

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ
НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
ІМЕНІ ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Механіко-машинобудівний інститут
Кафедра Лазерної техніки та фізико-технічних технологій

Фізика взаємодії
концентрованих потоків енергії з речовиною

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт
для студентів спеціалізації
«Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки»
спеціальності 131 Прикладна механіка

*Рекомендовано вченою радою Механіко-машинобудівного інституту НТУУ
«КПІ ім. І.Сікорського»*

Київ
НТУУ «КПІ ім. І.Сікорського»
2017

Фізика взаємодії концентрованих потоків енергії з речовиною: Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів спеціалізації «Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки» спеціальності 131 Прикладна механіка / Уклад. В.В. Романенко, О.С. Козирев, – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 48 с.

*Гриф надано вченою радою
ВПІ НТУУ «КПІ»
(протокол №__ від _____ р.)*

*Ухвалено на засіданні кафедри графіки ВПІ НТУУ «КПІ»
(протокол №__ від _____ р.)*

**Фізика взаємодії
концентрованих потоків енергії з речовиною**

Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт для студентів
спеціалізації
«Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки»
спеціальності 131 Прикладна механіка

Укладачі	Романенко В.В., к.т.н., доц. Козирев О.С., ст. викл.
Відповідальний редактор	Котляров В.П., д.т.н., проф.
Рецензент	Малафєєв Ю.М. , к.т.н., доц.

Зміст

Вступ	2
Лабораторна робота №1. Конструкція та основні елементи твердотільних і газових лазерів	3
Лабораторна робота №2. Керування енергетичними параметрами лазерної технологічної установки. ККД лазера.....	13
Лабораторна робота №3. Вивчення часових параметрів лазерного випромінювання. Вибір режимів обробки	24
Лабораторна робота №4. Визначення поглинаючої здатності лазерного випромінювання матеріалами.....	34
Лабораторна робота № 5. Вимірювання діаметра плями фокусування лазерного випромінювання та розподілу в ньому	41

Вступ

Навчальна дисципліна «Фізика взаємодії концентрованих потоків енергії з речовиною» належить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки. Навчальна дисципліна є базовою для професійних курсів, таких, як «Технологія лазерної розмірної обробки», «Технологія лазерної поверхневої обробки», «Лазерне технологічне обладнання», «Спеціальні елементи та оснащення лазерних технологічних комплексів».

Метою виконання лабораторних робіт є закріплення теоретичних знань та основних теоретичних принципів взаємодії лазерного випромінювання з речовиною та використання набутих практичних навичок у вивченні практичних курсів спеціалізації «Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки». Крім того, матеріали методичних вказівок можуть бути використані при дипломному проектуванні.

Лабораторна робота №1. Конструкція та основні елементи твердотільних і газових лазерів

Мета роботи – ознайомитись з принципом роботи, складом, конструкцією і блок схемою лазерів; вивчити конструкції випромінювачів твердотільного та газового лазерів; ознайомитись з основними елементами лазерних випромінювачів; отримати практичних навичок по обслуговуванню та догляду за елементами випромінювача лазера.

1.1 Пристрої та обладнання

Лазерна технологічна установка "Квант-15"; лазер газовий ЛГ-105; генераторна головка твердотільного лазера; лазерний стержень, лампа накачки, відбивний блок, набір дзеркал резонатора, випромінювач газового лазера; штангенциркуль, лінійка; матеріали (вата, спирт технічний, ганчірка).

1.2. Основні положення

Згідно з законами квантової механіки енергії атома може мати певний дискретний ряд значень, так званих рівнів енергії. Самий нижній рівень енергії (рис. 1.1, а) при якому енергія системи мінімальна, називається основним рівнем ε_0 , Решта рівнів ($\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_n$) відповідають більш високій енергії системи і називаються збудженими. В збудженому стані атом може знаходитись лише короткий час і прагне перейти в один із станів з меншою енергією. Таці переходи можуть здійснитись атомами довільно (спонтанно) (рис. 1.1,б) або примусово (під дією електромагнітної хвилі з частотою ν). При цьому із атома виділяється різниця енергій $\varepsilon_2 - \varepsilon_1$. Частота ν випромінюваної хвилі визначається залежністю Планка:

$$\nu = \frac{(\varepsilon_2 - \varepsilon_1)}{h} \quad (1.1)$$

де h - постійна Планка ($6,63 \cdot 10^{-34}$ Дж·с)

Зовнішня резонансна хвиля "коливає" електрон і прискорює його "падіння" на рівень з меншою енергією. Спадаюча хвиля визначає напрям поширення хвилі і підсилюється лавиноподібно (рис. 1.1,в).

Якщо атом спочатку знаходиться на якому-небудь з нижніх рівнів, то при падінні на речовину електромагнітної хвилі з частотою ν , що визначається

виразом (1.1), атом речовини перейде з більш низького рівня на більш високий (рис. 1.1,г). Різниця енергій що потрібна для переходу, береться із енергії падаючої електромагнітної хвилі. В цьому полягає процес поглинання. В дійсних умовах нижні енергетичні рівні більш щільно, ніж верхні. Отже, щоб зробити середовище підсилуючим електромагнітну хвилю, необхідно досягнути нерівноважного стану, при якому населеність верхнього рівня буде більшою населеності нижнього рівня N_1 тобто. $N_2 - N_1$. В цьому випадку прийнято говорити, що в середовищі існує інверсія населеності, маючи на увазі, що різниця населеностей $N_2 - N_1 > 0$ протилежна тій, що існує при звичайних умовах ($N_2 - N_1 < 0$). Середовище в якому відбувається інверсія населеностей, називається активним.

Процес, під дією якого атоми переводяться на верхні рівні, називається накачкою. Існує декілька рівнів накачки.

Пристрої, підсилуючі наведеним способом електромагнітну хвилю в оптичному діапазоні, називаються лазерами(англ. *laser*).

Ця назва утворилася з початкових літер англійської фрази: *light amplification by stimulated emission of radiation* - посилення світлових хвиль за допомогою вимушеного випромінювання.

При поширенні електромагнітної хвилі в активному середовищі щільність потоку фотонів в ній поступово підвищується. Однак більшість активних середовищ мають низький коефіцієнт квантового посилення. Так, для 100-кратного підвищення амплітуди хвилі підсилувач на рубіні повинен мати довжину більше 920 м. Для скорочення розмірів підсилувачів в їх конструкцію введена позитивний зворотний зв'язок. Для цього активне середовище розміщують між двома дзеркалами з високим коефіцієнтом відбиття (рис.1.2). В Цьому випадку електромагнітна хвиля, що розповсюджується в напрямку, перпендикулярному до дзеркал, буде по черзі відбиватися від них, багаторазово проходити через активне середовище, посилюючись протягом дії джерела накачування.

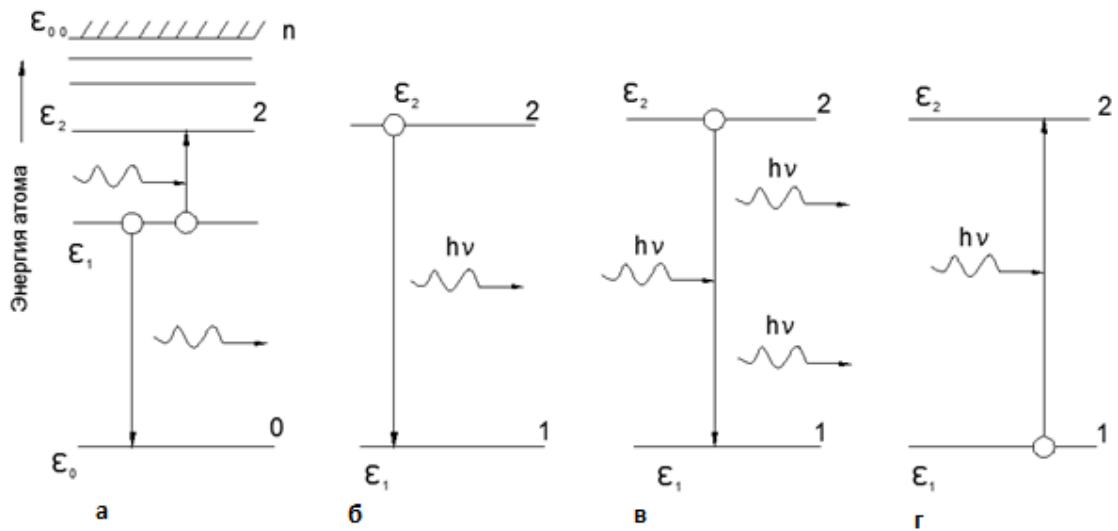


Рис.1.1

Для виведення з резонатора пучка підсиленого випромінювання використовують різні методи, що дозволяють зберегти частину енергії в резонаторі для підтримки процесу підсилення. Найчастіше для цього одне з дзеркал (вихідне) є світлоподільним. Частину випромінювання для його споживання воно пропускає, а частину повертає для подальшого посилення в резонаторі.

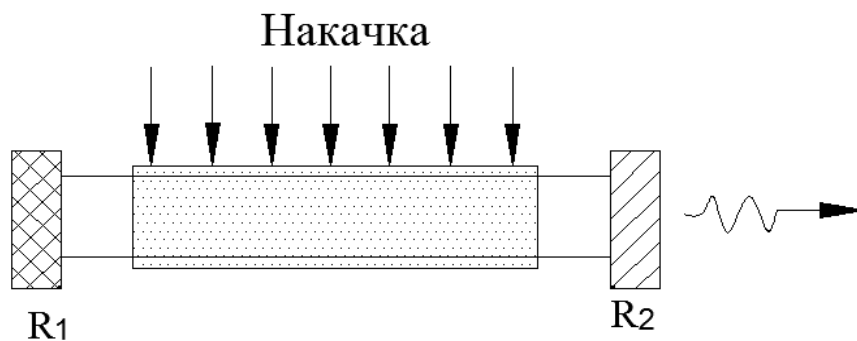


Рис.1.2

Таким чином, основними елементами оптичного квантового генератора є резонатор з вміщеним в нього активним середовищем, система накачування активного середовища, джерело живлення і схема управління роботою лазера. До додаткових пристроїв, що забезпечують функціонування лазера в

необхідному режимі, відносяться: система охолодження активного середовища та елементів системи накачування, пристрої для управління і контролю параметрів випромінювання та ін. Блок-схема лазера показана на (рис. 1.3.).

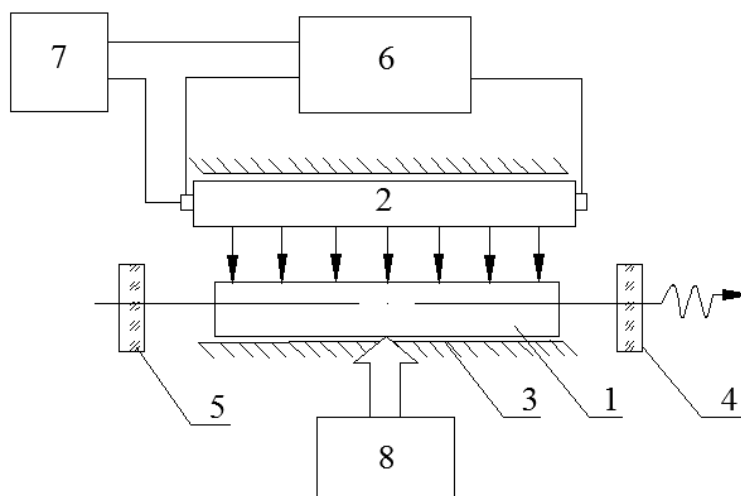


Рис.1.3

1.2.1. Активне середовище. В якості активного середовища застосовується матеріал з певними властивостями. Він повинен мати відповідні рівні для взаємодії з випромінюванням такої довжини хвилі, на якій даний матеріал здатний випускати флуоресцентне випромінювання, тобто на частотах, що задовольняють рівняння (1.1).

Повний діапазон довжин хвиль, що перекриваються лазерами, становить від 0,1 до 1000 мкм. Практично використовуються лазери з випромінюванням в діапазоні 0,3 ... 10 мкм. На практиці застосовуються такі лазери:

На штучному рубіні ($Al_2O_3 + Cr^{3+}$) з довжиною хвилі $\lambda = 0,693$ мкм;

На склі з неодимом ($\lambda = 1,06$ мкм);

На ітрій-алюмінієвому гранаті з неодимом ($\lambda = 1,06$ мкм);

На CO_2 ($\lambda = 10,6$ мкм);

Гелій-неоновий ($\lambda = 0,6328$ мкм);

Азотний ($\lambda = 0,3371$ мкм);

Аргоновий, що працює на декількох довжинах хвиль з блакитною і зеленою областями спектру;

На арсеніді галію GaAs ($\lambda = 0,85...0,9$ мкм) та ін.

За своїм агрегатним станом активні середовища можуть бути класифіковані на твердотільні, газові та рідинні. Вид активного середовища визначає конструкцію випромінювальної головки лазера, метод накачування і охолодження активного середовища.

Твердотільні активні середовища застосовуються у вигляді суцільних або порожнистих циліндрів, а також стрижнів прямокутного профілю. До газових лазерів відноситься клас генераторів, у яких в якості активного середовища використовують різні гази, їх суміші або пари металів. Лазери з рідким активним середовищем (на розчинах неорганічних сполук рідкоземельних елементів або органічних барвників) не знайшли поки широкого застосування в техніці. Обсяг газового або рідинного активного середовища формується при заповненні прозорих (непрозорих) ємностей або при прокачуванні середовища через робочий простір випромінювача. Перші називаються відпаяними, другі - прокачними системами.

1.2.2. Система накачування активного середовища. Щоб отримати вимушене випромінювання, необхідно у великій кількості частинок активного середовища створити інверсну населеність рівнів - "накачати" середовище. Це досягається трьома способами: оптичним накачуванням, електронним збудженням і резонансним перенесенням енергії.

Оптичне накачування засноване на переході електронів на більш високі енергетичні рівні при поглинанні світла від допоміжного джерела. В якості останнього частіше застосовуються лампи-спалаху або лампи безперервного горіння, в яких розрядний електричний струм формує високотемпературну плазму, що випромінює електромагнітну енергію в широкому діапазоні довжин хвиль. Щоб забезпечити ефективну передачу енергії спалаху лампи накачування активному середовищі лазера, лампу і лазерний стрижень розташовують паралельно один одному і оточують відбивачем тієї, або іншої конструкції. У сучасних генераторних голівках (див. Рис. 1.3) лампу 1 і стрижень 2 розміщують в паралельних отворах в кварцових циліндрах 3, зовнішня поверхня яких має дзеркальне відбиття (наприклад, металеву фольгу 7) або інтерференційне покриття, причому останнє селективно відбиває лише ту частку світла, яка відповідає спектру поглинання активного середовища. Оптичне накачування частіше застосовується для твердотільних і рідких активних середовищ. Метод створення інверсії заселеності прямим електронним збудженням, використовується в газових активних середовищах. Типовим прикладом такого збудження може служити електричний розряд в

газі. Електрони, що випускаються катодом, стикаються з атомами і молекулами газу, і їх кінетична енергія перетворюється в енергію збудження атомів або молекул. Іонізація розрядного проміжку здійснюється від джерела високої напруги.

Метод резонансного переносу енергії застосовується для збудження газових активних середовищ, що містять дві або більше компонент з приблизно однаковими верхніми енергетичними рівнями (наприклад, He та Ne або N_2 та CO_2). У процесі зіткнень електрони збуджують один з газів. Молекули збудженого газу, стикаючись з молекулами іншого газу, передають йому енергію збудження, тим самим, переводячи їх на верхній рівень, що і призводить до інверсії населеностей. Так, в $He-Ne$ - лазері (рис. 1.4) електронами збуджується гелій, і він передає енергію збудження неону.

Існують також газодинамічний і хімічний методи накачування, але вони поки не знайшли широкого застосування.

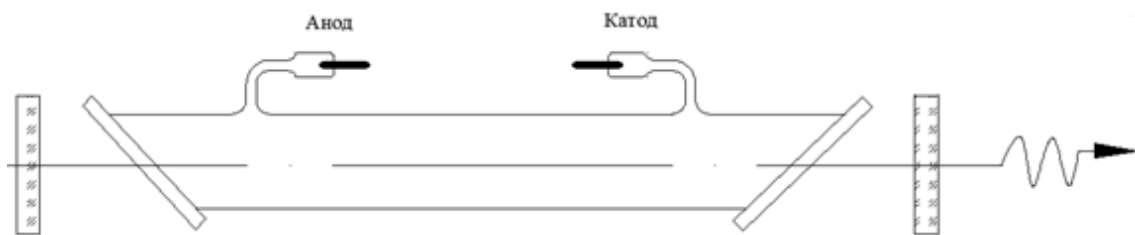


Рис.1.4

1.2.3. Конструкція генераторної головки твердотілого лазера.

У сучасних лазерах на твердому тілі генераторна головка (рис.1.5) складається з активного середовища 1, лампи накачування 2, відбивача 3, металевому корпусу 4, ущільнень 5 для герметизації оптичних елементів, кришок 6, 7 і 8 для герметизації лазерного стрижня і лампи накачки, а також штуцерів 9 для підведення і відведення холодоагенту системи охолодження. Деталі конструкції виготовлені з корозійностійкого матеріалу або покриті антикорозійними покриттями.

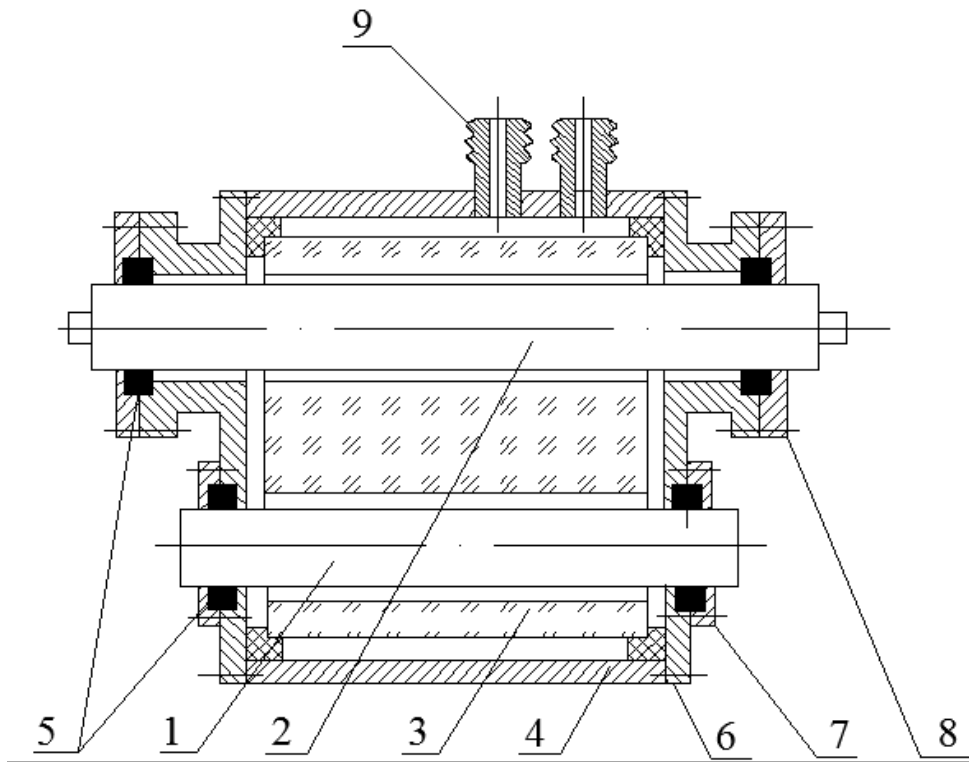


Рис.1.5

1.2.3. Резонатор (рис. 1.6) складається з двох дзеркал (плоских і сферичних або їх комбінації), на які нанесені інтерференційне покриття, розташовані на відстані, кратній півхвилі випромінювання, для забезпечення резонансу на частоті генерації. Одне з дзеркал має повністю відбиваюче покриття, інше - напівпрозоре, для відбору енергії з резонатора.

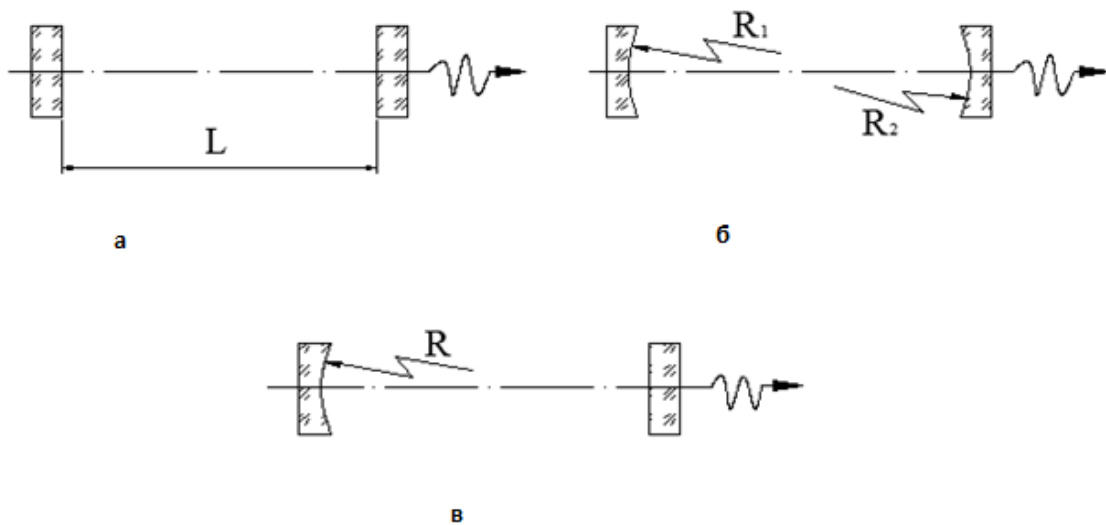


Рис.1.6

1.2.5. Джерела живлення лазерів складаються з джерела струму, випрямляча і формуючої лінії системи накачування. Блоки живлення працюють в одному з трьох режимів, який визначається максимальною напругою заряду накопичувача (1250, 2500 або 5000 В) з відповідними значеннями зарядного струму. Тип формуючої лінії і схема включення входять до її складу елементів (ємностей і індуктивностей) визначають взаємозв'язок тривалості імпульсу накачування, його енергії і форми при зміні параметрів живлячої напруги (рис. 1.7). Враховуючи, що робоча напруга ламп накачування значно нижче напруги їх самопробою, до складу системи накачування вводять схему підпалу, іонізуючу міжелектродний проміжок для формування електричної дуги робочою напругою.

1.2.6. Схема управління роботою лазера призначена для забезпечення роботи всіх елементів лазера в заданому режимі. У серійних установках застосовуються системи управління модулятором (СУМ) стандартного виконання, що входять до складу блоків живлення. СУМ забезпечує заряд накопичувальних конденсаторів в одиночному режимі, періодичному (діапазон частот 1/20 ... 20 Гц) від внутрішнього або від зовнішнього генератора тактових імпульсів, а також підпал лампи накачування в тих же режимах.

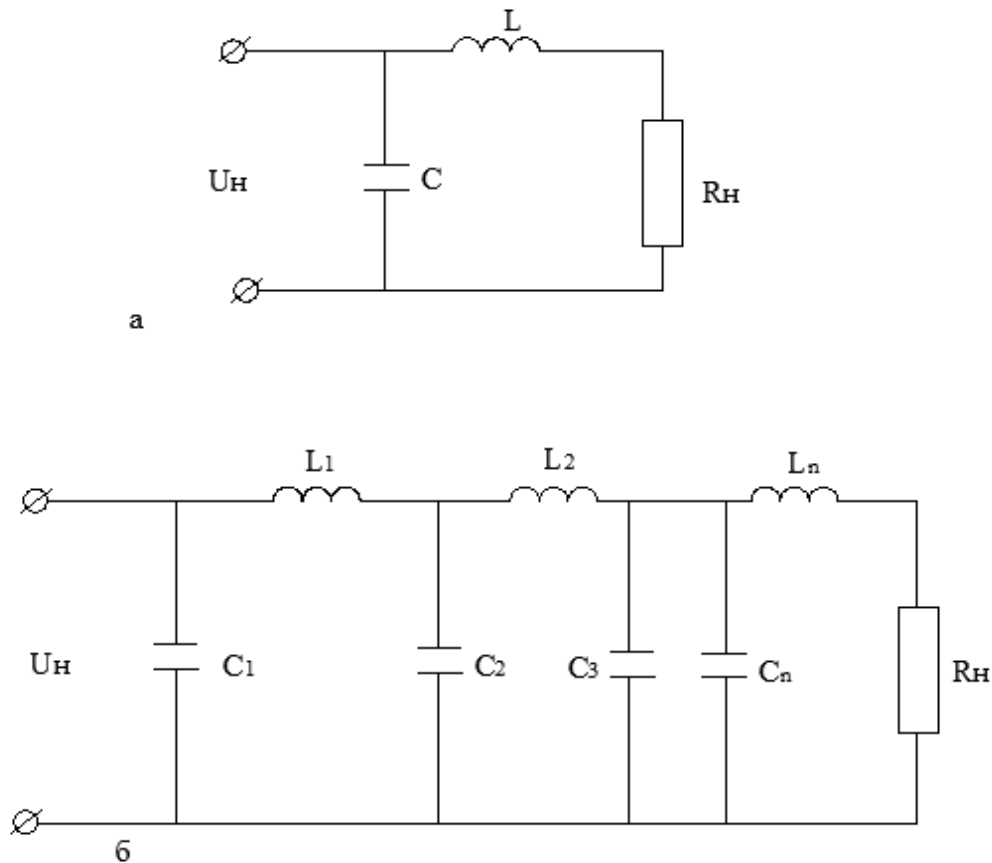


Рис.1.7

1.2.7. Система охолодження генераторної головки.

Найбільш часто в лазерах застосовується водяне охолодження, що складається, як правило, з двох контурів.

У внутрішньому контурі циркулює дистильована вода, в зовнішньому (проточному) вона охолоджується.

1.3. Порядок виконання роботи

1.3.1. Вивчити принцип дії та склад лазерів. Занести в звіт рекомендованої форми блок-схему лазерної установки. Ознайомитись з конструкцією кожного з блоків лазера на прикладі лазерної установки "Квант-16".

1.3.2. Ознайомитися з особливостями конструкції генераторної головки твердотільного лазера і записати їх у протокол.

1.3.3. Виконати регламентне обслуговування генераторної головки лазерної установки "Квант-16"; зібрати випромінювач.

1.3.4. Вивчити характеристики основних елементів випромінювачів твердотільних лазерів / стрижня, лампи, відбивача, дзеркала резонатора /, зняти їх розміри. Зобразити ескізно ці елементи в протоколі, вказавши основні розмірні характеристики.

1.3.5. Розглянути конструктивні особливості випромінювача газового *He-Ne* лазера і записати їх у протокол.

1.4. Методика виконання роботи

Перед виконанням роботи необхідно вивчити методичні вказівки до неї.

1.4.1. Регламентне обслуговування генераторної головки:

- а) розібрати генераторну головку лазерної установки "Квант 16";
- б) ганчіркою очистити елементи головки від іржі і накипу і промити проточною водою;
- в) ватою, змоченою в спирті, протерти лазерний стрижень, лампу накачування і кварцовий блок;

г) вимити торці стрижня спиртом, висушити їх і обмахнути пензлем, вимитим в спирті;

д) зібрати головку в такій послідовності: зібрати кварцовий блок 3 (див. рис. 1.5), помістити його в корпус однієї голівки 4 і закрити корпус однієї з кришок 6;

встановити лампу накачування 2 і зафіксувати її кришкою лампи 8 з ущільненням 5;

встановити лазерний стрижень I із закріпленим ущільненням 5 на одному з його кінців і зафіксувати його кришкою;

закрити генераторну головку другою кришкою 6, пропустити в її отвори кінці лампи 2 і лазерного стрижня I;

встановити кришку 8 з ущільненням 5 на інший кінець лампи накачки 2;

надіти на вільний кінець лазерного стрижня I ущільнення 5 і зафіксувати його кришкою 7;

обмахнути торці стрижня пензлем.

Лабораторна робота №2. Керування енергетичними параметрами лазерної технологічної установки. ККД лазера.

Мета роботи - вивчити склад і пристрій електричної частини лазерної технологічної установки (ЛТУ), ознайомитися з етапами перетворення енергії в лазерних установках і з методами вимірювання енергетичних параметрів лазерного випромінювання; зняти енергетичну характеристику ЛТУ залежно від параметрів схеми накачування; визначити ККД лазера при різних режимах його роботи.

2.1. Пристрої та обладнання

Лазерна технологічна установка "Квант-15"; вимірювач енергії ІЕ-3А; лазер газовий ЛГ-105.

2.2. Основні положення

Для збудження твердотільних і газових випромінювачів використовуються джерела живлення, що працюють на специфічні навантаження у вигляді газорозрядного проміжку. У газових лазерах джерело живлення безперервно збуджує активний елемент (в газорозрядній трубці), а в твердотільних лазерах - через лампи накачування. Пристрої електроживлення лазерів здійснюють імпульсне або безперервне збудження газорозрядних ламп оптичного накачування або газових активних середовищ.

Основні функціональні елементи імпульсного джерела живлення (рис. 2.1): індуктивно-ємнісний перетворювач (ІЄП) мережевої напруги в джерело струму; високовольтний випрямляч (ВВ); ділитель зворотного зв'язку (ДЗС); накопичувач енергії (НЕ); блок запалювання газорозрядного проміжку високовольтним імпульсом (БЗ); система управління (СУ); лампи накачування (ЛН).

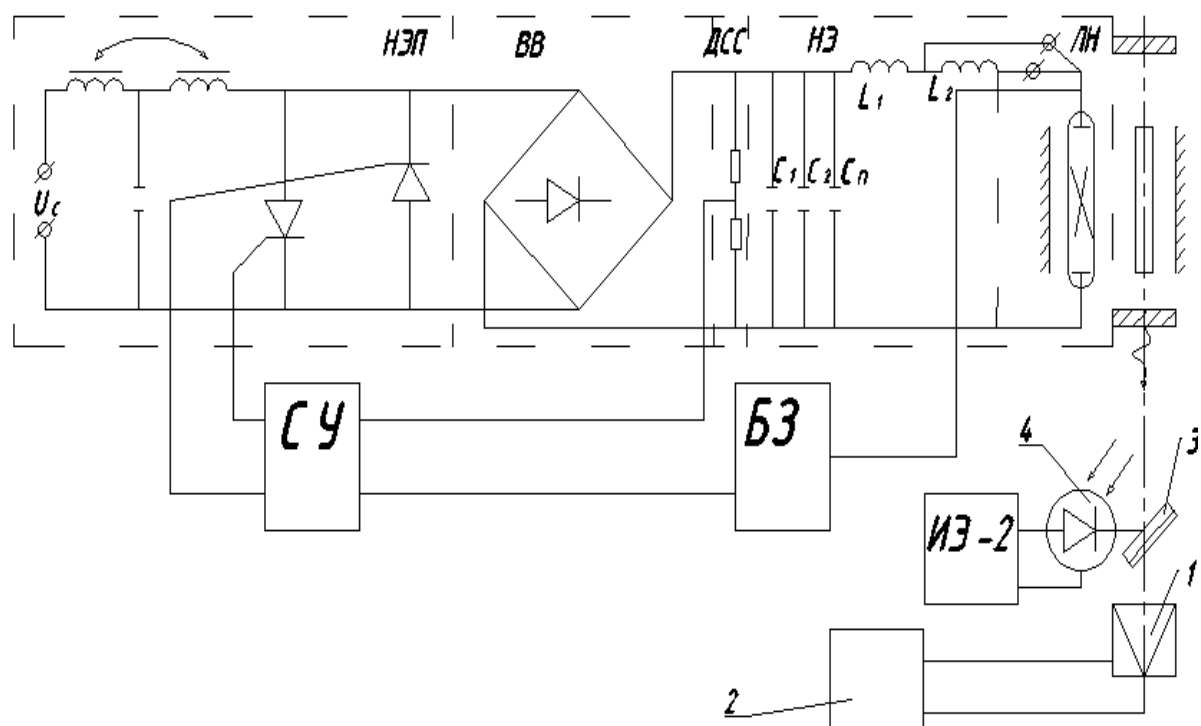


Рис. 2.1

ІЄП являє собою особливий клас пристроїв, принцип дії яких заснований на явищах резонансу в електричних ланцюгах, що містять індуктивності і ємності. Він дозволяє трансформувати електромагнітну енергію таким чином, що змінний синусоїдальний струм на його виході виходить пропорційним вхідній напрузі і незмінним за значенням незалежно від зміни опору навантаження. Паралельна тиристорна комутація дозволяє раціонально управляти зарядним ланцюгом. Нечутливість ІЄП до коротких замикань дозволяє включати паралельно виходу перетворювача тиристорний комутатор.

ВВ призначений для формування напруги постійного струму, що запасється в накопичувачі енергії, і складається з набору мостів, з'єднаних паралельно або послідовно в залежності від максимальної напруги і значення зарядного струму.

ДЗС входить до складу системи регулювання і стабілізації вихідної напруги.

Енергія електричного поля в НЭ, може бути запасена в конденсаторі, а магнітного - в котушках індуктивності. Застосовуються також електрохімічні методи накопичення електромагнітної енергії в акумуляторних батареях. Залежно від режиму роботи лазера використовуються одноконтурні

накопичувачі і накопичувачі з штучною довгою лінією (див. Рис. 1.7, робота №1). Число LC- контурів не перевищує п'яти. У ряді випадків, наприклад для лазерних технологічних установок, потрібна складна форма імпульсу випромінювання лазера, що дозволяє оптимізувати процеси зварювання, розмірної обробки матеріалів тощо. Для цієї мети застосовуються багатоконтурні схеми з різними електричними параметрами, контури в яких комутуються в певній послідовності.

У джерелах для накачування твердотільних і газових лазерів розряду накопичувача передує запалювання газорозрядного проміжку високовольтним імпульсом.

БЗ містить генератор імпульсів запалювання, високовольтний трансформатор, підключений до електроду лампи накачування, а також блокуючий конденсатор.

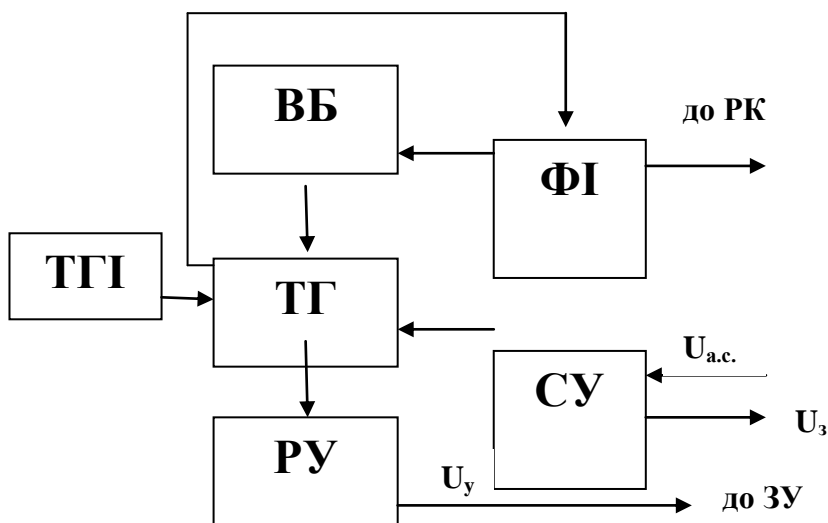


Рис 2.2

У схему СУ (рис. 2.2) входять тактовий генератор (ТГІ), тригер зарядки (ТГ), пристрій порівняння (ПП), реле управління (РУ), вузол блокування (ВБ), формувач імпульсів управління розрядним контуром (ФІ) . Схема, що задає цикл роботи джерела живлення, працює таким чином. ГТВ своїм імпульсом перекидає ТГ в стан зарядки накопичувача і видає, сигнал на РУ. Енергія мережі через ІСП і ВБ надходить на НЕ. Напруга на ємностях збільшується, і

його частина (U_{oc}) з ДОС надходить на перший вхід УС. На другий вхід УС подано напругу задатчика U_3 . В момент рівності цих напруг УС виробляє сигнал, який повертає ТГ в початковий стан "немає зарядки". Одночасно з цим на виході РУ з'являється сигнал, що скеровує ІЄП у вимкнений стан. Разом з сигналом U_y ТГ виробляє сигнал на вхід ФІ, що запускає БЗ. Повторну зарядку накопичувача можна починати не раніше, ніж деіонізується лампа накачування (~12 мс). З цією метою в СУ введений БЛ, що спрацьовує одночасно з ФІ і замикаючий ТГ на час деіонізації лампи.

Причини невисокого ККД лазера - багатоланковість процесу перетворення струму мережевої напруги в постійний струм високого потенціалу, а також відносно невисока ефективність перетворення енергії накачування в активному середовищі в енергію люмінесценції. Саме велике число етапів перетворення енергії при оптичному накачуванні пояснює істотно низький ККД лазера на твердому тілі в порівнянні з газовими, що використовують накачування прямим електронним збудженням чи резонансним перенесенням енергії: для лазерів на рубіні і гранаті ККД досягає 1% на склі з неодимом ~ 5,0...6,0% , тоді як для молекулярних лазерів на CO_2 він становить 20...25% .

У лазерних установках енергетичні параметри лазерного випромінювання вимірюють прямим або непрямим методом. Для встановлення абсолютного значення енергії випромінювання застосовується калориметричний вимірювач типу ІКТ-1М. Вимірювач енергії одиночних імпульсів ІКТ-1М є диференціальним калориметром з твердотільної поглинаючої навантаженням. Принцип роботи приладу полягає в порівнянні теплової дії лазерного випромінювання, поглиненого прийомним елементом, з тепловою дією постійного струму, що розсіюється в тому ж поглинаючому навантаженні. Нагрівання навантаження, поглиненою енергією, реєструється мідним дротяним термометром опору, включеним у мостову схему. Прибор складається з вимірювальної головки 1, блоку індикації 2 і юстировочного механізму (див. Рис. 2.1). У ЛТУ часто використовується відносний метод вимірювання енергії. Процес вимірювання при цьому заснований на відхиленні частини лазерної енергії за допомогою світлоподільної пластинки 3 на п'єзокерамічному датчику 4. З виходу датчика знімається електричний сигнал, пропорційний рівню падаючого на нього випромінювання, подається на вхід вимірювача енергії ІЕ-3А, що входить до складу ЛТУ.

2.3. Порядок виконання роботи

2.3.1 Ознайомитись з методичними вказівками до данної роботи.

2.3.2 Вивчити електричну частину ЛТУ, зобразити її в протоколі.

2.3.3 Виміряти тару вимірювача енергії ВЕ-2, по вимірювачу ІКТ-1М при різних значеннях напруги накачки. У випадку необхідності скорегувати показники ВЕ-2.

2.3.4 Зняти енергетичну характеристику установки в залежності від зміни енергії імпульса накачки.

2.3.5 Розрахувати ККД лазера для різних режимів роботи.

2.4 Методика виконання роботи



Рис 2.3

2.4.1. Увімкнути установку Квант-15.

Початкове положення органів управління перед включенням установки:

Перед включенням установки перевести всі тумблери, кнопки і лімби в положення ВИКЛ. і «0».

1. Верньєр НАПРУГА - в положенні «0».
2. Перемикач ЧАСТОТА - в положенні «0».
3. Натиснути кнопку СУМ перемикача УПРАВЛІННЯ.
4. Натиснути кнопку «X1» або «X10».
5. Установити кнопку ЖИВЛЕННЯ на блоці вимірювача енергії у віджатє положення.

Алгоритм включення установки.

Перед включенням перевірити, чи відкритий кран подачі холодної води в зовнішній контур охолодження установки.

1. Натиснути кнопку ВКЛ на панелі пульта управління верстатом, при цьому повинен включитися насос системи охолодження і загорітися лампочки МЕРЕЖА і ОХОЛОДЖЕННЯ на панелі пульта управління верстатом.
2. Встановити автоматичний вимикач системи СПК-3 в нижній задній частині в положення ВКЛ, при цьому повинні працювати вентилятори і горіти лампочки ЖИВЛЕННЯ і РУ на панелі СУМ-10А.
3. На панелі блоку СУМ-10А натиснути кнопку режиму роботи з одиночним запуском СЗ - синхронний запуск (або СР - синхронний розряд).
4. Кнопку ЧЕРГОВА ДУГА системи СПК-3.
5. Декілька разів натиснути кнопку ПУСК на блоці СУМ-10А, при цьому повинна загорітися лампочка ЧЕРГОВА ДУГА. Відпустити кнопку ЧЕРГОВА ДУГА і ЗАПУСК на блоці СУМ-10А.
6. Натиснути кнопку ЖИВЛЕННЯ на панелі індикатора енергії ІЕ-3А системи СПК-3, при цьому загоріться сигнальна лампочка. Натисканням відповідної кнопки встановити необхідний діапазон вимірювання.
7. Натиснути кнопку ВКЛ. СИЛОВА.
8. Ручкою верньєра НАПРУГА накопичувача блоку СУМ-10А встановити необхідну величину напруги на накопичувальних конденсаторах.

2.4.2. Зняти з установки предметний трьохкоординатний столик і на його місце вертикально встановити вимірювальну головку, щоб виходячи з об'єктиву лазерне випромінювання потрапляло безпосередньо в її вхідне вікно. При цьому головку виставляють так, щоб вісь лазерного променя проходила через центр вхідного вікна.

Тумблером "Мережа" включити прилад. Після прогріву приладу в продовж 10 хвилин поставити перемикач діапазонів в положення "0,05-5", Включити тумблер 7 і ручками 8 і 9 ("Грубо" і "Точно") виставити нуль приладу.

Відкалібрувати прилад, натиснувши кнопку "Калібрування". У разі зашкалювання або відхилення не на повну шкалу, обертанням осі потенціометра "ПОСИЛЕННЯ" виставити 100% шкали.

Поставити перемикач піддіапазонів в положення 3 "15-50", перемикач діапазонів - в положення "15-150". Зняти кришку з вікна вимірювальної головки. Прилад готовий до роботи.



Рис 2.4

2.4.3. Послідовно вимірювати рівень енергії по приладу ІКТ-1М. І паралельно по вимірникові установки ІЕ-3А при значеннях напруги накачування 500, 700 і 900 В. Показання обох приладів занести в табл. 2.1. Розрахувати похибка показань ІЕ-3А:

$$\delta = \frac{E_K^y - E_A^K}{E_A^K} \cdot 100\%$$

де E_K^y - вимірювача ІЕ-3А; E_A^K - показання приладу ІКТ-1М.

2.4.4 Виміряти рівень енергії по вимірникові установки ІЕ-3А для наступних значень напруги накачування: 500, 600, 700, 800 і 900 В. Данні вимірювань E_A занести до табл. 2.2.

2.4.5. Встановити індуктивність ланцюга розряду 2000 мкГн.

2.4.6. Зняти енергетичну характеристику установки по п.2.4.4. Заповнити табл.2.2.

2.4.7. побудувати залежність $E_A = f(U)$ для значень індуктивності ланки розряду. 1000 и 2000 мкГн.

2.4.8. Розрахувати значення запасеної енергії в накопичувачі для досліджуваних напруг накачування при значенні ємності накопичувача $C = 1800$ мкФ:

$$E_A = \frac{CU^2}{2}$$

Данні розрахунків занести до таблиці. 2.2.

2.4.9. Визначити ККД при наступних режимах роботи:

$$\eta = \frac{E_A}{E_H} \cdot 100\%$$

2.4.10. Побудувати залежність $\eta = f(U)$ для значень

$L_1 = 1000$ мкГн и $L_2 = 2000$ мкГн.

2.4.11. Зробити висновки по роботі

Завдання:

1. Вивчити електричну схему ЛТУ.
2. Ознайомитися з методами вимірювання енергії лазерного випромінювання.
3. Зняти енергетичну характеристику- ЛТУ при різних режимах накачування,
4. Визначити ККД лазера на різних режимах його роботи.

Блок-схема електричної частини ЛТУ

Схема абсолютного і відносного методів вимірювання лазерної енергії

Таблиці експериментальних вимірювань і розрахунків

Таблиця 2.1

$U, В$ $E_A, Дж$	500	700	900
E_A^y			
E_A^k			
$\delta \%$			

Таблиця 2.2

$U, В$		500	600	700	800	900
1000	$E_A, Дж$					
	$E_H, Дж$					
	$\eta \%$					
2000	$E_A, Дж$					
	$E_H, Дж$					
	$\eta \%$					

Енергетичні характеристики і ККД ЛТУ "Квант-16"

$E_{A,Дж}$

U,В

$\eta\%$

U,В

Висновок:

Лабораторна робота №3. Вивчення часових параметрів лазерного випромінювання. Вибір режимів обробки

Мета роботи – вивчити методи і отримати навички вимірювання часових параметрів лазерного випромінювання; встановити залежність тривалості лазерних імпульсів від параметрів ланцюга розряду; ознайомитися з особливостями постановки і вирішення задач нагріву лазерним випромінюванням для визначення діапазонів різних технологічних операцій.

3.1. Обладнання і пристрої

Лазерна установка «Квант-15»; осцилограф СІ-93; фотодатчик; блок живлення до 30 В.

3.2. Загальні положення

Існує декілька режимів генерації лазерного випромінювання, що характеризуються різною тривалістю і послідовністю процесів в робочому циклі лазера. Ці послідовності визначають частотно-часові властивості випромінювання. Певна визначена тривалість імпульсів і частота їх повтору і визначають конкретне застосування лазерів для реалізації різних технологічних операцій.

Більшість типів лазерів можуть працювати безперервно. До них відносяться більшість газових лазерів, YAG-лазери та ін.. Для твердотільних лазерів, що використовують оптичне накачування, існує декілька режимів імпульсної роботи: вільної генерації, модуляції добротності резонатора, синхронізації мод. В режимі вільної генерації тривалість імпульсу регулюється зміною тривалості імпульсу джерела накачування, тобто впливом на значення індуктивності і ємкості ланцюга живлення (рис. 3.1). Для структури таких імпульсів характерні дзвоноподібна форма з більш крутим переднім фронтом, наявність постійної складової і дещо плавний спад інтенсивності випромінювання на задній ділянці імпульсу, при чому остання частина імпульсу складає $1/3 \dots 1/2$ частину від загальної тривалості (рис. 3.2). Крім того, в більшості випадків лазерні імпульси мають тонку часову структуру. Вони складаються із пічків мікросекундної тривалості, що слідують з періодом в декілька мікросекунд, при чому частота і амплітуда пічків інтенсивності зазвичай нерівномірна. Якщо на початкових стадіях робочого циклу (при

накачуванні) добротність резонатора велика, а потім різко знижується, то велика кількість накопиченої енергії в резонаторі за короткий інтервал часу вийде через дзеркало у вигляді одиничного сплеску інтенсивності. В разі невеликої тривалості імпульсу його потужність досягає великих значень.

Для практичної реалізації режиму модуляції добротності використовується декілька типів лазерних затворів. Такі велетенські імпульси лазерного випромінювання в деяких випадках можуть мати підструктуру, яка виникає при інтерференції декількох поздовжніх мод, що входять до складу імпульсу, і виражається в ефекті синхронізації мод. Для відтворення режиму синхронізації мод необхідно поздовжні моди змусити до інтерференції, що часто відрізняються частотою і фазою. Досягається це за допомогою введення в резонатор змінних втрат (наприклад, за допомогою електростатичного модулятора). Для виділення одиничного імпульсу із цугу пічків можна використовувати формувач (електрооптичний затвор), що відкривається в момент появи серії імпульсів з синхронізованими імпульсами і залишається відкритим протягом часу, достатнього для проходження лише одного з них.

Вимірювання тривалості лазерних імпульсів найбільш простим способом здійснюється за допомогою фотодатчика, сигнали з якого поступають на вхід осцилографа. На осцилографі абсолютна величина тривалості імпульсів вимірюється на координатній сітці на його екрані (рис. 3.2), що попередньо відкалібрована. При цьому підраховується кількість поділок сітки, що входять в лазерний імпульс і перемножуються на масштаб сітки. Для усунення засвічення світловим імпульсом газорозрядної лампи накачування фотодатчик розміщують безпосередньо біля зони обробки і орієнтують так, щоб його засвічення проходило відбитим від зразка лазерним випромінюванням (див. рис. 3.1). В якості фотодатчика часто зазвичай використовують фотодіод, провідність якого змінюється в залежності від рівня освітленості, фотодіод через опір $R=1$ кОм підключається до джерела постійного струму 30 В (рис. 3.3). Для синхронізації початкового лазерного імпульсу і розгортки осцилографа останній зкомутовано з СУМом лазерної установки «Квант-15».

При розгляді процесів взаємодії випромінювання лазерів на матеріали необхідно знати наступні його характеристики: поглинену оброблюваним матеріалом частку падаючого лазерного потоку; його енергетичні параметри; тривалість лазерного імпульсу; умови фокусування лазерного випромінювання. Для підвищення ефективності впливу лазерного випромінювання на оброблюваний матеріал в зоні обробки його необхідно його сфокусувати.

Важливою характеристикою, що визначає ефективність впливу лазерного випромінювання є густина потужності, тобто потужність, що припадає на одиницю площі поверхні цілі, Вт/см²:

$$Wp = \frac{AE}{\pi r_0^2 \tau_i} \quad (3.1)$$

де A – коефіцієнт поглинання лазерного випромінювання речовиною;
 E – енергія лазерного імпульсу; r_0 - радіус плями фокусування лазерного променя; τ_i - його тривалість.

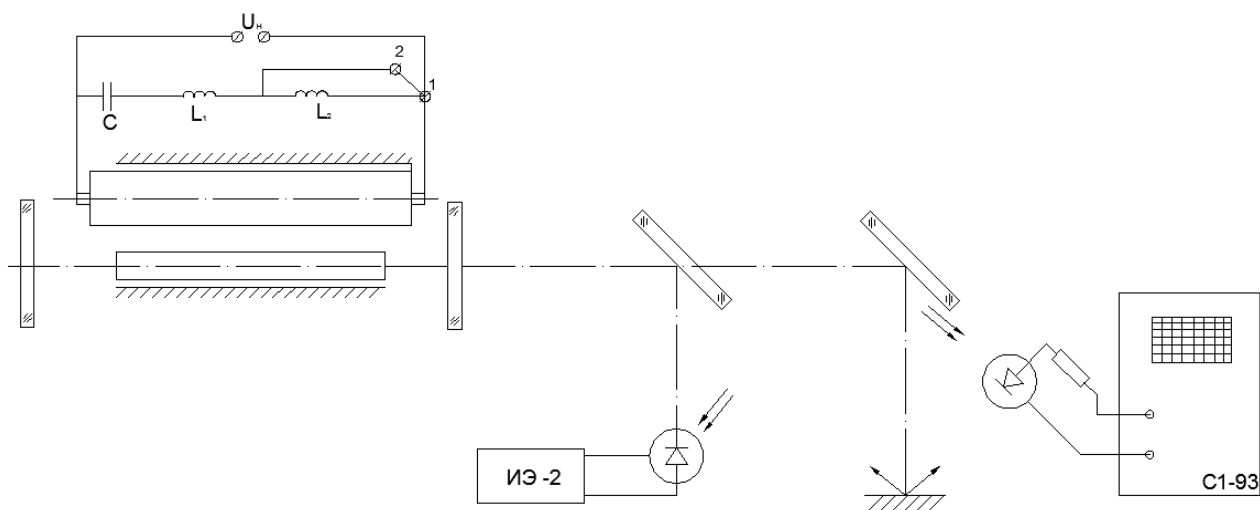


Рис. 3.1

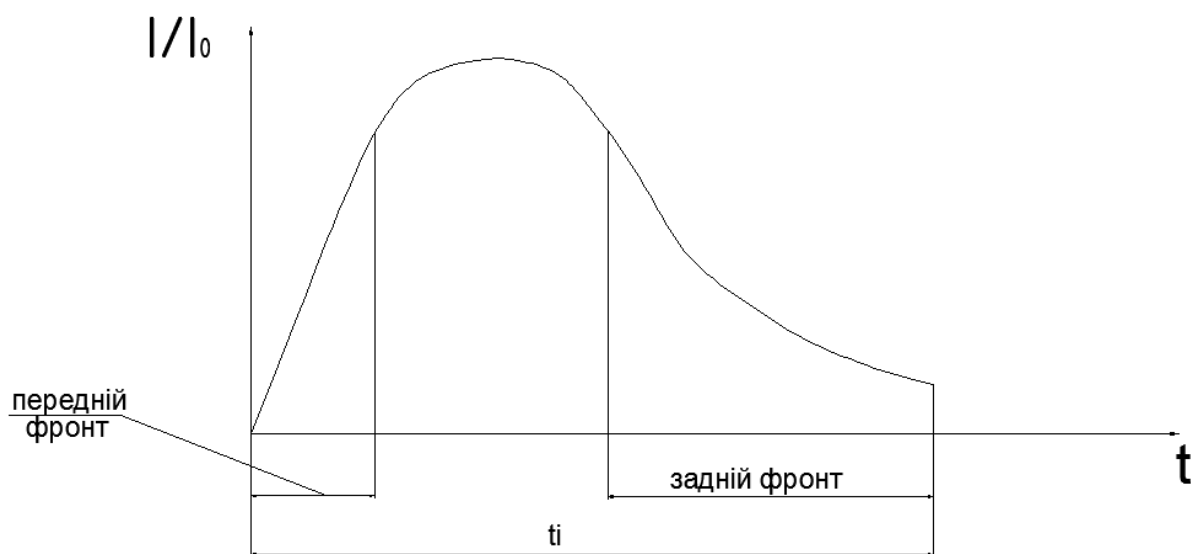


Рис. 3.2

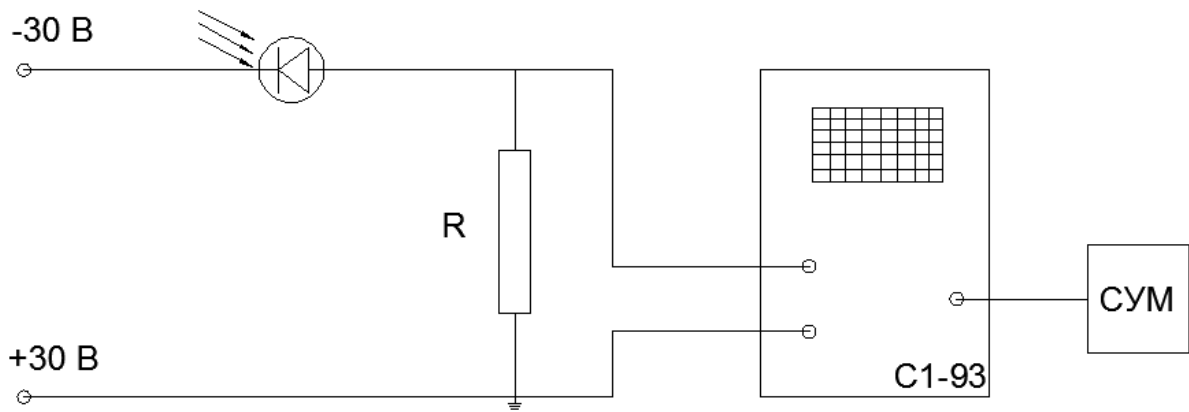


Рис. 3.3

Задача про нагрів і руйнування матеріалу лазерним випромінюванням для більшості практичних випадків розглядаються з використанням традиційних закономірностей теорії теплопровідності. Теплове джерело, еквівалентне дії лазерного променя, може бути поверхневим чи об'ємним, зосередженим чи розсіяним в залежності від теплофізичних характеристик опромінюваного матеріалу, обраної розрахункової схеми. При умові нерухомості середовища задача про нагрів напівбезкінченного тіла описується законом :

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \nabla^2 T + W_{pv}, \quad (3.2)$$

Де a - коефіцієнт температуропровідності; $\nabla^2 T$ - оператор Лапласа; W_{pv} - об'ємне джерело теплоти.

Крайові умови, тобто сукупність граничних і початкових умов, дають можливість отримати однозначне вирішення рівняння теплопровідності :

$$\frac{\partial T}{\partial t} = 0, \text{ при } z=0; T=0 \text{ при } z=\infty; T=0 \text{ при } t=0.$$

При дії лазерного променя на метали і ряд інших непрозорих середовищ джерело теплоти є поверхневим і W_{pv} в (3.2) перетворюється в нуль. При цьому змінюються граничні умови (стають граничними умовами другого роду) :

$$-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = W_p \text{ при } z=0; T=0 \text{ при } z=\infty; T=0 \text{ при } t=0 \text{ (} \lambda \text{ - коефіцієнт теплопровідності).}$$

Для спрощення постановки і вирішення задач нагріву лазерним випромінюванням вводиться поняття квазістаціонарного режиму імпульсного

опромінення. Лазерний імпульс при цьому (без урахування його пічкової структури, нахилу переднього і заднього фронту) може бути описаний ступінчастою функцією

$$Wp(\tau) = \begin{cases} 0, \tau > \tau_i; \\ Wp, \tau_i \geq \tau \geq 0; \\ 0, \tau < 0. \end{cases} \quad (3.3)$$

Основні закономірності нагріву матеріалів лазерним випромінюванням легше всього визначати на одновимірних моделях, справедливих при умові $r_0 \gg (a\tau_i)^{1/2}$, які виконуються не у всіх випадках взаємодії випромінювання із матеріалом, але суттєво, що початкові стадії нагріву можна розглядати в одновимірній постановці. Рівняння теплопровідності для напівнескінченного тіла в одновимірному випадку і його граничні умови при опроміненні металевих матеріалів мають вигляд :

$$\frac{1}{a} \frac{\partial T}{\partial t} = \frac{\partial^2 T}{\partial z^2}, \quad (3.4)$$

$$\left(-\lambda \frac{\partial T}{\partial z} = Wp \text{ при } z=0; T=0 \text{ при } z=\infty; T=0 \text{ при } t=0 \right).$$

Для квазістаціонарного режиму генерації імпульсного лазера при $\tau < \tau_i$ рішення виглядає так:

$$T(z, t) = \frac{2Wp\sqrt{at}}{\lambda} \text{ierfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{at}}\right), \quad (3.5)$$

де $\text{ierfc}(x) = \int_x^\infty \text{erfc}(x) dx$; додаткова функція інтегралу

вірогідності: $\text{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^\infty \exp(-d\xi) d\xi$, ξ - змінна інтегрування.

Для поверхні опромінюваної пластини ($z=0$) характерно

$$T(0, t) = \frac{2Wp\sqrt{at}}{\lambda\sqrt{\pi}}, \quad (3.6)$$

Таким чином, зміна температури в часі визначається не лише інтенсивністю і тривалістю взаємодії теплового джерела, а і теплопровідністю опромінюваного середовища.

Оскільки для обробки матеріалів використовується «гостре» фокусування лазерного випромінювання, так що $r_0 < (a\tau_i)^{1/2}$, значну роль відіграє тепловідвід в сторони від місця взаємодії, що сповільнює темп нагріву матеріалу. Зміна температури на осі кругового поверхневого джерела тепла радіусом r_0 з рівномірно розподіленою густиною потужності W_p підкорюється закону

$$T(z, t) = \frac{2W_p\sqrt{at}}{\lambda} \left[\operatorname{ierfc}\left(\frac{z}{2\sqrt{at}}\right) - \operatorname{ierfc}\left(\frac{\sqrt{z^2 + r_0^2}}{2\sqrt{at}}\right) \right], \quad (3.7)$$

На поверхні матеріалу ($z=0$):

$$T(0, t) = \frac{2W_p\sqrt{at}}{\lambda} \left[\frac{1}{\sqrt{\pi}} - \operatorname{ierfc}\left(\frac{r_0}{2\sqrt{at}}\right) \right]. \quad (3.8)$$

В граничному стані ($t \rightarrow \infty$) виникає стаціонарний режим нагрівання. При цьому стаціонарна температура центру плями нагріву лазерним випромінюванням

$$T_0 = \frac{2W_p r_0}{\lambda}. \quad (3.9)$$

З урахуванням залежності (3.1) отримаємо вираз для оцінки температур в центрі лазерного джерела:

$$T_0 = \frac{AE}{\lambda\pi r_0\tau_i}. \quad (3.10)$$

3.3. Порядок виконання роботи

3.3.1. Ознайомитися з методичними вказівками до роботи №2, розділ 2.4.1 «Увімкнення лазера Квант-15»

3.3.2. Виміряти енергію і тривалість лазерного випромінювання при напрузі зарядки 600, 700, 800 і 900 В і індуктивності ланцюга розряду 1000 і 2000 мкГн.

3.3.3. Розрахувати густину потужності і температуру в центрі плями опромінення для вимірних параметрів лазерного випромінювання за умови його фокусування в плями діаметром 2.5; 0.5; 0.1 мм. Визначити до якого різновиду технологічних операцій відноситься кожен з розрахованих режимів випромінювання.

3.4. Методика виконання роботи

3.4.1. Ввімкнути лазерну установку «Квант-15».

3.4.2. Ввімкнути джерело живлення ТЕС-9 фотодатчика і осцилограф СІ-93. При чому ручки керування повинні знаходитися в наступних положеннях: «Канал І» - «~»; «V/дел.» - «1» або «0.5»; «Час/дел.» - «1 ms»; «Синхронізація» - «Зовн. 1:1»; «Стаб.ВЧ» - «Ø»; «Рівень» - «Авт.»

Через 1...2 хв після увімкнення ручками «☀» і «☉» установити чітку лінію розгортки. Ручку керування «Рівень» переключити в положення «Очік.»

Подаючи лазерні імпульси з періодом не менше 15 с, ручкою «☀» досягти на екрані осцилографа стійкого засвічення лазерного імпульсу. Визначити ширину лазерного імпульсу в сантиметрах і встановити його тривалість, перемноживши його ширину на ціну поділки розгортки.

Паралельно з визначенням тривалості лазерного імпульсу визначити його енергію за допомогою вимірювача енергії ІЕ-3А, що входить до складу лазерної установки.

3.4.3. Розрахувати по (3.1) для отриманих значень енергії і тривалості імпульсу густину поглинутої лазерної потужності в зоні обробки при різних умовах фокусування лазерного променя. При цьому необхідно враховувати, що коефіцієнт поглинання лазерного випромінювання металів $A=0.1$. Отримані дані занести в табл. 3.1.

3.4.4. Обчислити температуру в центрі плями опромінення по залежності (3.10). Розрахункові дані записати в табл. 3.1. Якщо розрахункове значення температури лежить в межах 600...1500 °С, даний режим відповідає термообробці, якщо в діапазоні 1500...3000 °С – зварюванню, якщо температура більше 3000 °С – обробці отворів. В табл. 3.1 режимами обробки, що відповідають термообробці, замалювати зеленим кольором; зварюванню – синім; обробці отворів – червоним.

3.4.5. Побудувати залежність тривалості імпульсу від параметрів системи накачки лазера.

3.4.6. Зробити висновки по роботі.

Завдання:

1. Отримати навички у вимірюванні тривалості лазерних імпульсів.
2. Встановити залежність тривалості імпульсів від напруги накачки при різних значеннях індуктивності ланцюга розряду.
3. Розрахувати значення температури в заготовці для визначення реалізованих режимів обробки.

Схема експериментального стенда із вимірювальними пристроями

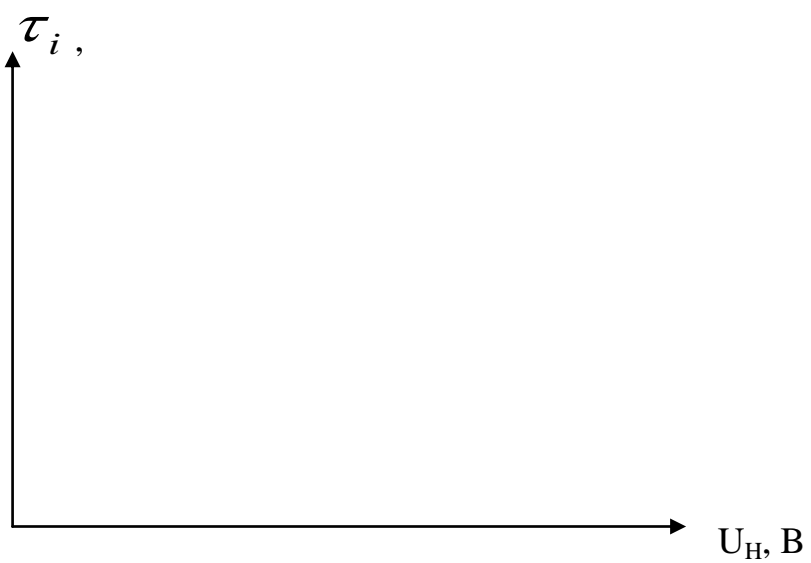
Схема вимірювання тривалості лазерного імпульсу

Таблиця експериментальних даних

Таблиця 3.1

L, мкГн	r ₀ , мм	Параметри випромінювання	U _н , В			
			600	700	800	900
1000		Е, Дж				
		τ _i , мс				
	2,5	W _p , Вт/см ²				
	0,5					
	0,1					
	2,5	Т, °С				
	0,5					
	0,1					
	2000		Е, Дж			
τ _i , мс						
2,5		W _p , Вт/см ²				
0,5						
0,1						
2,5		Т, °С				
0,5						
0,1						

Часові характеристики ЛТУ «Квант-15»



Висновки :

Лабораторна робота №4. Визначення поглинаючої здатності лазерного випромінювання матеріалами

Мета роботи – вивчити загальні закономірності процесу поглинання лазерного випромінювання матеріалами; ознайомитись з методикою визначення величини відбиваючого сигналу від випромінюваної поверхні різних матеріалів; встановити значення коефіцієнта поглинання випромінювання різними матеріалами і металами з різним поглинаючим покриттям; визначити зміну коефіцієнта відбиття лазерного випромінювання у напівсфері відбитого сигналу.

4.1 Обладнання і пристрої

ЛТУ «Квант-15», осцилограф СІ-93; столик спеціальний, фотодатчик, блок живлення ТЕС-9.

4.2 Загальні положення

При падінні лазерного випромінювання на поверхню матеріала ефективність корисного використання енергії лазерного променя залежить від відношення відбитого і поглинутого випромінювання. Відбита частина, як правило, губиться, друга - проникає на невелику глибину матеріала і при поглинанні переходить в тепло.

$$R = 1 - A \quad (4.1)$$

Де R і A - відбиваюча і поглинаюча здатність матеріала.

В металах сильне відбиття пов'язане з великим поглинанням в невеликому поверхневому слою, який називається скін-шар. Його товщина залежить від електропровідності матеріалу і становить декілька десятків нанометрів.

Основні положення взаємодіючого електромагнітного випромінювання з металами визначається із рівняння Максвелла, яке зв'язує оптичні константи металів з електромагнітною природою світла. У довгохвильовому наближенні, після розкладання рівняння Максвелла в ряд, отримаємо закон Хагена-Рубенса:

$$R_0 = 1 - 2\sqrt{\frac{\nu}{\sigma}} \quad (4.2)$$

Де R_0 – коефіцієнт відбиття, що являє собою відношення інтенсивності відбитої частини випромінювання до інтенсивності падаючого випромінювання; σ - провідність метала; ν - частота електромагнітної хвилі.

Для частоти $\nu = 2 * 10^{14} c^{-1}$ (довжина хвилі $\lambda = 10.6$ мкм, інфрачервоне випромінювання CO₂-лазера) при взаємодії з поверхнею мідного зразка $\sigma = 5 * 10^{-17} ом^{-1}$ коефіцієнт відбиття $R_0 = 1 - 1.5 * 10^{-2} = 0.985$.

З цього прикладу видно, що відбиваюча здатність метала велика, причому вона залежить від довжини хвилі випромінювання. (табл. 4.1).

Таблиця 4.1

λ , мкм	Активне середовище	Опромінений метал			
		<i>Cu</i>	<i>Al</i>	<i>Cr</i>	<i>Fe</i>
0,49	Аргон	0,437	0,952	-	-
0,69	Рубин	0,831	0,961	0,555	0,575
1,06	Неодим	0,901	0,961	0,570	0,650
10,6	CO ₂	0,985	0,989	0,930	0,950

На поглинальну спосібність значно впливає температура матеріала:

$$A = A_0 + A_1(T - T_0) \quad (4.3)$$

де A_0, T_0 - початкові значення поглинаючої здатності і температури матеріала; A_1 - швидкість змінення поглинальної здатності з підвищенням температури.

Коефіцієнт поглинання зростає при обробці металів в окисному середовищі (табл. 4.2).

Поглинальну здатність матеріала можна підвищити спеціальною обробкою поверхні: підвищенням шорсткості; нанесенням покриттів із тонких неметалічних поверхонь (фарбування); неметалевим чи металевим порошком; попереднім опроміненням лазерним променем і т.п.

Таблиця 4.2

Метал	A (для $\lambda = 10,6$ мкм)	
	полірований	окислений при 600 °C
<i>Al</i>	0,034	0,25...0,50
<i>Fe</i>	0,050	0,33...0,74
<i>Ti</i>	0,094	0,18...0,25

В зв'язку з тим, що поглинальна здатність матеріала зростає при зменшенні його електропровідності, її можна підвищити нанесенням неметалічних покриттів з високою поглинаючою здатністю. В якості таких покриттів можуть бути використані Fe₂S, Al₂O₃, Zn₃(PO₄), Mg(PO₄)₂ нанесені в процесі сульфидування, анодування, фосфатування тощо. В залежності від

товщини покриття поглинаюча здатність може підвищуватись до 80% (при покритті нержавіючої сталі шаром Fe_2S) и навіть майже до 100% (при покритті алюмінію шаром Al_2O_3 товщиною більш 3 мкм). Але в процесі опромінення таких поверхонь поглинаюча здатність різко падає, оскільки покриття вигорає.

Відбита частина лазерної енергії розсіюється в напівсфері навколишнього простору. Всю відбиту енергію умовно розділяють на дві складові – дзеркально- та дифузно- відбите випромінювання. Аналіз діаграми відбивання лазерного випромінювання ($\lambda = 1,06$ мкм) від різних зразків із сталі У8 (рис. 4.1) показав, що криві відбивання в кожному із наведених випадків можуть бути умовно поділені на дві ділянки.

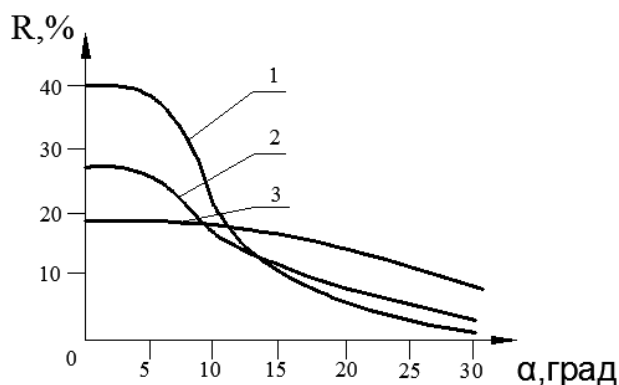


Рис.4.1

На першій коефіцієнт відбиття має відносно стабільне значення. Ця ділянка характеризує складову дзеркального відбиття. Друга ділянка відображає різке зниження інтенсивності сигналу, що характеризує дифузійне розсіювання лазерної енергії опроміненим зразком. Характер і ступінь зміни дифузної складової відбитого сигналу залежать від наявності і типу нанесеного поглинаючого покриття на поверхні деталі. Так, на рис. 4.1 крива 1 відповідає опроміненню сталі У8 без покриття, крива 2 - обробленої 2% -м спиртовим розчином пікринової кислоти; 3 – з твердоплівковим покриттям на паперовій основі. Сумарне значення коефіцієнта відбиття, отримане інтегруванням рівня сигналу по півсфері відбиття, для різних матеріалів і покриттів наведено в табл. 4.3.

Таблиця 4.3

Матеріал	Дзеркальне відбиття, %	Сумарне відбиття, %
Алюміній	44,7	60,6
Сталь У8	36,7	56,2
Сталь У8 + хімічне травлення	23,3	42,4
Сталь У8 + тверде плівкове покр.	16,7	47,9
Сталь У8 + фосфатне покриття	13,3	28,2
Сталь У8 + гуаш	10,8	31,6
Текстоліт	20,0	51,6
Кераміка	14,7	40,5

Для вимірювання поглинання матеріалами лазерного випромінювання розроблено експериментальний пристрій (рис. 4.2), що включає в себе столик 4, конструкція якого забезпечує можливість повороту досліджуваного зразка 5 в межах від 0 до 15 °, і приймач відбитого сигналу 1. Останній за допомогою схеми комутації 2 з'єднаний з аналізуючим приладом 3. В якості приймача відбитого сигналу використовується фотодіод, сигнали з якого через ланцюг інтегрування надходять на вхід осцилографа. Розгортка осцилографа синхронізована з СУМом 6 лазерної установки Квант-15. Для отримання прямого відбитого сигналу від поверхні опромінюваної деталі столик фіксується в положенні «0». При цьому вертикальна розгортка осцилографа налаштована так, що в разі опромінення дзеркала з 100%-ю відбиваючою здатністю при енергії лазерного випромінювання 10 Дж на екрані осцилографа отримуємо сигнал $J_R=10$ см заввишки. Послідовно, поглинаюча здатність матеріалу може бути оцінена:

$$A = \left(1 - \frac{J_R}{E_L}\right) 100\% \quad (4.4)$$

де J_R - інтенсивність відбитого сигналу на екрані осцилографа, см; E_L - Енергія лазерного випромінювання, Дж.

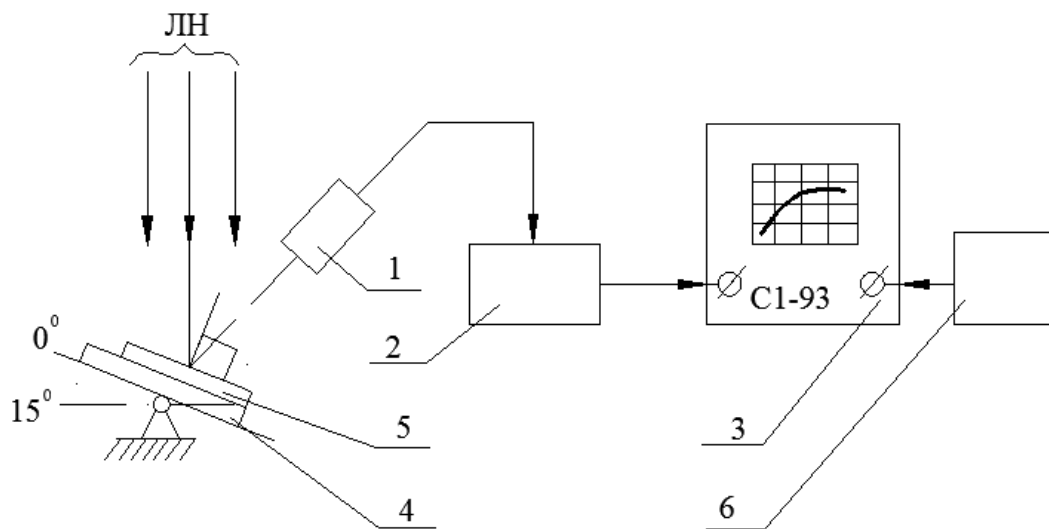


Рис.4.2

4.3. Порядок виконання роботи

4.3.1. Вивчити методичні вказівки до даної роботи.

4.3.2. Ознайомитися з пристроєм для вимірювання рівня відбиваючого сигналу від поверхні опромінення зразка, зобразити його в протоколі.

4.3.3. Визначити коефіцієнт поглинання лазерного випромінювання при опроміненні різних матеріалів і металевих зразків з різним покриттями.

4.3.4. Встановити розподіл коефіцієнта відбиття лазерного випромінювання по півсфері відбиття для різних матеріалів..

4.4. Методика виконання роботи

4.4.1. Включити, відрегулювати і налаштувати осцилограф на необхідний режим роботи,

4.4.2. Включити блок живлення і подати на фотодіод напругу 30 В.

4.4.3. Включити лазерну установку "Квант-15". Встановити енергію лазерного випромінювання 10 Дж.

4.4.4. Положити на столик пристрою (див. Рис. 4.2) полірований зразок алюмінію. Зафіксувати столик в положенні "0". На екрані осцилографа налаштувати висоту сигналу, пропорційну рівню відбитої від зразка частини лазерного випромінювання, що дорівнює 60 мм (див. Табл. 4.3). Встановлюючи по черзі на столику пристрою різні зразки, заповнити таблицю 4.4 протоколу. Коефіцієнт поглинання розрахувати за формулою (4.4).

4.4.5. Встановлюючи фіксовані значення кута нахилу столика "0°", "5°", "10°", "15°" для зразків з різних матеріалів, заповнити табл. 4.5 протоколу. Для визначення коефіцієнта відбиття при даному налаштуванні осцилографа використовувати залежність.

$$R = \frac{J_R}{E_L} 100\% \quad (4.5)$$

4.4.6. Побудувати діаграми розподілу відбиття R лазерного випромінювання по півсфері для різних матеріалів.

4.4.7. Зробити висновки по роботі.

Завдання:

1. Вивчити особливості поглинання лазерного випромінювання матеріалами.
2. Ознайомитися з роботою пристрою для вимірювання поглинальної здатності матеріалів.
3. Визначити коефіцієнти поглинання для різних матеріалів та покриттів.
4. Побудувати діаграму розподілу відбитого сигналу для різних матеріалів.

Таблиця 4.4

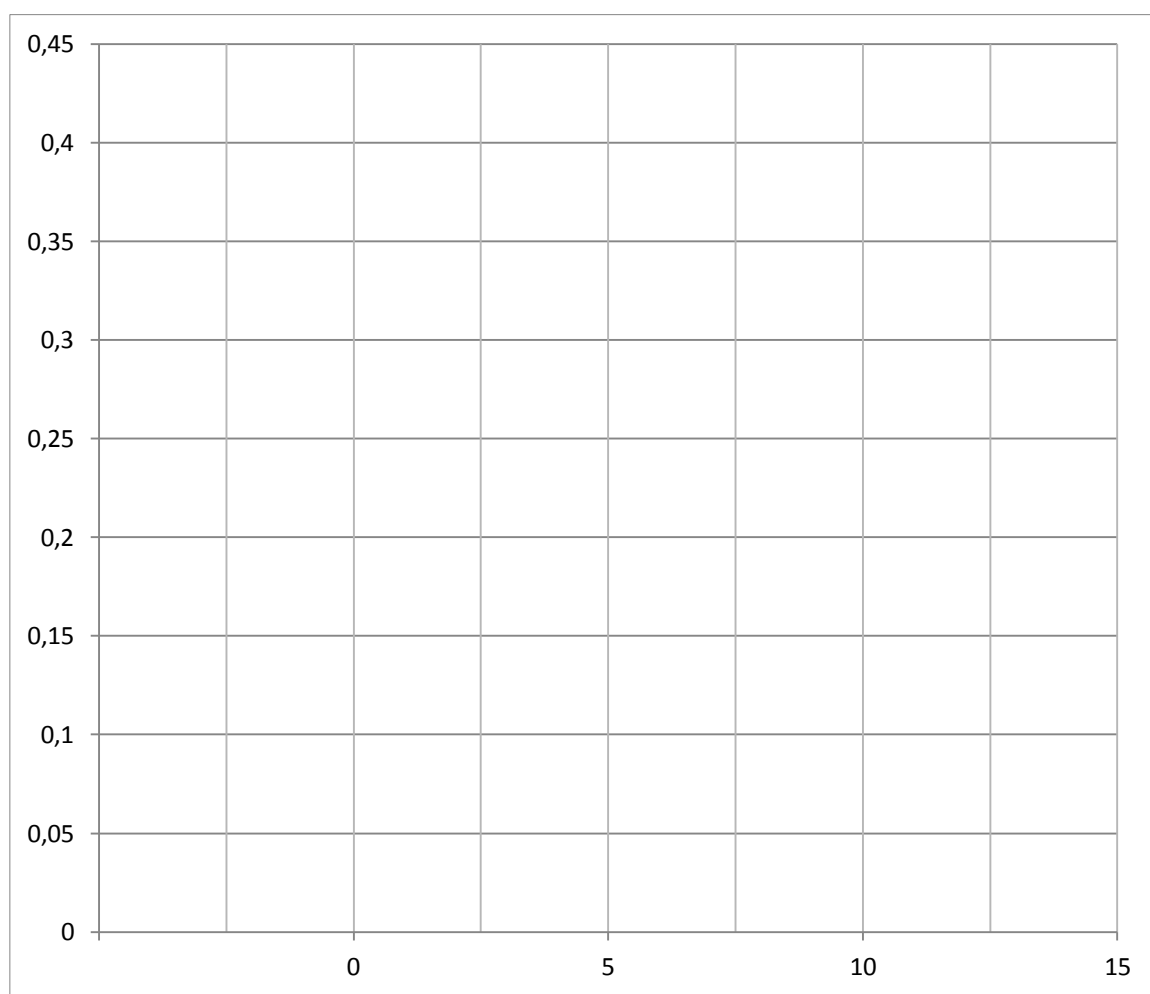
Матеріал	Покриття	Коефіцієнт поглинання лазерного випромінювання		
		E_L , Дж	J_R , Дж	A, %
Алюміній	-			
Алюміній	Травлення			
Алюміній	Анодіровання			
Нерж. сталь	-			
То же	Травлення			
Сталь 45	Фосфатіровання			
Сталь 45	Окислення при 600			
Текстолит	-			
Папір	-			

Таблиця 4.5

Матеріал, покриття	0			5			10			15		
	E _L , Дж	J _R , Дж	A, %	E _L , Дж	J _R , Дж	A, %	E _L , Дж	J _R , Дж	A, %	E _L , Дж	J _R , Дж	A, %
Нержавіюча сталь без покриття												
Нержавіюча сталь + травлення												
Папір												

Діаграма розподілення відбитого сигналу

R, %



Висновки:

α, °

Лабораторна робота № 5. Вимірювання діаметра плями фокусування лазерного випромінювання та розподілу в ньому

Мета роботи - вивчити характеристики лазерного джерела, нормальний і рівномірний розподіл інтенсивності в сфокусованому лазерному пучку; ознайомитися з методикою вимірювання розподілу інтенсивності по діаметру лазерного пучка; виміряти розподіл інтенсивності в сфокусованому і розфокусованому лазерному промені; підібрати теоретичний закон розподілу, що описує різні умови фокусування, і оцінити середню густину потужності в кожному з виміряних пучків.

5.1. Обладнання та пристрої

Лазерна технологічна установка "Квант-15"; осцилограф С1-93; столик спеціальний з фіксованим горизонтальним переміщенням; блок комутації; блок живлення ТЕС-9 до 30 В; фотодатчик

5.2. Загальні положення

Для створення на поверхні опромінюється матеріалу необхідної щільності потужності лазерне випромінювання необхідно фокусувати. Для цих цілей використовуються оптичні системи, що працюють як на пропускання (лінзи, об'єктиви), так і на відображення (різні дзеркала) випромінювання. Для фокусування випромінювання краще використовувати сферичні лінзи. Діапазон фокусних відстаней фокусуючи лінз, що застосовуються в технологічному обладнанні, зазвичай лежить в межах 20 ... 300 мм, причому використання менших фокусних відстаней важке через занадто малий робочий відрізок і великої сферичної аберації лінзи. У табл. 5.1 наведені основні характеристики оптичних матеріалів для виготовлення лінз для газових і твердотільних лазерів.

Таблиця 5.1

Оптичний матеріал	λ , мкм	Коефіцієнт заломлення	Коефіцієнт пропускання, %
1	2	3	4
Кварц	1,06	1,5	98
Стекло	1,06	1,5	99
<i>KCl, NaCl</i>	10,6	1,5	92
<i>Ge</i>	10,6	4	80...85
<i>GaAs</i>	10,6	2,4	70
<i>ZnSe</i>	10,6	2,4	70

Як видно з табл. 5.1, в області видимого випромінювання і в близькій до інфрачервоної використовують кварцові і скляні лінзи; в інфрачервоної області спектра - лінзи з монокристалів KCl, NaCl, Ge, GaAs, ZnSe. Істотний недолік оптики, використовуваної для фокусування інфрачервоного випромінювання, - трудомісткість її виготовлення. Монокристали з KCl і NaCl мають високий коефіцієнт пропускання випромінювання, але дуже гігроскопічні і тендітні, що вимагає особливих умов їх експлуатації. Кристали GaAs, ZnSe більш довговічні, простіше у виготовленні, але мають менший коефіцієнт пропускання. Основною характеристикою фокусної лінзи є фокусна відстань F , яка визначається конструкцією лінзи (радіусами кривизни її робочих поверхонь) і коефіцієнтом заломлення матеріалу лінзи n . Для зменшення сферичної аберації рекомендується використовувати такі лінзи: плоско-випукла, встановлені опуклою частиною назустріч променю, для $n = 1,5$; випукло-увігнуті для $n = 2,4$ і 4

Для оцінки значень щільності потужності, досяжних при роботі з лазерним випромінюванням, необхідно визначити розміри плями, в котре може бути сфокусований пучок. Сфокусувати пучок в математичну точку не можна, завжди існує мінімально досяжний розмір плями, який визначається дифракцією. Якщо розбіжність пучка визначається дифракційними ефектами, що виникають на вихідній апертурі лазера, то $r_0 = F\Theta$ (Θ - розбіжність лазерного випромінювання).

При розгляді процесів впливу випромінювання лазера на матеріали необхідно знати наступні його характеристики: поглинену частку падаючого потоку; максимальну густину поглиненої потужності випромінювання; тривалість імпульсу (для імпульсного випромінювання); просторовий розподіл щільності потужності. Внаслідок наявної просторово-часової неоднорідності лазерних пучків їх слід замінювати більш простими закономірностями. Для опису розподілу потужності сфокусованого випромінювання доцільно використовувати закон нормального розподілу (Гауса). Таке наближення дозволяє спростити рішення теплових завдань. Разом з тим експериментальні досліді підтверджують близькість просторового розподілу лазерних джерел до закону нормального розподілу. Однак у розрахунках часто вдаються і до рівномірного розподілу лазерних джерел в межах плями впливу. Розглянемо і порівняємо їх. Для гауссовського розподілу справедливо

$$W_p(r) = W_{p0} \cdot e^{-kr^2} \quad (5.1)$$

W_{p0} - максимальна інтенсивність на осі джерела (рис.5.1а);

k - Коефіцієнт зосередженості, що визначає ступінь "гостроти" джерела

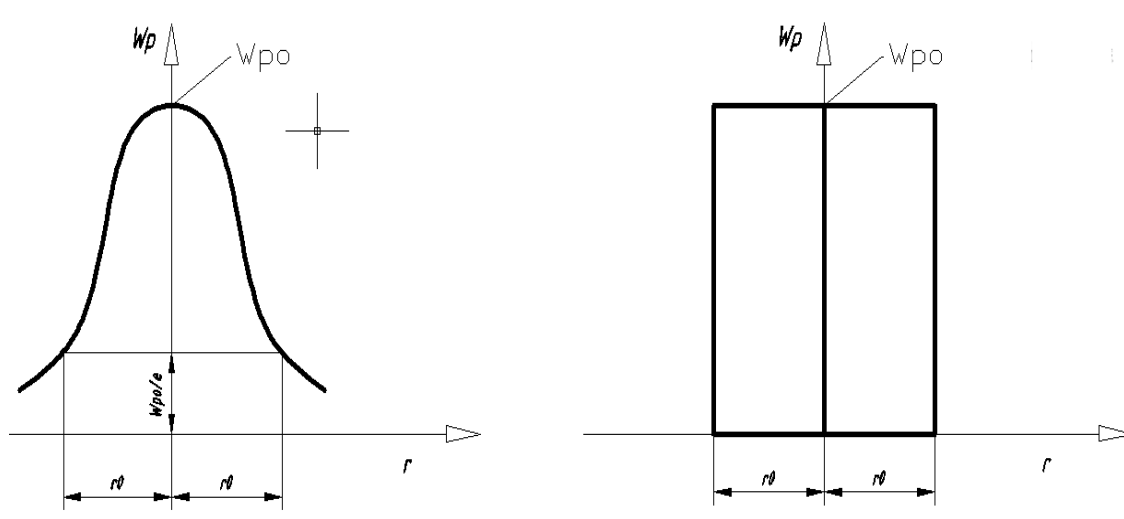


Рис 5.1

Для рівномірного розподілу справедливо (рис. 5.1б)

$$W_p(r) = \begin{cases} W_{p0}, & r_0 \geq r > 0 \\ 0, & r > r_0. \end{cases} \quad (5.2)$$

Зв'язок між (5.1) і (5.2) може бути встановлена через коефіцієнт зосередженості в законі Гауса:

$$r_0 = Bk^{-1/2} \quad (5.3)$$

При цьому $B = 1$, якщо відстань від центру до периферії пучка, де густина потужності падає в e раз. Математичні оцінки показують, що при цьому в діаметр $2r_0$ входить 86,5% потужності випромінювання. Розрахунки також показують, що в зоні дії лазерного випромінювання, де $W_p \geq 10^6$ Вт/см², різниця між цими типами розподілу по осі симетрії джерела не перевищує 10% і істотно зростає для $r \geq r_0$.

Для вимірювання діаметра плями фокусування лазерного випромінювання та розподілу в ньому було розроблено експериментальний пристрій (рис. 5.2), що включає в себе столик 4 з можливістю вертикального і горизонтального переміщення за допомогою мікрометричного гвинта 7 зі шкалою на ньому. У

верхній частині столу закріплена діафрагма 3 з отвором $\varnothing 0,1$ мм. Частина лазерного випромінювання 1, що вирізається діафрагмою, фокується лінзою 2 через атенюатор 5, що послабляє рівень сигналу до необхідної для вимірювань величини, надходить на приймач випромінювання 6. Останній з'єднаний з блоком живлення 10 і через схему комутації 8 з аналізуючим приладом 9. Як приймач випромінювання використовується фотодіод. Схема комутації дозволяє подавати на вхід осцилографа або інтегруючий, або прямий сигнал, пропорційний тривалості лазерного імпульсу. Розгортка осцилографа синхронізована з СУМом 11 лазерної установки. Завдяки можливості вертикального переміщення столика діафрагма може бути встановлена в необхідному перерізі каустики сфокусованого лазерного пучка. Потім при горизонтальному фіксованому переміщенні столика поперек лазерного пучка по координаті на осцилографі в режимі інтегрування отримують відносну величину інтенсивності в кожній з вимірюваних точок.

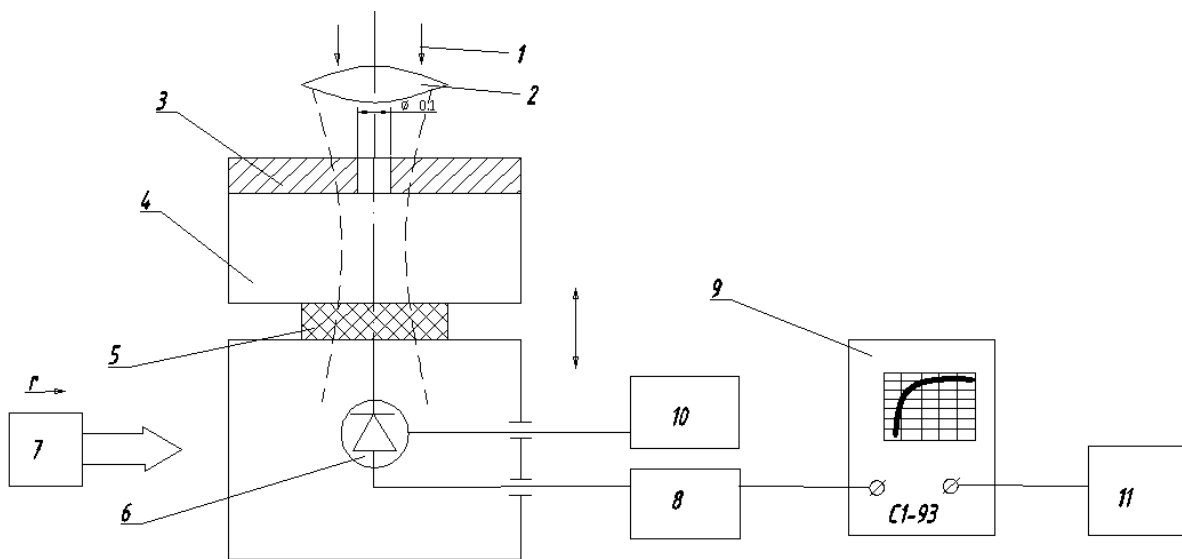


Рис. 5.2

5.3. Порядок виконання роботи

- 5.3.1. Ознайомитися з методичними вказівками до даної роботи.
- 5.3.2. Зібрати схему вимірювання згідно рис. 5.2, зобразити її в протоколі.
- 5.3.3. Виміряти розподіл інтенсивності в сфокусованому лазерному пучку.
- 5.3.4. Встановити розподіл інтенсивності в одному з перетинів розфокусованого лазерного пучка.

5.3.5. Побудувати закони розподілу інтенсивності в кожному з змінюваних пучків, визначити r_0 і середню густину потужності в кожному випадку фокусування.

5.4. Методика, виконання роботи

5.4.1. Включити, відрегулювати і налаштувати осцилограф на потрібний режим роботи

5.4.2. Подати на фотодіод напругу в 30 В.

5.4.3. Включити лазерну установку "Квант-15". Встановити значення енергії лазерного випромінювання, задане викладачем,

5.4.4. Переміщаючи стіл вертикально, встановити його так, щоб діафрагма з отвором перебувала в мінімальному перетині каустики фокусуемого лазерного пучка. Переміщаючи стіл горизонтально мікрометричним гвинтом, вивести отвір діафрагми за межі дії сфокусованого лазерного випромінювання. При цьому схемою комутації повинна бути включена інтегруючий ланцюжок; на екрані осцилографа отримуємо горизонтальну лінію.

5.4.5. Переміщаючи отвір у діафрагмі столика в напрямку лазерної плями через 0,2 мм, зняти на екрані осцилографа показання висоти сходинки інтенсивності сигналу випромінювання, що проникає через отвір в діафрагмі на фотодіод і відповідного рівню інтенсивності в даній точці плями фокусування. Дані занести в табл. 5.2.

5.4.6. Встановити отвір у діафрагмі приблизно в середині плями фокусування. Переключивши схему комутації в режим вимірювання тривалості імпульсу, визначити її за осцилограф, а енергію імпульсу - по вимірювачу енергії ІЕ-3А установки. Отримані дані записати в табл. 5.2.

5.4.7. За допомогою вертикального переміщення перемістити столик так, щоби діафрагма з отвором відповідала умовам необхідного розфокусування лазерного пучка. Зміщуючи столик в горизонтальному напрямку через 0,5 мм за методикою, вказаною в пп, 5.4.4-5.4.6, заповнити табл. 5.3.

5.4.8. Відклавши по осі абсцис поточне значення горизонтальної координати, а по осі ординат - інтенсивність сигналу випромінювання в міліметрах шкали осцилографа, побудувати розподіл інтенсивності в кожному з виміряних пучків.

5.4.9. Використовуючи наведені в підрозділ. 5.1 теоретичні дані, апроксимувати розподіл інтенсивності в сфальцьованому пучку законом нормального розподілу, а в розфокусованому пучку - законом рівномірного розподілу. Визначити значення в кожному випадку і нанести його на графік.

5.4.10. По залежності (3.1) розрахувати середню густину потужності в кожному з виміряних пучків (при $A = 0,1$).

5.4.11. Зробити висновки по роботі.

Завдання:

1. Вивчити особливості фокусування лазерного випромінювання та закони розподілу інтенсивності в плямі нагріву.
2. Зібрати і налаштувати пристрій для вимірювання розподілу інтенсивності в лазерному пучку.
3. Визначити діаметр плями і розподіл у ньому для сфокусованого і розфокусованого пучків.
4. Визначити середню густину потужності в кожному з вимірюваних пучків.

Схема експериментальної установки для вимірювання розподілу інтенсивності в лазерному пучку:

Таблиці експериментальних замірів

Таблиця 5.2

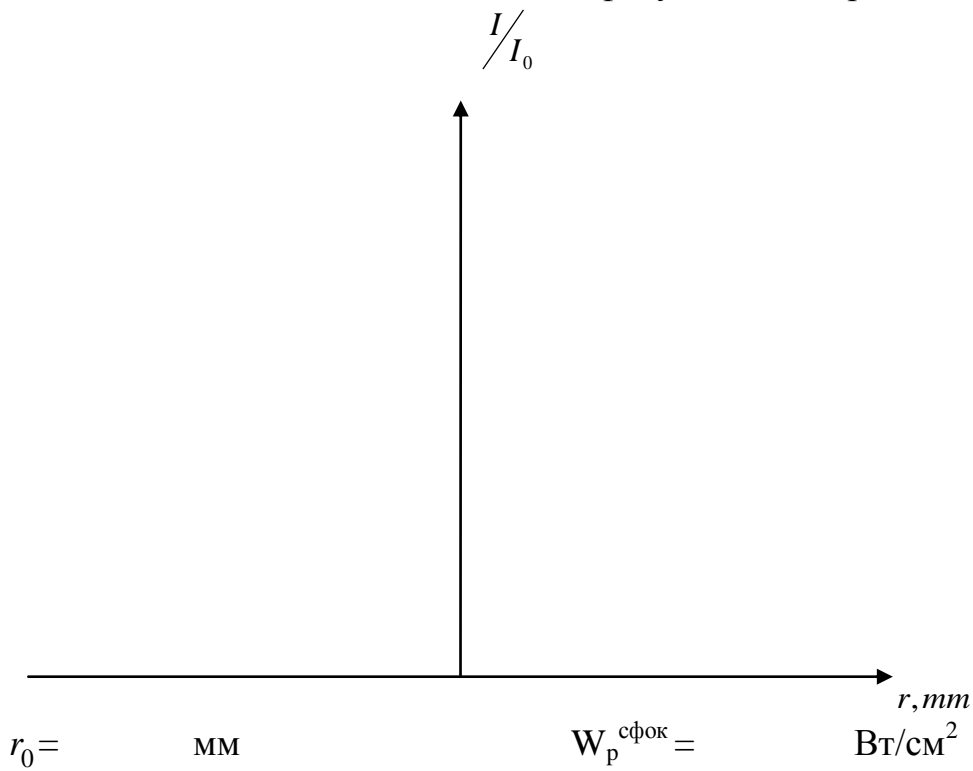
Параметр лазерного випр.	Інтенсивність в мм шкали осцилографа при r , мм													
	0	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,2	1,4	1,6	1,8	2,0	2,2	2,4	2,6
$E =$ Дж;														
$\tau_i =$ мс														

Таблиця 5.3

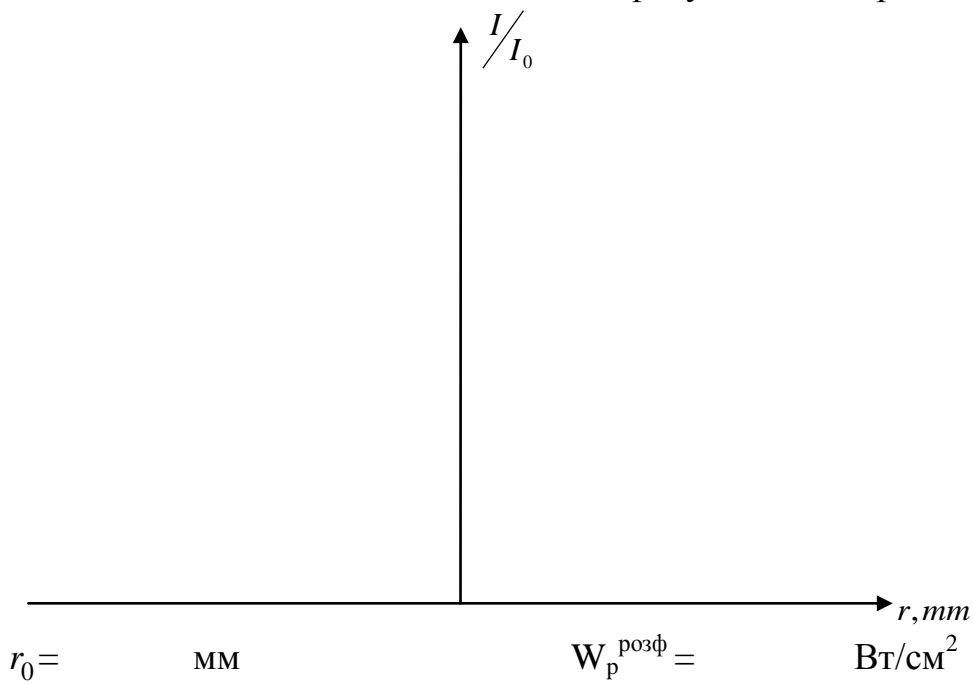
Параметр лазерного випр.	Інтенсивність в мм шкали осцилографа при r , мм													
	0	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	
$E =$ Дж;														
$\tau_i =$ мс														

Графіки розподілу інтенсивності:

Сфокусоване випромінювання



Розфокусоване випромінювання



Висновки: