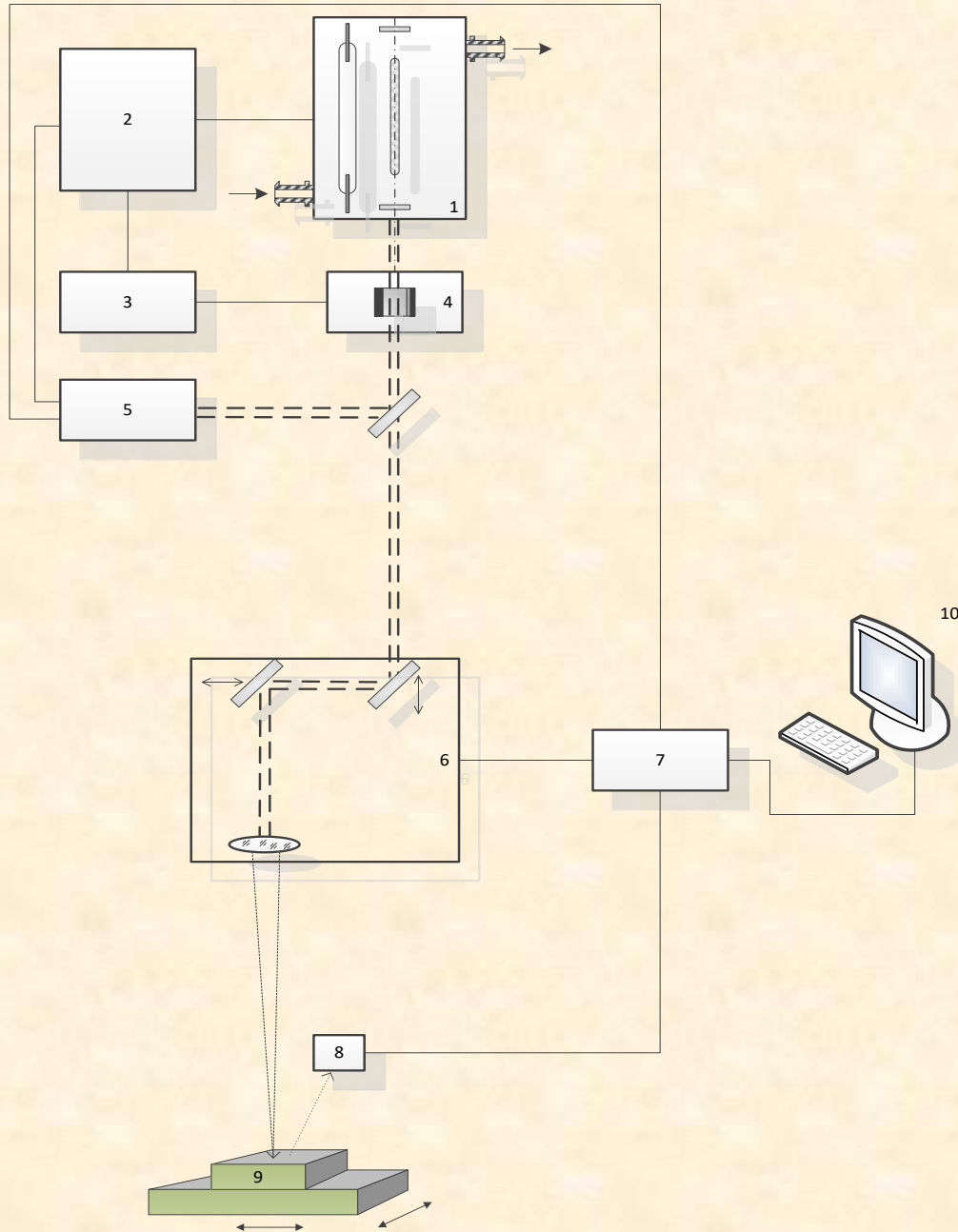
$$P = \left( \frac{h\nu_r}{h\nu_H} \right) \cdot \eta_{\text{эф}} b \eta_0 \eta_l (X - 1) E_{\text{н.пор}} m_p \frac{\tau_\lambda}{\tau_\lambda + \gamma_B} = 102,8 \text{ Вт}$$

## Модельний розрахунок параметрів лазера



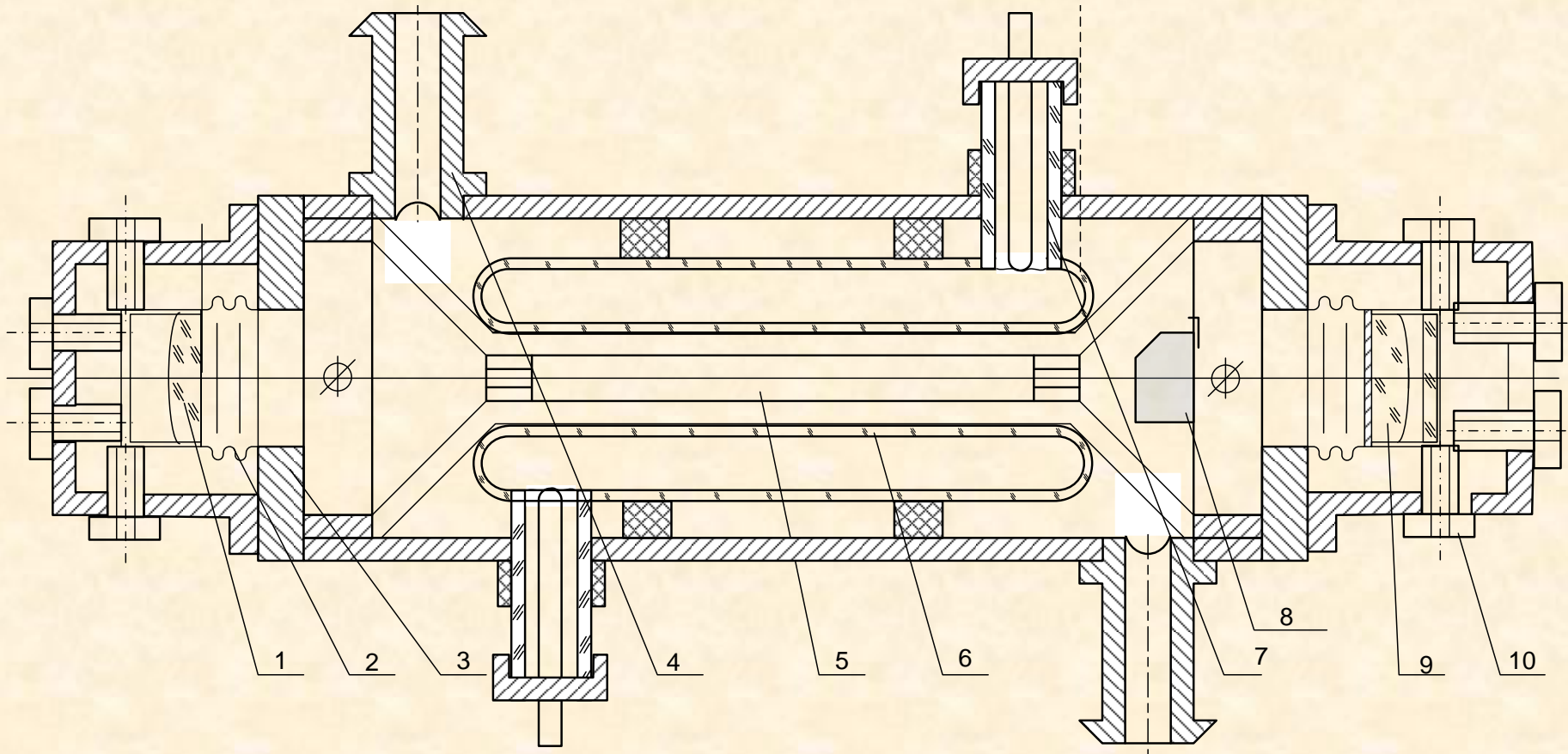


## Структурна схема технологічного лазера



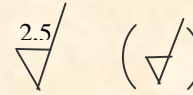
- 1 – лазер;
- 2 – блок поджигу;
- 3 – система керування;
- 4 – модулятор;
- 5 – діод зворотнього зв'язку;
- 6 – оптична система;
- 7 – система стабілізації;
- 8 – датчик енергії випромінювання;
- 9 – координатний стіл;
- 10 – блок програмного керування

## Випромінювач технологічного лазера

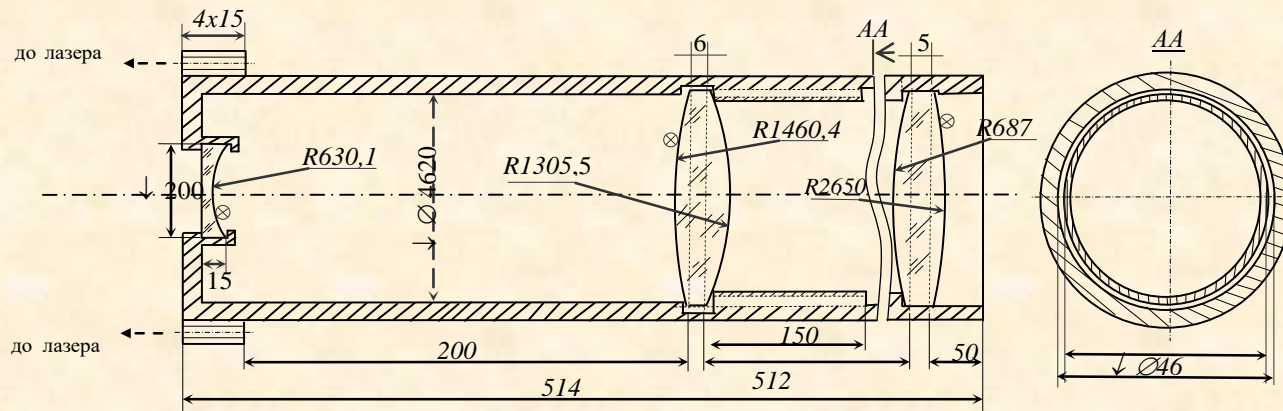


- 1, 9 – дзеркала резонатора    5 – активний елемент Nd:YAG    10 – юстувальний гвинт  
2 – сиффон    6 – відбивач  
3 – фланець    7 – лампа накачування  
4 – штуцер    8 – акустооптичний затвор

# Оптична фокусувальна система



$\Delta n_e$	3B
$\Delta(n_F - n_C)$	3B
Однорідність	3
Подв. промен.	2
$\varepsilon_a$	4
Беззвільність	1B
Пузирність	5B
$N$	3
$\Delta N$	0,3
$P$	VI
$\Delta R$	1



## Характеристики установки

Характеристики установки, що пропонується	ЛТО-100
Максимальна потужність,Вт	100
Довжина хвилі, нм	1064,1
Робоче поле,мм	100*100
Максимальна глибина гравіювання, мм	4
Максимальна швидкість переміщення, мм/с	100
Мінімальна ширина лінії, мм	0,03
Мінімальний символ, мм	0,2
Точність повторюваності, мм	±0,001
Споживана потужність, кВт	4
Параметри електромережі	380В/220В (50Гц)/10А
Частота імпульсів, кГц	0,5...100
Керування	ПК із спеціалізованим ПЗ
Спосіб охолодження	Автономний двохконтурний водяний (замкнений контур із дистильованою водою)

## ВИСНОВКИ

- Зроблено аналіз методів та засобів лазерної обробки матеріалів, основних технологічних операцій лазерної обробки, проведено класифікацію лазерних технологічних систем.
- Проведено аналіз основних типів твердотільних лазерів для обробки матеріалів, розглянуто їх спектральні та інші оптичні характеристики, особливості функціонування, умов роботи та генерації імпульсів високої потужності. Розглянуто переваги застосування лазерів на ітрій-алюмінієвому гранаті, легованого іонами неодиму. Також проведено порівняльний аналіз промислових технологічних комплексів для обробки матеріалів на основі твердотільних лазерів.
- Зроблено порівняння характеристик провідних виробників лазерних на основі Nd YAG лазерів та їх вартості, розглянуто перспективні технології на твердотільних лазерах із підвищенням ефективністю перетворення енергії накачки та ККД.
- На основі фундаментальних законів квантової та оптичної електроніки розраховано основні характеристики резонатора лазера, енергетичні характеристики лазерного випромінювача та параметри оптичної системи для фокусування випромінювання.
- Здійснено моделювання процесів взаємодії лазерного випромінювання із сталлю, зокрема глибини кратеру, який утворюється під дією потужного лазерного випромінювання, від щільності потужності та часу дії лазера.
- Запропоновано загальну схему технологічного лазера та її удосконалення за рахунок способу адаптивної дії лазерного випромінювання на речовину. Також розроблено оптичні, структурні та електричні схеми блоків і вузлів установки та опис її роботи в цілому.
- Проаналізовано умови безпеки при роботі блоку живлення лазера та економічні показники розробки нової лазерної технологічної установки.

Дякую за увагу!