



Проектування випромінювачів технологічних лазерів

Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)

Реквізити навчальної дисципліни

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	<i>Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій</i>
Статус дисципліни	<i>Вибіркова</i>
Форма навчання	<i>заочна, змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, 2й семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>4 кредитів 120 годин (10г. – лекції, 8г. – практичні)</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Залік Модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>Лекції та практичні заняття відбуваються згідно розкладу Rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лектор: к.т.н, доцент, Кагляк Олексій Дмитрович, 0682229967. Kaglyak.olexa@gmail.com Практичні: к.т.н, доцент, Кагляк Олексій Дмитрович, 0682229967. Kaglyak.olexa@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>Посилання на дистанційний ресурс https://classroom.google.com/c/MTgyMTAzNTI5NTYy?cjc=y73n333 (Googleclassroom)</i>

Програма навчальної дисципліни

1. Опис навчальної дисципліни, її мета, предмет вивчення та результати навчання

Дисципліна “Проектування випромінювачів технологічних лазерів” розглядає функціональні характеристики окремих складових технологічного лазера, методи розрахунку їх відповідальних елементів з метою досягнення високих значень ККД, стабільності потужності і якості лазерного пучка, оскільки ці параметри є визначальними в лазерних термічних технологіях.

Об’єм курсу складає 150 годин (5 кредитів), з яких 18 годин - аудиторні заняття (лекційні 10, практичні 8) і 132 годин відводиться на самостійну роботу студента, а його вивчення завершується складанням заліку. Курс супроводжується текстовим матеріалом і презентаціями.

Мета вивчення дисципліни: на основі одержаних на попередніх курсах знань фізичних процесів, які визначають власне процес лазерної генерації світла, а також параметри генерованого лазерного проміння, від яких залежить протікання технологічних процесів при обробці матеріалів:

- визначати взаємозв’язки інженерних систем і елементів технологічного лазера (оптичних і механічних елементів та систем, приладів контролю режимів їх роботи) та встановлювати вимоги до їх робочих характеристик;
- використовувати інженерні методи кількісного і якісного аналізу складових лазерної техніки при проектуванні ЛТО.

Предметом вивчення дисципліни є елементи та системи технологічних лазерів, їх будова та принцип дії, вимоги до них, за яких досягаються найвищі значення ККД лазера, якості та потужності променя. Принципи проектування випромінювачів, що потрібні для вирішення конкретних технологічних задач.

Програмні компетентності:

З К1 Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми.

ФК1 Здатність застосовувати відповідні методи і ресурси сучасної інженерії для знаходження оптимальних рішень широкого кола інженерних задач із застосуванням сучасних підходів, методів прогнозування, інформаційних технологій та з урахуванням наявних обмежень за умов неповної інформації та суперечливих вимог.

ФК11 Здатність до обґрунтування та доведення власних науково-технічних рішень і конструктивно-технологічних розв'язків виробничих завдань та проблем.

ФК14 Здатність проектувати сучасне технологічне обладнання і оснащення для зварювання, лазерних та споріднених технологій.

Програмні результати навчання:

РН 1 Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.

РН 8 Оволодівати сучасними знаннями, технологіями, інструментами і методами, зокрема через самостійне опрацювання фахової літератури, участь у науково-технічних та освітніх заходах.

РН 14 Використовувати спеціальні способи та засоби лазерної обробки для досягнення оптимальних результатів.

2. Пререквізити та постреквізити дисципліни (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)

Для успішного засвоєння матеріалу освітнього компоненту необхідні знання, які одержуються студентом у попередніх курсах: Технологія конструкційних матеріалів, Фізика взаємодії концентрованих потоків енергії з речовиною, Деталі машин, Технології та устаткування зварювання плавленням, лазерних та споріднених процесів. Частина 2. Технології та устаткування лазерних процесів.

Знання, які одержано під час вивчення освітнього компоненту, використовуються при проходженні переддипломної практики та при виконанні дипломного проектування.

3. Зміст навчальної дисципліни

Розділ I. Твердотільні лазери.

Розділ 1.1: Твердотільні лазери з оптичною накачкою.

Тема 1. Вибір джерел світла для оптичної накачки твердотільних лазерів.

Розрахунок потрібної потужності накачки при використанні напівпровідникових лазерів, як джерел світла накачки. Розрахунок системи охолодження активних елементів твердотільних лазерів.

Тема 2. Резонатор твердотільного лазера з оптичною накачкою. Спотворення АЕ під час генерації в позитивну лінзу. Методи розрахунку одноквантронних та багатоквантронних резонаторів.

Розділ 1.2. Напівпровідникові лазери

Тема 3. Лазерні матриці напівпровідникових лазерів високої потужності для прямого застосування в термічних технологіях.

Розділ II. CO₂ лазери.

Тема 4. Інженерні вимоги до основних складових CO₂ лазера

Тема 5. Тліючий розряд як засіб збудження активного середовища CO₂ лазера. Різновиди тліючого розряду. Конструктивні особливості електродних систем лазерів з теплопровідним та конвективним охолодженням.

Тема 6. Газові контури CO₂ лазерів, ступінь та технологія їх вакуумування, пошук течій. Розрахунок швидкості прокачки в лазерах з конвективним охолодженням.

Тема 7. Резонатори лазерів з теплопровідним та конвективним охолодженням. Методи розрахунку шкідливих втрат та геометричних параметрів лазерного пучка.

Тема 8. Методи боротьби з плазмохімічними реакціями, як причиною зменшення потужності генерації в часі

Розділ III. Допоміжні системи лазерних комплексів

Тема 9. Вимірювачі потужності лазерного променя. Візуалізатори лазерного випромінювання. Аналізатори розподілу інтенсивності випромінювання в перерізі лазерного променя.

Тема 10. Системи контролю та стабілізації температури випромінювачів технологічних лазерів.

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Гаращук В.П., О.Д. Кагляк. Інженерні основи технологічних лазерів. Курс лекцій. Електронне навчальне видання. – НТУУ “КПІ”, 2014.– 101 с.
2. Гаращук В.П. Основи фізики лазерів. - К.: Пульсари 2012р. – 342с.
3. Гаращук В.П., О.Д. Кагляк, О.О. Гончарук. - Практичні основи фізики лазерів. – НТУУ “КПІ”, 2015.– 116 с.
4. Гаращук В.П. Основи фізики лазерів для термічних технологій. Навчальний посібник (електронний варіант). – Київ. 2010. – 344с.
5. Гаращук В.П. Фізика планарних CO₂ лазерів (електронний варіант). – Київ, 2010. – 99с.

Допоміжна література

1. Биков В.П., Силичев О.О. Лазерні резонатори. – М.: Физматлит, 2004. - 320 с.
2. Einführung in die industrielle Lasermaterialbearbeitung. Rofin. 2002. – 144s.
3. Wolff D. Diodenlaser im Blickpunkt. Laser, Entwicklung und industrielle Anwendung, 2001, N1, ss.6...9.
4. Баранов І.Я., Коптев А.В., Модель розрахунку слабого ВЧ-розряду середнього тиску з утворенням фотонів в шарі та фотоemisією електронів. Фізика плазми, 2007,т.33, №1, с.59...67.
5. Кагляк О.Д.. Модернізація конструкції дискового лазера використанням еліпсоїдного освітлювача / Кагляк О.Д., Клімова А.Г., Полешко О.П. // Mechanics and Advanced Technologies. – Vol. 6, No. 1, 2022, pp. 56–61 DOI: 10.20535/2521-1943.2022.6.1.257026
6. Косяк І.В. Високостабільний регулятор температури напівпровідникового лазера для інтерферометрії / Косяк І.В. // Технічні засоби отримання і обробки даних. Реєстрація, зберігання і обробка даних, 2016, т. 18, №4. - с. 55-66
7. <https://www.accesslaser.com/stability-and-tuning-with-s-models/>

Інформаційні ресурси

1. ift.kpi.ua (сайт кафедри ЛТ та ФТТ)
2. login.kpi.ua (сайт КАМПУС’у)
3. library.ntu-kpi.kiev.ua (сайт науково – технічної бібліотеки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

5. Методика опанування навчальної дисципліни(освітнього компонента)

Найменування розділів, тем	Розподіл за видами занять					
	Всього	Лекц.	Практ	Сем.	Лаб.	СРС
<p>Розділ I. Твердотільні лазери. Твердотільні лазери з оптичною накачкою. Тема 1.. Вибір джерел світла для оптичної накачки твердотільних лазерів. Розрахунок потрібної потужності накачки при використанні напівпровідникових лазерів, як джерел світла накачки. Розрахунок системи охолодження активних елементів твердотільних лазерів.</p> <p>Тема 2. Резонатор твердотільного лазера з оптичною накачкою. Спотворення АЕ під час генерації в позитивну лінзу. Методи розрахунку одноквантронних та багатоквантронних резонаторів.</p> <p>Тема 3. Лазерні матриці напівпровідникових лазерів високої потужності для прямого застосування в термічних технологіях.</p> <p>Модульна контрольна робота</p>						
<p>Розділ II. CO₂ лазери. Тема4. Інженерні вимоги до основних складових CO₂ лазера</p> <p>Тема 5. Тліючий розряд як засіб збудження активного середовища CO₂ лазера. Різновиди тліючого розряду. Конструктивні особливості електродних систем лазерів з теплопровідним та конвективним охолодженням.</p> <p>Тема 6. Газові контури CO₂ лазерів, ступінь та технологія їх вакуумування, пошук течій. Розрахунок швидкості прокачки в лазерах з конвективним охолодженням.</p> <p>Тема 7. Резонатори лазерів з теплопровідним та конвективним охолодженням. Методи розрахунку шкідливих втрат та геометричних параметрів лазерного пучка.</p> <p>Тема 8. Методи боротьби з плазмохімічними реакціями, як причиною зменшення потужності</p>	12	1	1			10
	13	1	1			11
	11	1	1			9
	5	0,5				4,5
	12	1	1			10
	13	1	1			11
	14	1	1			12
	12	1	1			10

генерації в часі.	12	1	1			10
Тема 9. Вимірювачі потужності лазерного променя. Візуалізатори лазерного випромінювання. Аналізатори розподілу інтенсивності випромінювання в перерізі лазерного променя. Системи контролю та стабілізації температури випромінювачів технологічних лазерів	8	0,5				7,5
Залік	8	1				7
Всього:	150	10	8			102

ЛЕКЦІЙНІ ЗАНЯТТЯ

Розділ І. Твердотільні лазери.

Розділ І.І. Твердотільні лазери з оптичною накачкою.

Лекція 1. Вибір джерел світла для оптичної накачки твердотільних лазерів (дугові лампи та напівпровідникові лазери) з врахуванням їх спектральних, геометричних, потужностних та когерентностних характеристик.

Література: ос. [1...4]. Доп. [1, 2]

СРС: габаритні характеристики напівпровідникових лазерів для накачки, а також характеристики їх лазерного пучка по потужності та геометрії.

Лекція 2. Розрахунок потрібної потужності накачки при використанні напівпровідникових лазерів, як джерел світла накачки, для досягнення заданої потужності генерації і вибір конструкції освітлювача.

Література: ос. [1...3]. Доп. [1, 2]

СРС: Освоєння методики розрахунку потрібної потужності накачки при використанні напівпровідникових лазерів, як джерел світла накачки, для досягнення заданої потужності генерації і вибір конструкції освітлювача.

Лекція 3. Розрахунок системи охолодження активних елементів твердотільних лазерів. Спотворення АЕ під час генерації в позитивну лінзу, вплив на величину її оптичної сили потужності накачки, спектрального складу світла накачки, однорідності збудження. Резонатор твердотільного лазера з врахуванням цієї наведеної лінзи АЕ. Резонатор з одним квантроном.

Література: ос. [1,5]. Доп. [1, 2]

СРС: вивчити особливості кріплення та герметизації АЕ; вимоги до системи охолодження.

Лекція 4. Резонатор твердотільного лазера з багатьма квантронами, виставлених в одну лінію; в кілька ліній. Методи розрахунку багатоквантронних резонаторів. Лазерні матриці напівпровідникових лазерів високої потужності для прямого застосування в термічних технологіях.

Література: ос. [1...4]. Доп. [1, 2]

СРС: освоїти методику розрахунку багатоквантронних резонаторів.

Лекція 5. Інженерні вимоги до основних складових CO₂ лазера: газорозрядної системи, резонатора, системи вакуумування, підготовки газової суміші – активного середовища та газонапуску. Типи та характеристики тліючих газових розрядів - постійного струму, змінного струму низької і високої частоти, ТР ВЧ струму α - форми та γ - форми.

Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4]

СРС: Інженерні вимоги до основних складових CO₂ лазера

Лекція 6. Конструктивні особливості розрядних систем для реалізації ТР постійного і змінного струмів в CO₂ лазерах з теплопровідним та конвективним охолодженням. CO₂ лазер:

газові контури. Матеріал газових контурів. Обов'язкові елементи конструкції газових контурів. Схеми вакуумування, ступінь вакуумування, специфічні вимоги до вакуумної щільності газових контурів. Методи вимірювання ступенів вакуумування. Пошук течій: методи пошуку течій – опресовка, галоїдні течіешукачі, гелієві течіешукачі. Конструктивні вимоги до вакуумних з'єднань.

Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4]

СРС: Вакуумна техніка стосовно CO₂ лазерів, пошук течій, конструктивні вимоги до вакуумних з'єднань.

Лекція 7. Резонатори, котрі застосовуються в трубчастих лазерах. Шкідливі втрати в резонаторі та вплив їх на формування заданого ТК (моди), методи їх розрахунку. CO₂ лазери з конвективним охолодженням: вимоги до швидкості прокачки, методи розрахунку для трубчастих та поперечно прокачуваних лазерів.

Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4]

СРС: резонатори, котрі застосовуються в трубчастих лазерах, методи розрахунку шкідливих втрат та їх вплив на формування заданого ТК (моди).

Лекція 8. Типи газових розрядів, котрі використовуються в лазерах з поперечною прокачкою: самостійні розряди, ТР з предіонізацією – ВЧ струмом, імпульсним розрядом, електронним пучком. Резонатори, котрі використовуються в лазерах з поперечною прокачкою. Методи та апаратура виведення лазерного пучка з резонатора. Розрахунок резонаторів з врахуванням розмірів активного середовища та середнього коефіцієнта підсилення.

Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4]

СРС: Типи газових розрядів, котрі використовуються в лазерах з поперечною прокачкою.

Лекція 9. Планарний лазер. Будова лазера. Вимоги до ВЧ ТР : α - форма та γ - форма. Генераційні характеристики активного середовища: коефіцієнт підсилення слабкого сигналу k_0 , інтенсивність насичення $I_{нас}$. Розподіл k_0 в поперечному перерізі. Резонатор планарного лазера гібридного типу. Шкідливі втрати в ньому, та їх розрахунок; конструкції резонатора при яких вони малі.

Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4]

СРС: Генераційні характеристики активного середовища: коефіцієнт підсилення слабкого сигналу, інтенсивність насичення.

Лекція 10. Геометричні розміри поперечно перерізу пучка планарного лазера. Стигматизація пучка. Зменшення потужності CO₂ лазера в часі, як результат плазмохімічних реакцій. Методи боротьби з ними: розрахунок складу суміші та швидкості обміну суміші, фізико – хімічні методи. Вимірювачі потужності лазерного променя. Візуалізатори лазерного випромінювання. Аналізатори розподілу інтенсивності випромінювання в перерізі лазерного променя.

Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4]

СРС: Методи боротьби з плазмохімічними реакціями, як причиною зменшення потужності генерації в часі.

ПРАКТИЧНІ ЗАНЯТТЯ

Практичні заняття направлені на закріплення і використання отриманих знань для розрахунків параметрів лазерного проміння, генерованого певного типу лазерами із заданими конструктивними характеристиками, а також зворотну задачу: характеристики конструктивних складових лазерів, які повинні генерувати лазерне проміння заданих параметрів.

Теми практичних занять:

1. Розрахунок однорідності збудження АЕ неодимового на ітрій-алюмінієвому гранаті лазера неперервної дії з накачкою промінням напівпровідникових лазерів. Розрахунок системи охолодження активного елемента стрижневого твердотільного лазера.

2. Визначення оптичної сили теплової лінзи активного елемента лазера на ітрій-алюмінієвому гранаті, легованому неодимом, неперервної дії з накачкою промінням напівпровідникових лазерів.

3. Розрахунок резонатор лазера на ітрій-алюмінієвому гранаті, легованому неодимом, неперервної дії з накачкою промінням напівпровідникових лазерів з потужністю генерації $P \geq 400 \text{ Вт}$.

4. Розрахунок резонатора лазера з одним квантроном, розумно обгрунтованих розмірів, та оптичної схеми вводу його лазерного пучка в оптоволокно і виводу із нього, а також схему фокусування на деталь.

5. Розрахунок $P_{\text{ген}}$ і коефіцієнт відбиття вихідного дзеркала $r_{\text{вих}}$ трубчастого CO_2 лазера з теплопровідним охолодженням.

6. Розрахунок розмірів активного середовища, геометричні параметри дзеркал резонатора CO_2 лазера з осьюою прокачкою, який генерує потужність не менше $P_{\text{ген}}=1000 \text{ Вт}$ на моді TEM_{01} .

7. Розрахунок нестійкого резонатора CO_2 -лазера з швидкою поперечною прокачкою з потужністю генерації $P_{\text{ген}}=5000 \text{ Вт}$.

8. Розрахунок резонатора CO_2 лазера для лазерної різальної машини, призначеної для вирізання отворів на трубі

6. Самостійна робота студента

Самостійна робота студентів має наступні напрямки:

Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу	Кількість годин СРС
<p>Розділ І. Твердотільні лазери. Твердотільні лазери з оптичною накачкою. Тема 1. Вибір джерел світла для оптичної накачки твердотільних лазерів. Розрахунок потрібної потужності накачки при використанні напівпровідникових лазерів, як джерел світла накачки. Розрахунок системи охолодження активних елементів твердотільних лазерів. СРС: габаритні характеристики напівпровідникових лазерів для накачки, а також характеристики їх лазерного пучка по потужності та геометрії. Література: ос. [1...4]. Доп. [1, 2] Освоєння методики розрахунку потрібної потужності накачки при використанні напівпровідникових лазерів, як джерел світла накачки, для досягнення заданої потужності генерації і вибір конструкції освітлювача. Література: ос. [1...3]. Доп. [1, 2]</p>	14
<p>Тема 2. Резонатор твердотільного лазера з оптичною накачкою. Спотворення АЕ під час генерації в позитивну лінзу. Методи розрахунку одноквантронних та багатоквантронних резонаторів. СРС: Вивчити особливості кріплення та герметизації АЕ; вимоги до системи охолодження. Література: ос. [1,5]. Доп. [1, 2] Вивчити причини спотворення АЕ під час генерації, вплив цього спотворення на конструкцію резонатора. Література: ос. [1...4]. Доп. [1, 2] Освоїти методику розрахунку багатоквантронних резонаторів. [1...3]. Доп. [1, 2]</p>	15

<p>Тема 3. Лазерні матриці напівпровідникових лазерів високої потужності для прямого застосування в термічних технологіях. СРС: вивчити методи досягнення високих потужності та якісних характеристик лазерного проміння напівпровідникових лазерів. Література: ос. [1...3]. Доп. [1, 2]</p>	13
<p>Розділ II. CO₂ лазери.</p> <p>Тема4. Інженерні вимоги до основних складових CO₂ лазера СРС: Інженерні вимоги до основних складових CO₂ лазера Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4]</p>	14
<p>Тема 5. Тліючий розряд як засіб збудження активного середовища CO₂ лазера. Різновиди тліючого розряду. Конструктивні особливості електродних систем лазерів з теплопровідним та конвективним охолодженням. СРС: Особливості збудження активного середовища CO₂ лазера в тліючому розряді. Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4] Конструктивні особливості розрядних систем в CO₂ лазерах з теплопровідним та конвективним охолодженням. Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4]</p>	15
<p>Тема 6. Газові контури CO₂ лазерів, ступінь та технологія їх вакуумування, пошук течій. Розрахунок швидкості прокачки в лазерах з конвективним охолодженням. СРС: Генераційні характеристики активного середовища: коефіцієнт підсилення слабкого сигналу. інтенсивність насичення. Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4] Вакуумна техніка стосовно CO₂ лазерів, пошук течій, конструктивні вимоги до вакуумних з'єднань. Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4] Вимоги до швидкості прокачки, методи розрахунку для трубчастих та поперечно прокачуваних лазерів. Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4]</p>	16
<p>Тема 7. Резонатори лазерів з теплопровідним та конвективним охолодженням. Методи розрахунку шкідливих втрат та геометричних параметрів лазерного пучка. СРС: резонатори, котрі застосовуються в трубчастих лазерах, методи розрахунку шкідливих втрат та їх вплив на формування заданого ТК (моди). [1...5]. Доп. [3, 4] Шкідливі втрати в гібридному резонаторі планарного лазера. Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4] Типи газових розрядів, котрі використовуються в лазерах з поперечною прокачкою. Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4] Розрахунок резонаторів з врахуванням розмірів активного середовища та середнього коефіцієнта підсилення. Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4]</p>	13
<p>Тема 8. Методи боротьби з плазмохімічними реакціями, як причиною зменшення потужності генерації в часі. СРС: Стигматизація пучка. Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4] Методи боротьби з плазмохімічними реакціями, як причиною зменшення потужності генерації в часі. Література: ос. [1...5]. Доп. [3, 4]</p>	13
<p>Тема 9. Вимірювачі потужності лазерного променя. Візуалізатори лазерного випромінювання. Аналізатори розподілу інтенсивності випромінювання в</p>	7,5

							Всього	виконання індивід. завдання			
3	5.0/150	10	8	-	-	-	132	-	1	-	залік

Рейтингові бали студент заробляє протягом семестру за рахунок написання модульної контрольної роботи та виконання 8 практичних робіт.

Модульна контрольна робота

Модульна контрольна робота.

Ваговий бал – 36.

Контрольна може бути у формі відкритих питань на розгорнуту відповідь або мати форму тесту.

В першому випадку, контрольна містить три питання, два теоретичного спрямування кожне з яких оцінюється в 9 балів та одне практичного спрямування, оцінюється в 9 балів.

Критерії оцінювання:

- повна відповідь на всі запитання – 36 балів;
- не повна відповідь на всі запитання або відповідь не на всі запитання – 35-9;
- відповідь на одне запитання або часткова відповідь на запитання – 9-1.

В другому випадку, контрольна містить 18 питань на коротку відповідь, кожне з яких оцінюється в 2 бали, а оцінка залежить від кількості правильних відповідей.

Практичні роботи

Ваговий бал – 8 бали за кожну роботу. Максимальна кількість балів за всі практичні роботи дорівнює $8 \times 8 = 64$.

Критерії оцінювання кожного завдання:

- повністю та правильно виконане завдання – 8 балів;
- завдання виконане в цілому вірно, але наявні певні неточності – 7-5;
- завдання виконане з суттєвими помилками, або виконане не в повній мірі – 4-1.

Розрахунок шкали (R) рейтингу:

Сума вагових балів контрольних заходів протягом семестру складає:

$$RD = 36 + 8 \times 8 = 100 \text{ балів.}$$

У випадку незгоди із підсумковою оцінкою згідно рейтингу, студент має право відмовитися від рейтингу і написати залікову контрольну роботу вагою 100 балів. При цьому, попередньо зароблений рейтинг анулюється.

Залікова контрольна робота

Ваговий бал – 100.

Критерії оцінювання:

- повна відповідь на запитання, відповідь викладена правильно, питання розкриті в достатній мірі – 100 - 95 балів;
- не повна відповідь на запитання або відповідь з певними неточностями – 94 – 74;
- часткова відповідь на запитання, чи відповідь з суттєвими помилками – 73 – 60.
- Студент, котрий отримав менше 60 балів направляється на перескладання заліку.

Таблиця відповідності рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою:

Кількість балів	Оцінка
100-95	Відмінно
94-85	Дуже добре
84-75	Добре

74-65	Задовільно
64-60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Не виконані умови допуску	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

ДОДАТОК А

Орієнтовні питання на контрольні заходи МКР

1. Дайте визначення гаусівського пучка. Напишіть розподіл напруженості електричного поля і інтенсивності по радіусу пучка; яка частка його потужності зосереджена в межах його радіуса. Дайте визначення конфокального параметра. Напишіть f -лу для конфокального параметра, вираженого через радіус горловини пучка. (Це питання буде першим в усіх варіантах контрольної.)
2. Сформулюйте вимоги до активного елемента стрижневого твердотілого лазера і поясніть якими фізичними явищами і конструкторськими завданнями обумовлені ці вимоги.
3. Назвіть смуги поглинання іона неодима в матриці ітрію – алюмінієвого граната. В якій із цих смуг найдоцільніше вести накачку, чим це обумовлено?
4. Чому не вигідно проводити накачку світлом дугових ламп. Як при цьому змінюється ККД і однорідність активного середовища?
5. Намалюйте схематично поперечний переріз квантрона стрижневого лазера з накачкою промінням напівпровідникових лазерів. Дайте пояснення усіх складових.
6. Запишіть f -лу для відносного виділення потужності накачки по радіусу активного елемента.
7. Назвіть причини термооптичних спотворень активного елемента, тобто перетворення його в лінзу.
8. З яким радіусом кривини використовуються дзеркала в резонаторах, в яких активний елемент спотворюється в позитивну лінзу. Дайте визначення симетричному резонатору.
9. Запишіть аналітичний вираз для конфокального параметра симетричного резонатора з активним елементом, що спотворився в позитивну лінзу. Назвіть всі величини, які є в цьому виразі.
10. В яких межах може змінюватися фокусна відстань теплової лінзи в симетричному резонаторі, утвореному плоскими дзеркалами, щоб геометричні параметри пучка змінювалися не більше ніж в межах 5%.
11. Які є способи підвищення потужності лазерного пучка при використанні стрижневих твердотілих лазерів. За яких умов доцільні ці методи.
12. Запишіть аналітичний вираз для конфокального параметра симетричного резонатора, в якому N квантронів встановлено послідовно (на одній оптичній осі). Назвіть всі величини, які є в цьому виразі.
13. Опишіть режим лазерної генерації з модуляцією добротності (режим генерації гігантських імпульсів).
14. Які є модулятори добротності. Як працює акустооптичний модулятор. як він встановлюється по відношенню до осі резонатора.

15. Які волоконні лазери є одномодовими а які багатомодовими. Яка розбіжність лазерного пучка в одномодового і багатомодового лазерах.
16. Які є способи підвищення потужності лазерного пучка при використанні волоконних лазерів. Як зміниться розбіжність і стала перетворення пучка при паралельному розміщенні N волоконних лазерів.
17. Накресліть принципову блок – схему технологічного CO₂ лазера. Назвіть його складові.
18. В плазмі позитивного стовпа дисоціює вуглекислий газ і азот, що зменшує потужність лазерного випромінювання і в АС накопичуються небажані хімічні сполуки. Які є технічні заходи, що зменшують їх дію?
19. Які вимоги до матеріалів, з яких виготовляють газові контури CO₂ лазерів?
20. З яких труб виготовляють теплообмінники, з яких матеріалів, чи можна їх оцинковувати? Як треба спрямовувати потік холодоагента по відношенню до напрямку газового потоку?
21. Коли прокачний засіб називають вентилятором, а коли компресором. Дайте визначення параметру λ_k . В яких лазерах з конвективним охолодженням використовують вентилятори, а в яких компресори.
22. Назвіть вимоги до компресорів і вентиляторів, які використовуються в лазерах з конвективним охолодженням.

ДОДАТОК Б

Приклади індивідуальних завдань до практичних занять

1. Визначити оптичну силу теплової лінзи активного елемента лазера на ітрій-алюмінієвому гранаті, легованому неодимом, неперервної дії. АЕ має розміри: довжину 100мм і діаметр 7мм, відстань між дзеркалами резонатора дорівнює подвійній фокусній відстані теплової лінзи АЕ, резонатор симетричний. АЕ збуджується світлом напівпровідникових лазерів з довжиною хвилі $\lambda=0,81\mu\text{м}$; в ньому виділяється 150Вт теплової потужності. Визначити діаметр генерованого пучка на дзеркалах, його розбіжність, сталу перетворення і показник якості.
2. Лазер на ітрій-алюмінієвому гранаті, легованому неодимом, неперервної дії. В його резонаторі розміщено на одній осі два квантрони, активні елементи яких мають розміри: довжину 90мм і діаметр 6мм. Під час роботи вони спотворюються в позитивну лінзу з фокусною відстанню 1м. Резонатор симетричний. Визначити діаметр генерованого пучка на дзеркалах, його розбіжність, сталу перетворення і показник якості.
3. Розробити і розрахувати оптичну схему вводу лазерного пучка одноквантронного лазера в оптоволокно і виводу із нього, а також схему фокусування на деталь. При цьому відомо, що квантрон може генерувати максимальну потужність 400 Вт, $k_0=0,08 \text{ см}^{-1}$, $I_{\text{нас}} = 820 \text{ Вт/см}^2$, шкідливі втрати АС $\rho_a=0,002 \text{ см}^{-1}$, торці просвітлені до $r_{\text{фр}}=0,005$, $n=1,84$; $r_1=0,995$. Діаметр сердцевини оптоволокна рівний 0,5мм, а його числова апертура $A_N=0,25$. АЕ має довжину 100мм і при роботі лазера спотворюється в лінзу з $F= 0,35\text{м}$.
- В роботі виконати наступне:
- розрахувати параметри резонатора і сформованого в ньому пучка, а також схему вводу пучка в оптоволокно;
 - розрахувати і сконструювати (тобто накреслити) оптичну систему виводу пучка із оптоволокна і його фокусування на деталь з діаметром сфокусованого пучка 0,4мм.
4. Розрахувати резонатор CO₂ -лазера з теплопровідним охолодженням трубчатої конструкції потужністю $P_{\text{ген}}=500 \text{ Вт}$, в якому формується мода TEM₀₀. При цьому відомо, $P_{\text{нак}}/L=400 \text{ Вт/м}$, електрооптичний ККД $\eta_{\text{ео}}=0,21$, $k_0^{\text{макс}} =0,005 \text{ см}^{-1}$, шкідливі втрати активного середовища $\rho_a=0,0001 \text{ см}^{-1}$.

В роботі виконати наступне:

- Визначити хімічний склад і розміри активного середовища - довжину і діаметр трубки; розрахувати кривину дзеркал резонатора і їх діаметри;
- обчислити прозорість вихідного дзеркала;
- визначити розбіжність пучка, його показник якості і сталу перетворення.

5.Розрахувати потужність лазерної генерації та енергетичні характеристики джерела живлення CO₂-лазера з швидкою осьовою прокачкою, якщо довжина АС становить 2м, а лазер генерує на моді TEM₀₁. При цьому відомо, що питомий енерговклад становить $\sigma=5$ Вт/см³, $E/p=10$ В/(см Торр), $p=20$ Торр, електрооптичний ККД $\eta_{eo}=0,2$; $k_0^{max}=0,02$ см⁻¹, $\rho_{a.c.}=0,0001$ см⁻¹.

В роботі виконати наступне:

- визначити хімічний склад АС і діаметр трубки, по якій воно прокачується, накреслити принципову схему резонатора.
- розрахувати $P_{нак,}$, величину струму і напруги, представити залежність $P_{ген}=f(I_{нак})$.

6.Розрахувати резонатор CO₂-лазера з швидкою осьовою прокачкою з потужністю генерації $P_{ген}=2000$ Вт. При цьому відомо, що питомий енерговклад становить $\sigma=5$ Вт/см³, електрооптичний ККД $\eta_{eo}=0,2$, $k_0^{max}=0,01$ см⁻¹, $\rho_{a.c.}=0,0001$ см⁻¹, лазер генерує на моді TEM₁₀, непрозорі дзеркала резонатора мають коефіцієнт відбиття 0,98.

В роботі виконати наступне:

- Визначити хімічний склад і розміри активного середовища, якщо воно прокачується по трубці з круглим перерізом;
- обчислити кривину дзеркал резонатора і його принципову схему, прозорість вихідного дзеркала; визначити розбіжність пучка, його показник якості і сталу перетворення;

7.Розрахувати потужність лазерної генерації та енергетичні характеристики джерела живлення і параметри нестійкого резонатора CO₂-лазера з швидкою поперечною прокачкою з потужністю генерації $P_{ген}>4000$ Вт. Відомо, що висота розряду $H=4$ см, $\sigma_{нак}=5$ Вт/см³, $E/p=12$ В/см Торр, $p=30$ Торр, ККД $\eta_{eo}=0,2$, $K_0^{max}=0,012$ см⁻¹, шкідливі втрати активного середовища $\rho_a=0,00012$, непрозорі дзеркала резонатора мають коефіцієнт відбиття 0,98.

В роботі виконати наступне:

- визначити розміри активного середовища, його хімічний склад;
- розрахувати $P_{нак,}$ величину струму і напруги, представити залежність $P_{ген}=f(I_{нак})$;
- накреслити принципову схему резонатора з активним середовищем.

8. Неодимовий на ітрії – алюмінієвому гранаті лазер неперервної дії має довжину АЕ 120мм. В його квантроні можна встановити АЕ з діаметром 8мм, або 12мм. АЕ при роботі лазера спотворюються в лінзу з $F=1$ м та $F=0,75$ м, відповідно.

- із двох запропонованих стрижнів виберіть такий, який забезпечує меншу розбіжність генерованого пучка, обґрунтуйте Ваш вибір і доведіть це обчисленням;
- визначити радіус лазерного пучка на дзеркалах і їх радіус;
- розрахувати розбіжність лазерного пучка, порядок старшої моди, яка виходить в генерацію, визначити показник якості і сталу перетворення.

9.Розрахувати стійкий резонатор неодимового на ІАГ лазера, в якому встановлено три квантрони на спільній оптичній осі. В номінальному режимі роботи активні елементи (АЕ) спотворюються в позитивну лінзу з фокусною відстанню $F=1,2$ м. В квантронах використані

активні елементи довжиною 100мм і діаметром 10мм. Відстань між дзеркалом і ближнім торцем АЕ квантрона 40мм, між ближніми торцями АЕ сусідніх квантронів 80мм.

Визначити діаметр пучка на дзеркалах, розбіжність сформованого в резонаторі пучка, його показник якості і сталу перетворення.

10. Розрахувати стійкий резонатор (визначити радіус кривини дзеркал, радіус лазерного пучка на дзеркалах, радіус дзеркал, визначити розбіжність пучка, його показник якості і сталу перетворення), в якому формується мода TEM_{11} для CO_2 -лазера з осью прокачкою при $P_{ген} = 2000\text{Вт}$ і $P_{ген}/L = 400\text{Вт/м}$.

11. Розрахувати однорідність збудження стрижня активного лазерного середовища (тобто відношення мінімального виділення потужності збуджуючого світла до максимального) з діаметрами 10 і 15мм, виготовлених з ітрій – алюмінієвого граната, легованого неодимом. Джерелом збуджуючого світла є чотири напівпровідникові лазерні лінійки з довжиною хвилі генерації $\lambda = 0,808\text{мкм}$ та розбіжністю пучка $0,2\text{рад}$, встановлені одна навпроти другої. Обчислення виконати для коефіцієнта поглинання $\kappa = 2,5\text{см}^{-1}$. При обчисленнях прийняти, що пучок світла лазерної лінійки фокусується в передній фокус циліндричної поверхні АЕ.

12. N квантронів для лазера на ітрій – алюмінієвому гранаті з неодимом об'єднані за схемою: випромінювання усіх квантронів, які мають свої резонатори, заведені в одне оптоволокно. При цьому відомо, що $k_0 = 0,05\text{ см}^{-1}$, шкідливі втрати активного середовища $\rho_a = 0,002\text{ см}^{-1}$, $I_{нас} = 820\text{ Вт/см}^2$, показник заломлення дорівнює 1,84, діаметр оптоволокна рівний 0,3 мм. Визначити величину досягнутої потужності і розбіжності лазерного випромінювання на виході із оптоволокна. Визначити, чи необхідно просвітлювати торці активного елемента. Розробити і розрахувати оптичні схеми вводу лазерного випромінювання в оптоволокно, розрахувати і зконструювати оптичну систему виводу випромінювання із оптоволокна і його фокусування на деталь з діаметром горловини 0,1 і 0,4 мм, визначити глибину чіткості. $N = 4$; довжина стрижня квантрона $l = 80\text{ мм}$, його діаметр $d = 6\text{ мм}$.

13. Розрахувати основні параметри пучка неодимового на ітрій-алюмінієвому гранаті лазера неперервної дії, який має N квантронів, кожний із них має свій резонатор: генеровану потужність $P_{ген}$, мінімально можливу розбіжність пучка, якість і сталу перетворення пучка, мінімально можливий діаметр світловолокна з числовою апертурою $A_N = 0,25$, якщо відомо: $k_0 = 0,08\text{ см}^{-1}$, шкідливі втрати активного середовища $\rho_a = 0,002\text{ см}^{-1}$, $I_{нас} = 820\text{ Вт/см}^2$, показник заломлення дорівнює $n = 1,84$. Зконструювати оптичну систему введення лазерного пучка в світловод, виведення із нього і фокусування на деталь.

Варіанти: $N = 4$, активний елемент: $\varnothing 4\text{мм}$, $l = 60\text{ мм}$

14. Кілька неодимових на ітрій-алюмінієвому гранаті квантронів неперервної дії виставлені на одній оптичній осі, повинні генерувати спільний лазерний пучок з потужністю $N > 800\text{Вт}$. При роботі лазера АЕ кожний спотворюється в лінзу з $F = 0,5\text{м}$. Дзеркала резонатора розміщені від торців крайніх АЕ на половину відстані між ближніми торцями сусідніх квантронів. При цьому відомо, що $k_0 = 0,08\text{ см}^{-1}$, шкідливі втрати АС $\rho_a = 0,002\text{ см}^{-1}$, $I_{нас} = 820\text{ Вт/см}^2$; довжина АЕ 100мм, $n = 1,84$; $r_1 = 0,995$, торці просвітлені до $r_{фр} = 0,005$.

В роботі виконати наступне:

- визначити оптимальну кількість квантронів для досягнення заданої потужності;
- визначити розбіжність лазерного пучка, його якість і сталу перетворення.

15. Неодимовий на ітрій – алюмінієвому гранаті лазер неперервної дії має довжину АЕ 120мм. В його квантроні можна встановити АЕ з діаметром 8мм, або 12мм. АЕ при роботі лазера спотворюються в лінзу з $F=1\text{м}$ та $F=0,75\text{м}$, відповідно.

- із двох запропонованих стрижнів виберіть такий, який забезпечує меншу розбіжність генерованого пучка, обґрунтуйте Ваш вибір і доведіть це обчисленням;
- визначити радіус лазерного пучка на дзеркалах і їх радіус;
- розрахувати розбіжність лазерного пучка, порядок старшої моди, яка виходить в генерацію, визначити показник якості і сталу перетворення.

16. Розрахувати основні параметри пучка неодимового на ітрій-алюмінієвому гранаті лазера неперервної дії, який має N квантронів, кожний із них має свій резонатор: генеровану потужність $P_{\text{ген}}$, мінімально можливу розбіжність пучка, якість і сталу перетворення пучка, мінімально можливий діаметр світловолокна з числовою апертурою $A_N=0,25$, якщо відомо: $k_0=0,08\text{ см}^{-1}$, шкідливі втрати активного середовища $\rho_a=0,002\text{ см}^{-1}$, $I_{\text{нас}} = 820\text{ Вт/см}^2$, показник заломлення дорівнює $n=1,84$. Зконструювати оптичну систему введення лазерного пучка в світловод, виведення із нього і фокусування на деталь.

Варіанти: а) $N=3$, активний елемент: $\varnothing 6\text{мм}$, $l=80\text{ мм}$.

17. N квантронів для лазера на ітрій – алюмінієвому гранаті з неодимом об'єднані за схемою: всі квантрони об'єднані одним резонатором, і його випромінювання заведене в оптоволокно; При цьому відомо, що $k_0=0,05\text{ см}^{-1}$, шкідливі втрати активного середовища $\rho_a=0,002\text{ см}^{-1}$, $I_{\text{нас}} = 820\text{ Вт/см}^2$, показник заломлення дорівнює 1,84, діаметр оптоволокна рівний 0,3 мм. Визначити величину досягнутої потужності і розбіжності лазерного випромінювання на виході із оптоволокна. Визначити, чи необхідно просвітлювати торці активного елемента. Розробити і розрахувати оптичні схеми вводу лазерного випромінювання в оптоволокно, розрахувати і зконструювати оптичну систему виводу випромінювання із оптоволокна і його фокусування на деталь з діаметром горловини 0,1 і 0,4 мм, визначити глибину чіткості.

$N = 6$; довжина стрижня квантрона $l=60\text{ мм}$, його діаметр $d=3\text{ мм}$.

18. Визначити оптичну силу теплової лінзи активного елемента лазера на ітрій-алюмінієвому гранаті, легваному неодимом, неперервної дії. АЕ має розміри: довжину 100мм і діаметр 7мм, відстань між дзеркалами резонатора дорівнює подвійній фокусній відстані теплової лінзи АЕ, резонатор симетричний. АЕ збуджується світлом напівпровідникових лазерів з довжиною хвилі $\lambda=0,81\text{мкм}$; в ньому виділяється 150Вт теплової потужності. Визначити діаметр генерованого пучка на дзеркалах, його розбіжність, сталу перетворення і показник якості.

19. Лазер на ітрій-алюмінієвому гранаті, легваному неодимом, неперервної дії. В його резонаторі розміщено на одній осі два квантрони, активні елементи яких мають розміри: довжину 90мм і діаметр 6мм. Під час роботи вони спотворюються в позитивну лінзу з фокусною відстанню 1м. Резонатор симетричний. Визначити діаметр генерованого пучка на дзеркалах, його розбіжність, сталу перетворення і показник якості.

20. Розробити і розрахувати оптичну схему вводу лазерного пучка одноквантронного лазера в оптоволокно і виводу із нього, а також схему фокусування на деталь. При цьому відомо, що квантрон може генерувати максимальну потужність 400 Вт, $k_0=0,08\text{ см}^{-1}$, $I_{\text{нас}} = 820\text{ Вт/см}^2$, шкідливі втрати АС $\rho_a=0,002\text{ см}^{-1}$, торці просвітлені до $r_{\text{фр}}=0,005$, $n=1,84$; $r_1=0,995$. Діаметр серцевини оптоволокна рівний 0,5мм, а його числова апертура $A_N=0,25$. АЕ має довжину 100мм і при роботі лазера спотворюється в лінзу з $F= 0,35\text{м}$.

В роботі виконати наступне:

-розрахувати параметри резонатора і сформованого в ньому пучка, а також схему вводу пучка в оптоволокно;

-розрахувати і сконструювати (тобто намалювати) оптичну систему виводу пучка із оптоволокна і його фокусування на деталь з діаметром сфокусованого пучка 0,4мм.

21. Розрахувати резонатор CO_2 -лазера з теплопровідним охолодженням трубчастої конструкції потужністю $P_{\text{ген}} = 500$ Вт, в якому формується мода TEM_{00} . При цьому відомо, $P_{\text{нак}}/L = 400$ Вт/м, електрооптичний ККД $\eta_{\text{eo}} = 0,21$, $k_0^{\text{макс}} = 0,005$ см⁻¹, шкідливі втрати активного середовища $\rho_a = 0,0001$ см⁻¹.

В роботі виконати наступне:

-Визначити хімічний склад і розміри активного середовища - довжину і діаметр трубки;

розрахувати кривину дзеркал резонатора і їх діаметри;

-обчислити прозорість вихідного дзеркала;

-визначити розбіжність пучка, його показник якості і сталу перетворення.

Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):

Складено доцент, к.т.н., доцент, Кагляк Олексій Дмитрович

Ухвалено кафедрою Лазерної техніки та фізико-технічних технологій (протокол № 4 від 30.11.2022 р.)

Погоджено Методичною комісією Інституту матеріалознавства та зварювання ім. Є.О.Патона

(протокол № 5/22 від 12.12.2022р)