



Спеціальні способи у зварюванні, лазерних та споріднених технологіях

Робоча програма навчальної дисципліни (Силлабус)

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>Інженерія зварювання, лазерних та споріднених технологій</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Очна (денна)</i>
Рік підготовки, семестр	<i>1 курс, осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів ECTS (150 год.), лекції – 36 год., практичні – 14 год., СРС – 100 год.</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>Екзамен, МКР, ДКР</i>
Розклад занять	https://Rozklad.kpi.ua
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<i>Лекції: Котляров В.П. професор, д.т.н. Практичні: Котляров В.П. професор, д.т.н. (099) 385 61 17 WhatsApp ma Viber kotlyarovv@ukr.net; kotlyarovv1943@gmail.com</i>
Розміщення курсу	<i>CAMPUS:</i>

Програма навчальної дисципліни

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

Навчальна дисципліна «Спеціальні способи у зварюванні плавленням, лазерних та споріднених технологіях» продовжує загальну технологічну та конструкторську підготовку фахівців з урахуванням специфіки реалізації технологічних операцій різноманітних видів обробки, включаючи лазерної обробки, що складає схеми та їх технологічне оснащення. Особливість операцій лазерної обробки полягає в тому, що фахівець має справу з не матеріальним, часто-густо не видимим, інструментом у вигляді згустку потужної направленої електромагнітної енергії, який набуває експлуатаційних (режимних) властивостей лише під час виконання операції, тому процедури її проектування та практичної реалізації докорінно відрізняються від подібних завдань не тільки з механічної обробки різанням, а й для інших, споріднених методів.

Засвоєння змісту навчальної дисципліни надає студентам можливості оволодіння навичками створення нових технологічних операцій або застосувань обладнання шляхом модернізації та спеціалізації лазерних технологічних комплексів (ЛТК), що включає до себе таку послідовність дій для стандартних виробничих ситуацій: трансформацію лазера для створення променя як заготовки для подальшого перетворення її в робочий інструмент шляхом використання спеціальних елементів (оптичних затворів, модуляторів, діафрагм); зовнішній вплив на промінь з метою його пристосування до можливостей перетворення оптичними елементами; розширення технологічного забезпечення ЛТК і приладами для аналізу та контролю характеристик променя; розробку або модернізацію оптичних систем для транспортування останнього в зону діяння на заготовку, його перетворення в інструмент, відповідний цілям обробки, з можливістю трансформації до поточних потреб переходів операції; контроль та оцінка результатів обробки в порівнянні з заданими критеріями; зворотній зв'язок з системою керування параметрами променя, як інструменту для корекції ходу обробки в ручному або автоматичному режимах (застосування адаптивних форм організації операцій). Крім того, є широке коло специфічних проблем, які торкаються маніпуляцій з заготовкою, наприклад, забезпечення високого та стабільного рівня поглинання променистої енергії її поверхнею, підтримання достатньої гостроти променя та його розміру в зоні опромінення, незважаючи на її переміщення в 3D просторі при зміні кутів орієнтації в 3ф координатах. До таких задач можна віднести необхідність захисту учасників технологічної системи, що обробляє (ТОС) від діяння продуктів руйнування матеріалу заготовки (ерозійного факелу) і залишків енергії

в останньому та поєднання дії променя з іншими видами енергії, наприклад, електричного струму, стислого газу або вакууму.

Навчальна/дисципліна належить до переліку дисциплін циклу професійної підготовки освітньої програми другого рівня вищої освіти – магістр з прикладної механіки

Предмет навчальної дисципліни: Спеціальні (не традиційні) способи зварювання, лазерної та споріднених видів обробки на базі розробки та застосування технологічних засобів для їх реалізації, модернізації, автоматизації та спеціалізації

Метою навчальної дисципліни є формування у студентів компетентностей у відповідності до ОПП, а саме:

Загальні компетентності (ЗК)	
ЗК.01	Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми
ЗК 02	Здатність застосовувати знання у практичних ситуаціях
Фахові компетентності спеціальності (ФК)	
ФК.01	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.
ФК.02	Здатність описати, класифікувати та змодельовати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук
ФК 05.	Здатність застосовувати відповідні математичні, наукові і технічні методи, інформаційні технології та прикладне комп'ютерне програмне забезпечення для вирішення інженерних і наукових завдань в зварюванні, лазерних та споріднених технологіях.
ФК 06.	Здатність на основі аналізу ризиків при з'єднанні важко зварюваних матеріалів обирати оптимальні технологічні рішення виготовлення конструкцій за допомогою зварювання, лазерних та споріднених технологій та забезпечувати якість з'єднань з різнорідних матеріалів та сплавів з незадовільною здатністю до зварювання.
ФК 07	Здатність обирати технологічні рішення для зварювання виробів в специфічних (незвичайних) умовах та важко зварюваних конструкцій
ФК 08	Здатність розробляти спеціальні способи та засоби лазерної розмірної та поверхневої обробки.

Результати навчання освітнього компонента деталізують такі програмні результати навчання, передбачені Освітньо -Науковою Програмою «Прикладна механіка»:[Т1]

РН 02	Розробляти і ставити на виробництво нові види продукції, зокрема виконувати дослідно-конструкторські роботи та/або розробляти технологічне забезпечення процесу їх виготовлення;
РН 04	Використовувати сучасні методи оптимізації параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, зокрема за умов неповної та суперечливої інформації
РН 05	Самостійно ставити та пов'язувати заклади інноваційного характеру, аргументувати і захищати отримані результати та прийняті рішення
РН 08	Оволодівати сучасними знаннями, технологіями, інструментами і методами, зокрема через самостійне опрацювання фахової літератури, участь у науково-технічних та освітніх заходах
РН 09	Організовувати роботу групи при виконанні завдань, комплексних проєктів, наукових досліджень, розуміти роботу інших, давати чіткі інструкції
РН 10	Вести пошук необхідної інформації в науково-технічній літературі, електронних базах та інших джерелах, засвоювати, оцінювати та аналізувати цю інформацію
РН 12.	Визначати та оцінювати ризики при з'єднанні важко зварюваних матеріалів та конструкцій з урахуванням умов експлуатації розробляти та виконувати заходи щодо підвищення безпеки виробів.
РН 13.	Обирати та розробляти технологічні та технічні рішення для зварювання виробів в специфічних (незвичайних) умовах. розробляти та реалізовувати технології отримання якісних зварних з'єднань та важко зварюваних конструкцій
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)

Дисципліна базується на курсах бакалаврської підготовки по спеціальності Прикладна механіка:

Знання, які одержано під час вивчення освітнього компоненту, забезпечують опанування наступних дисциплін за навчальними планами підготовки магістрів: «**Автоматизовані механічні системи з фізично різнорідним керуванням**»; «**Статистичні і ймовірнісні методи в наукових дослідженнях**»; «**Наукова робота за темою магістерської дисертації. Частина 1. Основи наукових досліджень**»; «**Наукова робота за темою магістерської дисертації. Частина 2. Наукова робота за темою магістерської дисертації**»

3. Зміст навчальної дисципліни

Вступ.

Розділ 1. Зміст та завдання курсу.

Тема 1.1. Структура технологічної системи, що обробляє (ТОС). Напрями розробки спеціальних способів обробки та технологічного оснащення для ТОС

Тема 1.2. Розробка ТЗ на модернізацію використаної чи проектування нової конструкції технологічного оснащення

Розділ 2. Способи та засоби керування параметрами випромінювання, які розташовуються усередині резонатора випромінювача

Тема 2.1. Пристрої для варіювання рівня потужності випромінювання

Тема 2.2. Пристрої для змінення просторових характеристик пучка випромінювання

Тема 2.3. Пристрої для змінення часових характеристик імпульсного режиму випромінювання параметрами пучка випромінювання (оптичні затвори, модулятори).

Тема 2.4. Засоби керованого впливу елементів нелінійної оптики на енергетичні та часові характеристики лазерного променя

Розділ 3. Способи та засоби зовнішнього (поза резонаторного) керування процесом опромінення заготовки

Тема 3.1. Пристрої для змінення характеристик пучка лазерного випромінювання

Тема 3.2. Засоби управління формою перетину пучка лазерного випромінювання

Тема 3.3. Пристрої для змінення напрямку поширення пучка випромінювання

Тема 3.4. Пристрої для перекриття пучка випромінювання (заслінки, затвори)

Розділ 4. Способи та засоби контролю характеристик випромінювання та параметрів його пучка

Тема 4.1. Прибори для виміру інтегральних характеристик пучка лазерного випромінювання

Тема 4.2. Прилади для аналізу розподілу інтенсивності випромінювання в перетині пучка

Розділ 5. Способи та засоби маніпуляцій з лазерним променем. Оптична транспортувальна система

Тема 5.1. Транспортувальні системи на оптичних елементах

Тема 5.2. Оптиковолоконна техніка для транспортування енергії випромінювання

Розділ 6. Способи та засоби створення інструменту з лазерного променя. Оптична перетворювальна система (ОПС)

Тема 6.1. Засоби концентрації енергії випромінювання в зоні обробки

Тема 6.2. Оптичні системи із змінними характеристиками (трансфокатори)

Тема 6.3. Сканери та дефлектори лазерного променя

Тема 6.4. Сканери лазерних фізіотерапевтичних установок

Розділ 7. Способи та засоби для налаштування умов опромінення заготовки. Оптична налагоджувально-наглядова система (ОННС)

Тема 7.1. Систематизація способів та засобів позиціювання

Тема 7.2. Пристрої для позиціювання заготовки за результатами аналізу каустики

Тема 7.3. Пристрої для позиціювання заготовки в ослабленому пучку випромінювання

Тема 7.4. Пристрої для позиціювання заготовки в каустиці пучка випромінювання, перетвореного ОПС, за допомогою випромінювання від додаткового джерела

Тема 7.5. Пристрої для позиціювання заготовки відносно ОПС ЛТУ з візуальною оцінкою результату методом подвійного зображення

Тема 7.6. Автоматизація переходу відносного позиціювання ОПС та заготовки

Тема 7.7. Пристрої для захисту поверхні оптичних елементів від продуктів лазерної ерозії

Розділ 8. Пристрої для реалізації операцій газолазерної обробки.

Тема 8.1. Різаки для подачі газу одного типу

Тема 8.2. Різаки для одночасного формування струменів газу різного призначення (робочого та захисного)

Тема 8.3. Елементи конструкцій різаків, які необхідні для центрування їх сопел

Розділ 9. Способи підвищення та оптимізації рівня поглинання енергії випромінювання поверхнею заготовки та засоби їх реалізації.

Тема 9.1. Оптичні засоби підвищення поглинальної здатності поверхні заготовки

Тема 9.2. Засоби для штучного підвищення поглинальної здатності поверхні заготовки

Тема 9.3. Засоби стабілізації та оптимізації процесу поглинання енергії випромінювання поверхнею заготовки

Розділ 10. Пристосування для установки, базування та закріплення заготовки в робочій зоні

Тема 10.1. Настановні елементи пристосувань

Тема 10.2. Затискні механізми пристосувань

Тема 10.3. Приводи пристосувань

Розділ 11. Способи лазерної поверхневої обробки та технічне оснащення операцій.

Тема 11.1. Пристосування для поверхневої термообробки

Тема 11.2. Пристрої для легування поверхні при лазерному нагріванні

Тема 11.3. Аморфізація поверхні з лазерним опромінюванням

Тема 11.4. Комбінована з поверхнево пластичною деформацією поверхнева лазерна обробка

Тема 11.5. Способи формування регулярного рел'єфу на поверхні виробу.

Розділ 12. Види та технологічне оснащення операцій лазерного зварювання

Тема 12.1. Пристосування для позиціювання заготовок в зоні обробки

Тема 12.2. Пристрої для формування зварювального шва

Розділ 13. Способи лазерного гравірування та технологічне оснащення операцій

Тема 13.1. Нанесення змісту знаку (малюнка) методом його копіювання з маски (трафарету)

Тема 13.2. Пристрої для гравірування малюнка шляхом обходу пучком випромінювання його змісту та контуру

Тема 13.3. Особливості об'ємного гравірування на виробках із термoplastичних матеріалів.

Тема 13.4. Пристрої для гравірування малюнка за комбінованою схемою

Розділ 14. Види контурного вирізання лазерним променем та технологічне оснащення операцій

Тема 14.1. Пристрої для забезпечення належних результатів (кількісних та якісних)

Тема 14.2. Пристрої для формування контуру виробу, що вирізається

Тема 14.3. Способи формування крайок виробів при газо лазерному їх вирізанні

Тема 14.4. Технологічне оснащення систем з адаптивною організацією операції контурного різання

Розділ 15. Технологічне оснащення операцій лазерної розмірної обробки

Тема 15.1. Пристосування для підвищення ефективності операцій

Тема 15.2. Способи та засоби підвищення якості результатів технологічної операції

Тема 15.3. Методи оптимізації теплової історії лазерної прецизійної обробки.

Тема 15.4. Способи формування ненаскрізних отворів прецизійної якості

Розділ 16. Засоби автоматизації та адаптивної організації операції лазерної обробки

Тема 16.1. Способи контролю за станом елементів ЛТУ та керування її вихідними параметрами

Тема 16.2. ЛТУ із засобами безпосереднього контролю результатів операції та керування їх рівнем

Тема 16.3. Адаптивні форми організації технологічної операції

4. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Котляров В.П. Технологічне оснащення лазерних комплексів. Підручник. Електронне видання. Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 592с. **Доступ:** депозитарій НТБ НТУУ «КПІ» [library.ntu-kpi.kiev.ua; http://ela.kpi.ua/handle/123456789/3085;](http://ela.kpi.ua/handle/123456789/3085)
2. Котляров В.П. Спеціальні елементи та оснащення лазерних технологічних комплексів. Навчальний наочний посібник. Електронне видання. Київ: НТУУ «КПІ», 2013. – 293 с. **Доступ:** депозитарій НТБ НТУУ «КПІ» [library.ntu-kpi.kiev.ua; http://ela.kpi.ua/handle/123456789/3082](http://ela.kpi.ua/handle/123456789/3082)
3. Котляров В.П. Технологія лазерної обробки (операції розмірної обробки). Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, - 2010. – 308с. **Доступ:** НТБ НТУУ «КПІ» [library.ntu-kpi.kiev.ua](http://ela.kpi.ua/handle/123456789/3082)

4. Чадюк В. О. Оптоелектроніка: від макро до нано. Передавання, перетворення та приймання оптичного випромінювання: навч. посіб. У 2-х кн. / В. О. Чадюк. – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, Вид-во «Політехніка», 2018. – Кн. 1. – 376 с. (с. 254 – 291) <https://ela.kpi.ua/handle/123456789/31034>

Додаткова література

5. Kotlyarov V.P., Kiyaschenco O.M. Simplified Methodology for the Design of Technological providing for Operations of Laser Treatment. *Surface Engineering and Applied Electrochemistry*, 2019, Vol. 55, No. 6, pp. 692 - 717. © Allerton Press, Inc., 2019.:
6. Котляров В.П., Синюченко В.В. Засоби надання гнучкості інструменту з лазерного променю. Наукові вісті НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» 2018.-№3. С. 70 – 83 **Доступ:** НТБ НТУУ «КПІ» library.ntu-kpi.kiev.ua
7. Котляров В.П., Шкляр С.Г. Систематизація технологічних засад прецизійної лазерної обробки. Вісник НТУУ «КПІ» серія «Машинобудування» - 2019. - №2 (83) С. 61-76 **Доступ:** НТБ НТУУ «КПІ» library.ntu-kpi.kiev.ua,
8. Котляров В.П. Удосконалення сканера лазерних терапевтичних установок. Наукові вісті НТУУ (КПІ).-2014.-№3. С. 53-61. **Доступ:** НТБ НТУУ «КПІ» library.ntu-kpi.kiev.ua,
9. Котляров В.П., Анякін М.І. Методи та засоби відносного позиціювання пучка лазерного випромінювання та заготовки Наукові вісті НТУУ (КПІ).-2009.-№1. С.88-94, **Доступ:** НТБ НТУУ «КПІ» library.ntu-kpi.kiev.ua;
10. Патенти України: : № 76424, № 73872, № 76873, № 86594, № 99407, № 97505, № 97198, № 94453, № 105741, № 103138, № 103152, № 103931, № 107508, № 106630, № 121892, № 119174, № 130161, № 128602, № 134992, № 137935, № 102360

5. Методика опанування навчальної дисципліни на заняттях згідно наступної структури (табл. 1)

Таблиця. 1. Структура викладання освітнього компоненту

Назви розділів і тем	Кількість годин			
	Всього	У тому числі		
		Лекції	Практ	СРС
<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Вступ.				
<i>Призначення та завдання вивчення дисципліни. Зв'язок з іншими дисциплінами навчального плану</i>	1	1	-	-
Розділ 1. Зміст та завдання освітнього компоненту				
<i>Тема 1.1. Структура технологічної системи, що обробляє (ТОС). Напрями розробки технологічного оснащення для ТОС</i>	1.5	0.5	-	1
<i>Тема 1.2. Розробка ТЗ на модернізацію використаної чи проектування нової конструкції технологічного оснащення</i>	1.5	0.5	-	1
Разом за розділом 1	3	1	-	2
Розділ 2. Способи та засоби керування параметрами випромінювання, які розташовуються усередині резонатора випромінювача				
<i>Тема 2.1. Пристрої для варіювання рівня потужності випромінювання</i>	1.5	0.5		1
<i>Тема 2.2. Пристрої для змінення просторових характеристик пучка випромінювання</i>	1.5	0.5		1
<i>Тема 2.3. Пристрої для змінення часових характеристик імпульсного режиму випромінювання параметрами пучка випромінювання (оптичні затвори, модулятори).</i>	2.5	0.5	1	1
<i>Тема 2.4. Засоби керованого впливу елементів нелінійної оптики на енергетичні та часові характеристики лазерного променя</i>	1.5	0.5		1
Разом за розділом 2	7	2	1	4
Розділ 3. Способи та засоби зовнішнього (поза резонаторного) керування процесом опромінення заготовки				
<i>Тема 3.1. Пристрої для змінення характеристик пучка лазерного випромінювання</i>	1.5	0.5	-	1
<i>Тема 3.2. Засоби управління формою перетину пучка лазерного випромінювання</i>	2.5	0.5	1	1
<i>Тема 3.3. Пристрої для змінення напрямку поширення пучка випромінювання</i>	1.5	0.5	-	1
<i>Тема 3.4. Пристрої для перекриття пучка випромінювання (заслінки, затвори)</i>	1.5	0.5		1
Разом за розділом 3	7	2	1	4
Розділ 4. Способи та засоби контролю характеристик випромінювання та параметрів його пучка				
<i>Тема 4.1. Прибори для виміру інтегральних характеристик пучка лазерного випромінювання</i>	1.5	0.5		1
<i>Тема 4.2. Прилади для аналізу розподілу інтенсивності випромінювання в перетині пучка</i>	2.5	0.5	1	1
Разом за розділом 4	4	1	1	2

подовження 1 табл. 1

Назви розділів і тем	Кількість годин			
	Всього	У тому числі		
		Лекції	Практ	СРС
<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Розділ 5. Способи та засоби маніпуляцій з лазерним променем. Оптична транспортувальна система				
<i>Тема 5.1. Транспортувальні системи на оптичних елементах</i>	1.5	0.5	-	1
<i>Тема 5.2. Оптоволоконна техніка для транспортування енергії випромінювання</i>	1.5	0.5	-	1
Разом за розділом 5	3	1	-	2
Розділ 6. Способи та засоби створення інструменту з лазерного променя. Оптична перетворювальна система (ОПС)				
<i>Тема 6.1. Засоби концентрації енергії випромінювання в зоні обробки</i>	3	1	1	1
<i>Тема 6.2. Оптичні системи із змінними характеристиками (трансфокатори)</i>	2	1		1
<i>Тема 6.3. Сканери та дефлектори лазерного променя</i>	2	1	-	1
Разом за розділом 6	7	3	1	3
Розділ 7. Способи та засоби для реалізації умов опромінення заготовки. Оптична налагоджувально-наглядова система				
<i>Тема 7.1. Систематизація методів та засобів позиціювання</i>	0,5	0,5	-	-
<i>Тема 7.2. Пристрої для позиціювання заготовки за результатами аналізу каустики</i>	2,5	0,5	1	1
<i>Тема 7.3. Пристрої для позиціювання заготовки в ослабленому пучку випромінювання</i>	1,5	0,5		1
<i>Тема 7.4. Пристрої для позиціювання заготовки в каустиці пучка випромінювання, перетвореного ОПС, за допомогою випромінювання від додаткового джерела</i>	1.5	0.5		1
<i>Тема 7.5. Пристрої для позиціювання заготовки відносно ОПС ЛТУ з візуальною оцінкою результату методом подвійного зображення</i>	1.5	0.5	-	1
<i>Тема 7.6. Автоматизація переходу відносного позиціювання ОПС та заготовки</i>	1,5	0,5		1
<i>Тема 7.7. Пристрої для захисту поверхні оптичних елементів від продуктів лазерної ерозії</i>	2	1	-	1
Контрольна модульна робота № 1	1	-	1	-
Разом за розділом 7	12	4	2	6
Розділ 8. Пристрої для реалізації операцій газолазерної обробки				
<i>Тема 8.1. Різаки для подачі газу одного типу</i>	1.5	0.5		1.0
<i>Тема 8.2. Різаки для одночасного формування струменів газу різного призначення (робочого та захисного)</i>	1.5	0.5	-	1.0
<i>Тема 8.3. Елементи конструкцій різаків, які необхідні для центрування їх сопел</i>	2	1	-	1
Разом за розділом 8	5	2	-	3

подовження 2 табл.

<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
Розділ 9. Способи підвищення та оптимізації рівня поглинання енергії випромінювання поверхнею заготовки та засоби їх реалізації				
<i>Тема 9.1. Оптичні засоби підвищення поглинальної здатності поверхні заготовки</i>	1,5	0,5	-	1
<i>Тема 9.2. Засоби для штучного підвищення поглинальної здатності поверхні заготовки</i>	3	1	1	1
<i>Тема 9.3. Засоби стабілізації та оптимізації процесу поглинання енергії випромінювання поверхнею заготовки</i>	0,5	0,5	-	-
Разом за розділом 9	5	2	1	2
Розділ 10. Спеціальні пристосування для установки, базування та закріплення заготовки в робочій зоні				
<i>Тема 10.1. Настановні елементи пристосувань</i>	1	1	-	-
<i>Тема 10.2. Затискні механізми пристосувань</i>	0,5	0,5	-	-
<i>Тема 10.3. Приводи пристосувань</i>	0,5	0,5	-	-
Разом за розділом 10	2	2	-	-
Розділ 11. Способи лазерної поверхневої обробки та технічне оснащення операцій				
<i>Тема 11.1. Пристосування для поверхневої термообробки</i>	2	0,5	-	1,5
<i>Тема 11.2. Пристрої для легування поверхні при лазерному нагріванні</i>	2	0,5	-	1,5
<i>Тема 11.3. Аморфізація поверхні з лазерним опромінюванням</i>	1,5	0,5		1,0
<i>Тема 11.4. Комбінована з поверхнево пластичною деформацією поверхнева лазерна обробка</i>	3	0,5	1	1,5
<i>Тема 11.5. Способи формування регулярного рел'єфу на поверхні виробу</i>	2,5	1		1,5
Разом за розділом 11	12	3	1	8
Розділ 12. Види та технологічне оснащення операцій лазерного зварювання				
<i>Тема 12.1. Пристосування для позиціонування заготовок в зоні обробки</i>	1,5	0,5		1
<i>Тема 12.2. Пристрої для формування зварювального шва</i>	1,5	0,5	-	1
Разом за розділом 12	3	1		2
Розділ 13. Способи лазерного гравірування та технологічне оснащення операцій				
<i>Тема 13.1. Нанесення змісту знаку (малюнка) методом його копіювання з маски (трафарету)</i>	2,5	0,5	1	1
<i>Тема 13.2. Пристрої для гравірування малюнка шляхом обходу пучком випромінювання його змісту та контуру</i>	1,5	0,5		1
<i>Тема 13.3. Пристрої для гравірування малюнка за комбінованою схемою</i>	2	0,5		1,5
<i>Тема 13.4. Особливості об'ємного гравірування на виробах із термопластичних матеріалів.</i>	3	0,5	1	1,5
Разом за розділом 13	9	2	2	5
Розділ 14. Види контурного вирізання лазерним променем та технологічне оснащення операцій				
<i>Тема 14.1. Пристрої для забезпечення належних результатів (кількісних та якісних) обробки</i>	3	1	1	1

подовження 3 табл.

<i>I</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>
<i>Тема 14.2. Пристрої для формування контуру виробу, що вирізається</i>	3	1	1	1
<i>Тема 14.3. Способи формування крайок виробів при газо лазерному їх вирізання</i>	2	1		1
Разом за розділом 14	8	3	2	3
Розділ 15. Технологічне оснащення операцій лазерної розмірної обробки				
<i>Тема 15.1. Пристосування для підвищення ефективності операцій</i>	1.5	0.5		1
<i>Тема 15.2. Засоби підвищення якості результатів технологічної операції</i>	2.0	1		1
<i>Тема 15.3. Методи оптимізації теплової історії лазерної прецизійної обробки</i>	3	1	1	1
<i>Тема 15.4. Способи формування ненаскрізних отворів прецизійної якості</i>	1.5	0.5		1
Разом за розділом 15	8	3	1	4
Розділ 16. Засоби автоматизації та адаптивної організації операції лазерної обробки				
<i>Тема 16.1. Засоби контролю за станом елементів ЛТУ та керування її вихідними параметрами</i>	2	1		1
<i>Тема 16.2. ЛТУ із засобами безпосереднього контролю результатів операції та керування їх рівнем</i>	3	1	1	1
<i>Тема 16.3. Адаптивні форми організації технологічної операції</i>	3	1		2
Контрольна модульна робота №2	1	-	1	
Разом за розділом 16	9	3	1	6
Домашня контрольна робота	10	-	-	10
Екзамен	36	-	-	36
Всього годин	150	36	14	100

5.1. Лекційні заняття

Таблиця 2. Теми лекційних занять

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань
1	Вступ Тема 1.1 <i>Зміст та задача навчальної дисципліни. Визначення об'єкту ТОС та напрямку його вдосконалення.</i> Тема 1.2. <i>Розробка ТЗ на модернізацію використаної чи проектування нової конструкції технологічного оснащення</i> Аналіз якісних та кількісних результатів обробки та критеріїв технічного завдання (ТЗ) для визначення напрямку(напрямків) вдосконалення технологічної операції. Оцінка очікуваної економічної ефективності вибраного методу вдосконалення. Методика пошуку відомих науково-технічних рішень, які відбивають сучасний рівень досягнень у області проектування. Класифікація аналогів за ефектом, що досягається, вибір прототипу. Формування переліку критеріїв, яким повинно відповідати технічне рішення, що проектується. Література: базова - [1] стор. 7 – 25; [2] Пр1Л1_3 слайди 2-4 Завдання на СРС: Залежність структури ТОС та напрямків розробки оснащення від призначення технологічного обладнання, типу випромінювача та режиму його роботи. Завдання на СРС Міжнародна та державна патентна класифікації. Визначення класів, які торкаються лазерної техніки, лазерної технології та технологічного оснащення загального призначення. Література: [10]
1, 2, 3	Тема 2.1. <i>Пристрої для варіювання рівня потужності випромінювання.</i> Засоби відведення енергії із резонатора лазера для плавного регулювання її рівня. Підвищення середнього рівня потужності променя скороченням заднього фронту імпульсу. Література: базова - [1] стор. 26 – 30; [2] Пр1Л1_3, слайд 5; Завдання на СРС: Які засоби використовуються в серійних конструкціях лазерів для керування енергетичними параметрами пучка випромінювання? Оцініть можливості такого керування режимом роботи лазера. Виявіть причини такого впливу на режим генерації обраного методу керування роботою лазера. Література додаткова – [2] [10]...
3	Тема 2.2. <i>Пристрої для змінення просторових характеристик пучка випромінювання</i> Вплив конфігурації резонатора на кутові та розмірні характеристики променя. Гнучка резонаторна оптика. Література: базова - [1] стор. 31 – 38; [2] Пр1Л1_3, слайд 6-8; Завдання на СРС. Конфігурація резонатора лазера: шляхи впливу на кутові та розмірні характеристики променя. Які конструкції дзеркал дозволяють плавно їх змінювати? Література додаткова – [3], [4]
4	Тема 2.3. <i>Пристрої для змінення часових характеристик імпульсного режиму випромінювання: параметрами пучка випромінювання (оптичні затвори, модулятори).</i> Механізм підсилення електромагнітної енергії в лазерному резонаторі. Чинники нерегулярності часової структури імпульсу випромінювання. Класифікація лазерних затворів. Оптичні лазерні затвори. Література: базова - [1] стор. 38 – 44; 48 – 56; [2] Пр1Л1_3, слайд 9-19; Завдання на СРС: Який головний принцип впливу на роботу лазера лежить в основі зміни добротності його резонатора. Які режими генерації лазера досягаються зміною добротності резонатора? За якими ознаками класифікують модулятори добротності лазерів? Література додаткова: [3], [10]
5	Тема 2.3. <i>Пристрої для змінення часових характеристик імпульсного режиму випромінювання: параметрами пучка випромінювання (оптичні затвори, модулятори).</i> (подовження) Література: базова - [1] стор. 45 – 47; [2] Пр1Л1_3, слайд 20-25; Пр1Л1_4 сл. 2-7 Механічні модулятори. Завдання на СРС: Привести альтернативні схеми резонаторних модуляторів випромінювання для різноманітних типів лазерів /із газовим активним середовищем, на рубіні і на неодимових активних центрах/. Обґрунтувати застосування тієї або іншої схеми модуляції в кожному випадку й уявити ескізний проект обраних засобів. Схема пасивного затвора. Література додаткова: [3], [10]
6	Тема 2.4. <i>Засоби керованого впливу елементів нелінійної оптики на енергетичні та часові характеристики лазерного променя</i> Література: базова - [1] стор. 45 – 47; [2] Пр1Л1_3, слайд 20-25; Пр1Л1_4 сл. 2-7 Пасивні затвори. Основи нелінійної оптики. Багато фотонне поглинання енергії накачування. Явище самофокусування променя. Завдання на СРС: Привести альтернативні схеми резонаторних модуляторів випромінювання для різноманітних типів лазерів /із газовим активним середовищем, на рубіні і на неодимових активних центрах/. Обґрунтувати застосування тієї або іншої схеми модуляції в кожному випадку й уявити ескізний проект обраних засобів. Схема пасивного затвора. Література додаткова: [3], [10]
6	Тема 3.1 <i>Пристрої для поза резонаторного впливу на пучок випромінювання: зміна характеру розподілу інтенсивності оптичними методами (фільтри, прозорі та дзеркальні оптичні системи).</i> Тема 3.2. <i>Перетворення перерізу пучка випромінювання оптичними засобами.</i> Література: базова - [1] стор. 81 – 93; [2] Пр2Л4, слайди 1-7. Завдання на СРС: Наведіть схеми фільтрації пучка випромінювання та перебудови його перетину для управління розподілом потужності на поверхні заготовки. В яких операціях застосовуються ці пристрої. Які залежності можна використовувати для вибору параметрів фільтрів або оптичних елементів. Література додаткова: [2], [3], [10]
7	Тема 3.3. <i>Пристрої для зміни напрямку розповсюдження пучка випромінювання</i> Тема 3.4. <i>Засоби паралельного переносу осі або зміна її нахилу. Затвори для лазерного променя.</i> Призначення та конструювання затворів та перервачів пучка випромінювання Література: базова - [1] стор. 93 – 111; [2] Пр2Л4, слайди 8-14. Завдання 1 на СРС: Запропонуйте схему паралельного зміщення осі пучка, який можна розташувати між лазером та оптичною системою для суміщення їх оптичних осей. Для яких за формою перетинів пучка

	випромінювання застосовують його перебудову з метою оптимізації умов опромінення заготовки з прямокутними межами поверхні. <u>Завдання 2 на СРС:</u> Як залежить склад заслінки від потужності лазера, призначення заслінки та операції, що виконується на ЛТУ? <i>Література додаткова:</i> [2],[10]
8	Тема 4.1. Прибори для виміру інтегральних характеристик пучка лазерного випромінювання Класифікація вимірювальних пристроїв за призначенням, методом виміру та впливу на процес обробки. Пристрої для вимірювання інтегральних характеристик пучка випромінювання Література: базова - [1] стор. 113 – 128; [2] ПрЗЛІ5_6, слайди 1-5. <u>Завдання на СРС:</u> Розробити схему відбору проб потужності пучка випромінювання для постійного контролю його рівня потужності, включаючи час виконання технологічної операції. Які чутливі датчики використовуються в приладах з прямим методом оцінювання рівня потужності (енергії)? <i>Література додаткова:</i> [3]. [10] Тема 4.2. Прилади для аналізу розподілу інтенсивності випромінювання в перетині пучка Прилади для аналізу пучків випромінювання поперек їх зрізу, головний принцип відбору інформаційного сигналу. Література: базова - [1] стор. 128 – 140; [2] ПрЗЛІ5_6, слайди 6-12. <u>Завдання на СРС:</u> Датчики для аналізаторів (фотоелектричні, пневматичні, піроприймач, датчики опору та ін.). Їх частотні, часові та характеристики швидкодії. Схеми точкового відбору потужності вздовж однієї та двох координат поперек пучка випромінювання. Література основна [4] Тема 4.2. Прилади для двох координатного аналізу розподілу інтенсивності випромінювання в перетині пучка. Прохідні схеми аналізаторів. Прилади для аналізу пучків випромінювання поперек їх зрізу, головний принцип відбору інформаційного сигналу. Література: базова - [1] стор. 128 – 140; [2] ПрЗЛІ5_6, слайди 6-12. <i>Література додаткова:</i> [10] <u>Завдання на СРС:</u> Датчики для аналізаторів (фотоелектричні, пневматичні, піроприймач, датчики опору та ін.). Їх частотні, часові та характеристики швидкодії. Схеми точкового відбору потужності вздовж однієї та двох координат поперек пучка випромінювання. <i>Література додаткова:</i> [3]
9	Тема 5.1. Транспортувальні системи на оптичних елементах Класифікація засобів постачання енергії лазерного випромінювання до одного або кількох споживачів. Сумування енергії пучків з однією та різними довжинами хвиль під час транспортування на дзеркальних та прозорих елементах. Розподіл та складання потужності декількох лазерів. Література: базова - [1] стор. 141 – 160; [2] ПрЗЛІ5_6, слайди 15-24. <u>Завдання на СРС:</u> Складіть схему постачання енергії лазерного випромінювання для: - послідовних споживачів; - для паралельно працюючих зон обробки. Визначити параметри дзеркальної оптики для поділу пучка на складові. <i>Література додаткова:</i> [3],[10] Тема 5.2. Оптиковолоконна техніка для транспортування енергії випромінювання Пристрої для введення енергії лазерного випромінювання в волоконний кабель. Вихідні пристрої волоконних систем. Корекція кутових характеристик пучка лазерного випромінювання. Оптичні перетворюючі системи для світло волокна. Література: базова - [1] 161 – 172; [2] ПрЗЛІ25_27. <u>Завдання на СРС:</u> Розрахуйте параметри пристрою вводу пучка випромінювання $\varnothing 8$ мм у оптичне волокно $\varnothing 100$ мкм із плавленого кварцу (показник заломлення $n = 1,5$) в полімерній оболонці ($n = 1,25$). Розрахуйте параметри коригуючої лінзи для придання пучку випромінювання на виході з волоконного кабелю кут розбіжності $0,003$ радіана. Спроектуйте оптичну перетворюючу систему для концентрації пучка випромінювання ($\lambda = 1,06$ мкм) в зону опромінення $\varnothing 0,03$ мм. <i>Література додаткова:</i> [4], [10] Тема 5.2. Оптиковолоконна техніка для транспортування енергії випромінювання Явище каналізації електромагнітного поля в діелектричних матеріалах. Чи корисне це явище і чим воно ускладнює використання опто волокна для високоенергетичного промення. Література: базова - [1] 141 – 172; [2] ПрЗЛІ25_27. <u>Завдання на СРС:</u> Розрахуйте параметри пристрою вводу пучка випромінювання $\varnothing 8$ мм у оптичне волокно $\varnothing 100$ мкм із плавленого кварцу (показник заломлення $n = 1,5$) в полімерній оболонці ($n = 1,25$). Розрахуйте параметри коригуючої лінзи для придання пучку випромінювання на виході з волоконного кабелю кут розбіжності $0,003$ радіана. Спроектуйте оптичну перетворюючу систему для концентрації пучка випромінювання ($\lambda = 1,06$ мкм) в зону опромінення $\varnothing 0,03$ мм. <i>Література додаткова:</i> [10]
9,	Тема 6.1. Засоби концентрації енергії випромінювання в зоні обробки Одно - та багатолінзові (дзеркальні) системи, трансфокатори Література: базова - [1] стор. 173 - 201; [2] Пр4ЛІ7_8, слайди 2-18. <u>Завдання на СРС:</u> Розрахуйте параметри мульти-лінзової фокусуючої системи (колективна лінза) для одночасної обробки системи отворів в ситах для сортування кристалів $\varnothing 0,1$ мм, розташованих з кроком 3 мм на поверхні дна стакану $\varnothing 30$ мм із латуні ЛС59 завтовшки $0,05$ мм. <i>Література додаткова:</i> [1, 2], [10] Тема 6.2. Оптичні системи із змінними характеристиками (трансфокатори) Сканери на прозорих та дзеркальних елементах. Сканери фізіотерапевтичних установок. Література: базова - [1] стор. 203 – 257; стор. 222 – 252; [2] Пр4ЛІ7_8, слайди 19-30; Пр. 5*ЛІ9_10, слайди 1-28; <i>додаткова</i> [4]; <u>Завдання на СРС:</u> Навести схеми перетворення пучка лазерного випромінювання оптичним клином, призми, сферичними та несферичними оптичними елементами. Закономірності проходження через ці елементи параксильних пучків (геометрична оптика). Променевий пакет. Сканери для сканування променя в фізіотерапевтичних установках <i>Література додаткова</i> – [4],[0] Тема 6.3. Сканери лазерних фізіотерапевтичних установок. Проблеми сканування з дотриманням рівномірності розподілу променистої енергії по площі опроміненої поверхні. Сканери на прозорих та дзеркальних елементах. Сканери фізіотерапевтичних установок.

	Література: базова - [1] стор. 203 – 257; стор. 222 – 252; [2] Пр4Л17_8, слайди 19-30; Пр. 5*Л9_10, слайди 1-28; <i>додаткова</i> [4]; Завдання на СРС: Навести схеми перетворення пучка лазерного випромінювання оптичним клином, призми, сферичними та несферичними оптичними елементами. Закономірності проходження через ці елементи параксимальних пучків (геометрична оптика). Променевий пакет. Сканери для сканування променя в фізіотерапевтичних установках <i>Література додаткова</i> – [4],[10]
10	Тема 7.1. Систематизація методів та засобів позиціювання. Класифікація методів позиціювання заготовки у пучку випромінювання. Тема 7.2. Налаштування оптичної системи за результатами аналізу каустики пучка випромінювання. Порівняння за точністю виконання процедури обидвох методів аналізу каустики променя. Література: базова - [1] стор. 258 – 269; [2] Пр6Л11_12, слайди 2-6. Завдання на СРС: Наведіть пристрої для трьох мірного сканування пучка випромінювання в фокальній області перетворюючого елемента з метою візуалізації каустики пучка та його прив'язки до робочої зони ЛТУ. Порівняйте розрахунком похибки визначення розміру перетину каустики для двох схем аналізу. <i>Література додаткова</i> [5], [10] Тема 7.3. Пристрої для позиціювання заготовки в ослабленому пучку випромінювання Принципи підміни робочого режиму генерації лазерного проміню на слабкий режим. Проблеми точності такого способу налагодження. Література: базова - [1] стор. 269 – 284; [2] Пр6Л11_12, слайди 7-13. Завдання на СРС: Які особливості застосування малопотужного випромінювання однієї довжини хвилі при налагодженні відносного положення пучка випромінювання та заготовки? <i>Література додаткова</i> – [5], [10] Тема 7.4. Пристрої для позиціювання заготовки в каустиці пучка випромінювання, перетвореного ОПС, за допомогою випромінювання від додаткового джерела Схеми налагодження відносного положення проміню та заготовки при її освітлення мало потужним випромінюванням видимого діапазону, засоби корекції відмінностей робочого та допоміжного променя. Порівняльні характеристики точності налагодження за цими методами. Література: базова - [1] стор. 269 – 284; [2] Пр6Л11_12, слайди 7-13. Завдання на СРС: Які особливості застосування додаткового малопотужного випромінювання з довжиною хвилі видимого діапазону при налагодженні відносного положення пучка випромінювання та заготовки? <i>Література додаткова</i> – [5] [10] Тема 7.5. Пристрої для позиціювання заготовки відносно ОПС ЛТУ з візуальною оцінкою результату методом подвійного зображення Порівняльні характеристики точності налагодження за цими методами. Експериментальне та аналітичне дослідження методів. Література: базова - [1] стор. 285 – 306; [2] Пр6Л11_12, слайди 14-25. Завдання на СРС: Оцініть порівняльну точність налагодження мікроскопного та методу подвійного зображення для випадку використання лінзи із скла ($n = 1,5$) з фокусною відстанню 100 мм за умови застосування робочого лазера Nd³⁺: YAG для обробки та лазера He-Ne для відносного позиціювання каустики пучка випромінювання з кутом розбіжності $\theta = 0,002$ радіану діаметром 7 мм. Окуляр мікроскопу (об'єктив – робоча лінза) має збільшення $\Gamma^* = 15$. <i>Література додаткова</i> – [5],[10] Тема 7.6. Автоматизація переходу відносного позиціювання ОПС та заготовки Автоматизація процесу відносного позиціювання заготовки та пучка випромінювання. Застосування механічних (контактних) упорів та безконтактних систем (смкісних, індуктивних, магнітних та пневматичних). Література: базова - [1] стор. 306 – 318; [2] Пр6Л11_12, слайди 26-32. Завдання на СРС: Розрахуйте параметри допоміжного телескопу для суміщення перетинів перетворених лінзою $\varnothing 20$ мм з $F = 100$ мм ($n = 1,5$) пучків випромінювання допоміжного лазера ($\lambda = 0,6328$ мкм, $\varnothing 3$ мм, $\theta = 0,001$ радіана) та робочого ($\lambda = 1,06$ мкм, $\varnothing 6$ мм, $\theta = 0,003$ радіана). <i>Література додаткова</i> – [3], [10] Тема 7.7. Пристрої для захисту поверхні оптичних елементів від продуктів лазерної ерозії Класифікація засобів захисту за фізичним принципом дії. Механічні, електрофізичні та комбіновані засоби захисту. Література: базова - [1] стор. 318 – 336; [2] Пр6Л11_12, слайди 33-39. Завдання на СРС: Електростатичні та електромагнітні поля, поняття, утворення полів визначеної конфігурації та інтенсивності. <i>Література додаткова</i> – [3], [10]
10,	Тема 8.1. Різаки для подачі газу одного типу Тема 8.2. Різаки для одночасного формування струменів газу різного призначення (робочого та захисного) Тема 8.3. Елементи конструкцій різаків, які необхідні для центрування їх сопел Конструювання різаків для подачі робочого (технологічного) газу. Проектування пристроїв для подачі системи газів (робочого та допоміжного). Різаки для подачі газу під кутом до осі пучка. Література: базова - [1] стор. 337 – 351; [2] Пр7Л13_14, слайди 2-5. Завдання на СРС: Вивчіть основні процеси при витіканні газів із сопла. Розрахунки кінематичних та динамічних параметрів газових струменів (дозвукових та над звукових). <i>Література додаткова</i> – [1], [10] Тема 9.1. Оптичні засоби підвищення поглинальної здатності поверхні заготовки Тема 9.2. Засоби для штучного підвищення поглинальної здатності поверхні заготовки Тема 9.3. Засоби стабілізації та оптимізації процесу поглинання енергії випромінювання поверхнею заготовки Класифікація технологічних схем опромінення за впливом на рівень поглинання променевої енергії заготовкою. Конструкція пристроїв для нанесення покриттів з твердих, рідких та газових поглиначів. Оптимізація процесу поглинання променевої енергії у зоні обробки. Література: базова - [1] стор. 352 – 372; [2] Пр7Л13_14, слайди 8-15. Завдання на СРС: Теорія Друде – залежність рівня поглинання електромагнітної енергії речовиною від її електропровідності. <i>Література допоміжна</i> – [1], [2], [10] Тема 10.1. Настановні елементи пристосувань Тема 10.2. Затискні механізми пристосувань Тема 10.3. Приводи пристосувань

	Аналіз похибки установки заготовки у позицію для обробки. Приладдя для установки, базування заготовки, конструювання спеціальних опорних елементів столів ЛТК. Затискні механізми, конструкції їх приводів. Література: базова - [1] стор. 373 – 391; Пр8Л15_16, слайди 2-10. Завдання на СРС: Ознайомтесь та наведіть приклади універсальних збірних пристосувань (УЗП). Застосування елементів УЗП у технологічних операціях лазерної обробки – в чому їх переваги. Література базова: [1]
10	Тема 10.1. Настановні елементи пристосувань Тема 10.2. Затискні механізми пристосувань Тема 10.3. Приводи пристосувань Аналіз похибки установки заготовки у позицію для обробки. Приладдя для установки, базування заготовки, конструювання спеціальних опорних елементів столів ЛТК. Затискні механізми, конструкції їх приводів. Література: базова - [1] стор. 373 – 391; Пр8Л15_16, слайди 2-10. Завдання на СРС: Ознайомтесь та наведіть приклади універсальних збірних пристосувань (УЗП). Застосування елементів УЗП у технологічних операціях лазерної обробки – в чому їх переваги. Література базова: [1]
11	Тема 11.1. Класифікація операцій лазерної поверхневої обробки. Вдосконалення операцій поверхневої термообробки: схеми опромінення, пристрої для перетворення пучків випромінювання. Література: базова - [1] стор. 392 – 398; [2] Пр8Л15_16; . Завдання на СРС: Які проблеми зустрічаються при застосуванні лазерної поверхневої обробки. Який вид термообробки являється конкурентним до лазерного поверхневого загартування. Доведіть їх відмінності та переваги кожного з них. Література додаткова: [-] Тема 11.2. Вдосконалення операцій поверхневого легування. Пропонується новий метод постачання модифікатору у шар легування. Завдання на СРС: Оцінити відносне зміння ширини контурної лінії по полю фокальної площини сферичної лінзи $\varnothing 30$ мм ($n = 1,5$) з фокусною відстанню $F = 100$ мм на відстані 50 мм від її центра ($\lambda = 0,6943$ мкм, $\varnothing 6$ мм, $\theta = 0,003$ радіана - [1] стор. 398 – 401; [2] Пр8Л17; допоміжна –[1]. Завдання на СРС: Який механізм взаємодії між матеріалом матриці та модифікатору складає основу легування поверхневого шару заготовки. Виконайте аналіз механізмів при різних видах контакту матеріалів матриці та модифікатору. Спробуйте запропонувати діючу схему створення ідеального контакту між цими матеріалами Література додаткова: [10] Тема 11.3. Розробка операцій аморфізації (glazing process) поверхні виробу при лазерному нагріві. Розробка способу та приладів для прикладних операцій аморфізації поверхні заготовки. Література: базова - [1] стор. 402 – 406; [2] Пр8Л18; [5], додаткова –[1],[10] Завдання на СРС: Визначити режим лазерного опромінення, який може бути застосованим для формування аморфних плівок або шарів на поверхнях виробу. Встановіть, що заважає процесу аморфізації крім швидкості кристалізації структури матеріалу при його затвердінні. Розрахуйте параметри пристрою для формування доріжки з аморфної плівки на поверхні плоского виробу довжиною 20 мм. Оберіть потрібний матеріал плівки, ефективний лазер та кути клину для реалізації операції. Література додаткова –[6], [10] Тема 11.4. Розробка пристроїв для комбінованої (з поверхневою пластичною деформацією) лазерної обробки поверхні. Схеми комбінованої (з ППД) поверхневої обробки для створення регулярного мікрорельєфу Література: базова - [1] стор. 406 – 423; [2] Пр8Л19_22; [5], додаткова –[1]. Завдання на СРС: Ознайомтесь з основами теорії пластичності, основними розрахунковими схемами. Розрахуйте умов та пристроїв для поверхневої пластичної деформації виробів. Конструювання інденторів для формування регулярного мікрорельєфу Література додаткова: [6], [10] Тема 11.5. Способи формування регулярного рел'єфу на поверхні виробу ЛТУ для формування системи лунок (ненаскріжних отворів та рисок як у вигляді окремих переходів або одночасно з формуванням шару матеріалу з визначеними властивостями Література: базова - [1] стор. 422 – 423; [2] Пр8Л19_22; [5], додаткова –[1],[10]
12	Тема 13.1. Нанесення змісту знаку (малюнка) методом його копіювання з маски (трафарету) Класифікація методів поверхневого гравірування. Розробка пристроїв для обробки за схемою копіювання змісту малюнка із змінним змістом малюнка. Література: базова - [1] стор. 438 - 451; [2] Пр9Л16_18, слайди 12-18.[5], Завдання на СРС: Проаналізувати якісні характеристики операцій гравірування копіюванням та застосувати схему активного проєкційного методу розмірної обробки в операціях поверхневого гравірування. Література допоміжна: - [9]
12	Тема 13..2. Пристрої для гравірування малюнка шляхом обходу пучком випромінювання його змісту та контуру Засоби швидкісного програмного сканування лазерним променем. Розробка та вдосконалення схем та пристроїв для комбінованого гравірування. Література: базова - [1] стор. 451 - 462; [2] Пр9Л16_18, слайди 19-23.[5], Завдання на СРС: Оцінити відносне зміння ширини контурної лінії по полю фокальної площини сферичної лінзи $\varnothing 30$ мм ($n = 1,5$) з фокусною відстанню $F = 100$ мм на відстані 50 мм від її центра ($\lambda = 0,6943$ мкм, $\varnothing 6$ мм, $\theta = 0,003$ радіана Література допоміжна: -[10] Тема 13.3. Пристрої для гравірування малюнка за комбінованою схемою Порівняння за ефективністю контурне та комбіноване гравірування. Література: базова - [1] стор. 462 - 468; [2] Пр9Л16_18, слайди 24-27. [5], Завдання на СРС: Оцінити переваги та недоліки відомих комбінованих схем гравірування за якістю малюнка, продуктивності операції та складності її технологічного оснащення Література додаткова: [9], [10] Тема 13.4. Особливості об'ємного гравірування на виробках із термопластичних матеріалів Завдання розробки та впровадження об'ємного формування знаків на поверхні заготовки, які потрібні для використання у контактних приладах для людей з послабленим зором або сліпих Завдання на СРС: <u>Перенести досвід гравірування термопластичних пластмас на інші напівпрозорі матеріали.</u> Література: додаткова [10]

13	Тема 14.1. Пристрої для забезпечення належних результатів розрізання Класифікація методів розмірного розділення заготовки на складові відносно типу матеріалу, виду та розмірів виробів. Вимоги до технологічного устаткування для контурного вирізання. Склад ЛТУ з необхідним технологічним оснащенням. Література: базова - [1] стор. 471 – 491; Пр10Л19_20, слайди 2; [5]. Завдання на СРС: Наведіть схему або блок-схему ЛТУ із спрощеною реалізацією принципу п'яти координатного вирізання фасонних виробів із не плоскої заготовки Тема 14.2. Пристрої для формування контуру виробу, що вирізається [5]. Прилади для формування простих та складних за формою контурів вирізання. Література: базова - [1] стор. 491 – 499; [2] Пр10Л19_20, слайди 3-12; [5]. Завдання на СРС: Розробити відповідно до наведеного алгоритму програму для визначення параметрів асиметричних пучків випромінювання, перетворених ексцентричною лінзою Тема 14.3. Способи формування крайок виробів при газо лазерному їх вирізанні Використання асиметричних променів для керування профілю різь. Тема 14.4. Технологічне оснащення систем з адаптивною організацією операції контурного різання Література: базова - [1] стор. 476 – 508; [2] Пр10Л19_20, слайди 12_13; [5]. Завдання на СРС: Ознайомитися з основами та принципами теорії автоматичного регулювання. Вимоги до складу та побудови систем автоматичного керування. Література додаткова: [4], [10]
13	Тема 15.1. Пристосування для підвищення ефективності операцій ЛРО Розробка схем обробки та приладів для підвищення ефективності та продуктивності технологічних операцій обробки отворів. Література: базова - [1] стор. 509 – 519; виро [2] Пр10Л18_20, слайди 2-3. Завдання на СРС: Оцініть зручність та ефективність наведених методів та засобів підвищення ефективності використання енергії лазерного випромінювання в технологічних операціях. Запропонуйте інші схеми впливу на рівень поглинання. Чим можна вплинути на продуктивність технологічної операції розмірної обробки? Що таке «оптимальна організація» операції лазерної обробки отворів Література базова [4], додаткова: [5], [10] Тема 15.2. Засоби підвищення якості результатів технологічної операції Класифікація методів та засобів підвищення якості обробки. Комбіновані схеми обробки якісних отворів. Література: базова - [1] стор. 520 – 531; [2] Пр10Л18_20, слайди 4, 5. Завдання на СРС: Норми точності та якості отворів круглої та не круглої форми. Наведіть або запропонуйте методи додаткового доопрацювання (калібрування) отворів під час або після виконання операції лазерної обробки. Література додаткова : [5], [10] Тема 15.3. Методи оптимізації теплової історії лазерної прецизійної обробки. Шляхи підвищення якості розмірної обробки оптимізацією властивостей матеріалу заготовки, що обробляється. Вплив на структуру матеріалу та його дисперсність, формування об'ємного теплового джерела в межах зони опромінення, створення теплового завісу навколо останньої, використовуючи складний за формою та енергетичний заповненості інструмент із лазерного променя. Завдання на СРС: Оцінити вплив на форму поперек отвору, що обробляється, розподілу променистої енергії в інструменті, та зробити висновки до його корекції та якості. Література додаткова : [5], [10] Тема 15.4. Способи формування ненаскрізних отворів прецизійної якості Використання засобів впливу на структуру та властивості матеріалу заготовки для підвищення якості результатів обробки, використання засобів додаткового впливу на процес формоутворення (УЗК, електричний розряд, механічну дію струменя газу, вакуумування порожнини отвору, тощо). Завдання на СРС: Як створити систему активного контролю розміру поперек отвору в умовах відсутності наскрізності його порожнини? Література: базова [2], додаткова [5], [10].
14	Тема 16.1. Засоби контролю за станом елементів ЛТУ та керування її вихідними параметрами/ Розробка схем автоматизації з контролем прямих та непрямих показників операції (стан лінзи, випромінювача). Елементна база засобів автоматизації. Література: базова - [1] стор. 532 – 535; Пр10Л18_20, слайд 6. Завдання на СРС: Яким чином можна виключити необхідність контролювати стан лінзи, вихідного вікна лазера та його резонатору? Запропонуйте шляхи реалізації цих ідей. Література: базова - [1] стор. 532 – 535; Пр10Л18_20, слайд 6.
15	Тема 16.2. ЛТУ із засобами безпосереднього контролю результатів операції та керування їх рівнем. Елементна база засобів автоматизації. Прилади активного контролю в операціях лазерної обробки. Вплив особливостей інструменту – лазерного променя на вибір засобів активного контролю розмірів обробки. Література: базова - [1] стор. 532 – 535; Пр10Л18_20, слайд 6. Завдання на СРС: Яким чином можна виключити необхідність контролювати стан лінзи, вихідного вікна лазера та його резонатору? Запропонуйте шляхи реалізації цих ідей. Тема 16.3. Адаптивні форми організації технологічної операції Створення схем та конструкцій ЛТУ за адаптивними принципами організації технологічних операцій. Вимірювання прямих та непрямих параметрів процесу для створення інформаційної бази для оцінювання ходу обробки. Література: базова - [1] стор. 541 - 560; [2] Пр10Л18_20, слайди 8-11. Завдання на СРС: Наведіть алгоритм функціонування ЛТУ для різних форм адаптивної організації операції. Які відмінності вимірювальних пристроїв для різних алгоритмів? Наведіть приклади операцій лазерної обробки, де можливе застосування повністю автоматизованого циклу їх організації Література базова: [4], [10]

Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять полягають у формуванні у студентів практичних навичок і умінь

№ з/п	Назва теми практичного заняття та перелік основних питань
1	Тема 2.3. Пристрої для змінення часових характеристик імпульсного режиму випромінювання параметрами пучка випромінювання (оптичні затвори, модулятори). Мета: Засвоїти шляхи впливу на часові характеристики імпульсу випромінювання, познайомитися зі схемами та конструкціями модуляторів. Література: основна [1, 2], додаткова [10] Завдання на СРС: Привести альтернативні схеми резонаторних модуляторів випромінювання для різноманітних типів лазерів /із газовим активним середовищем, на. рубіні і на неодимових активних центрах/. Обґрунтувати застосування тієї або іншої схеми модуляції в кожному випадку й уявити ескізний проект обраних засобів. Схема пасивного затвора
2	Тема 3.2. Засоби управління формою перетину пучка лазерного випромінювання Мета: Прозорі та дзеркальні засоби профілювання лазерного променя, як інструменту. Література: основна [1, 2], додаткова [10] Завдання на СРС: Наведіть схеми фільтрації пучка випромінювання та перебудови його перетину для управління розподілом потужності на поверхні заготовки. В яких операціях застосовуються ці пристрої. Які залежності можна використовувати для вибору параметрів фільтрів або оптичних елементів.
3	Тема 4.2. Прилади для аналізу розподілу інтенсивності випромінювання в перетині пучка випромінювання. Мета: Системи нагляду за виконанням технологічного регламенту операції, визначення розподілу променистої енергії у попереку променя, постійний контроль за поточним рівнем загальних характеристик (енергетичних, просторових та часових характеристик). Література: основна [1, 2], додаткова [10] Завдання на СРС: Розробити схему відбору проб потужності пучка випромінювання для постійного контролю його рівня потужності, включаючи час виконання технологічної операції. Які чутливі датчики використовуються в приладах з прямим методом оцінювання рівня потужності (енергії)?
4	Тема 6.1. Засоби концентрації енергії випромінювання в зоні обробки Мета: Засвоїти шляхи перетворення лазерного променя, як заготовки, у інструмент для виконання ТО: дзеркальні, прозорі та комбіновані оптичні системи, з постійними оптичними характеристиками та трансфокатори (дискретні та з плавним їх керуванням) Література: основна [1, 2], додаткова [10] Завдання на СРС: Розрахуйте параметри мульти-лінзової фокусувальної системи (колективна лінза) для одночасної обробки системи отворів в ситах для сортування кристалів $\varnothing 0,1$ мм, розташованих з кроком 3 мм на поверхні дна стакана $\varnothing 30$ мм із латуні ЛС59 завтовшки 0,05 мм.
5	Тема 7.2. Пристрої для позиціонування заготовки за результатами аналізу каустики Мета: Засоби візуалізації каустики перетвореного у інструмент променя з визначенням її положення відносно базових поверхонь ЛТУ для використання в переходах початкового налаштування операції. Література: основна [1, 2], додаткова [10] Завдання на СРС: Наведіть пристрої для трьох мірного сканування пучка випромінювання в фокальній області перетворюючого елемента з метою візуалізації каустики пучка та його прив'язки до робочої зони ЛТУ. Порівняйте розрахунком похибки визначення розміру перетину каустики для двох схем аналізу
6	Модульна контрольна робота
7	Тема 9.2. Засоби для штучного підвищення поглинальної здатності поверхні заготовки Мета: Поширення відомостей по впливу на процес поглинання електромагнітної енергії лазерного променя поверхнею заготовки: нанесення поглинальних шарів з не металів, оптимізація умов опромінення, використання 2 та 3 гармонік лазерного променя, оптимізація технологічного регламенту в залежності від реального рівня поглинальної здатності поверхні заготовки Література: основна [1, 2], додаткова [10] Завдання на СРС: Ознайомитися з теорією Друде про залежність поглинальної здатності матеріалу заготовки від її електропровідності.
8	Тема 11.4. Комбінована з поверхневою пластичною деформацією поверхнева лазерна обробка Мета: Поширення знань та умінь керуванням властивостями поверхневого шару матеріалу заготовки шляхом комбінацією лазерного опромінення з деформацією поверхні. Література: основна [1, 2], додаткова [10] Завдання на СРС: Ознайомтеся з основами теорії пластичності, основними розрахунковими схемами. Розрахунки умов та пристроїв для поверхневої пластичної деформації виробів. Конструювання інденторів для формування регулярного мікрорельєфу
9	Тема 13.1. Нанесення змісту знаку (малюнка) методом його копіювання з маски (трафарету) Мета: Поширити знання в найбільш поширеній операції лазерної обробки – гравіруванні знаків на поверхні заготовки з різними засобами їх нанесення та зовнішнього виду:

	контурною лінією, системою крапок, оплавлених зон або у «потаємному» вигляді шляхом змінення структури матеріалу у приповерхневому шарі Література: <i>основна</i> [1, 2], <i>додаткова</i> [10] Завдання на СРС: Проаналізувати Література: <i>основна</i> [1, 2], <i>додаткова</i> якісні характеристики операцій гравірування копіюванням та застосувати схему активного проєкційного методу розмірної обробки в операціях поверхневого гравірування.
10	Тема 13.4. Особливості об'ємного гравірування на виробках із термопластичних матеріалів Мета: Завдання розробки та впровадження об'ємного формування знаків на поверхні заготовки, які потрібні для використання у контактних приладах для людей з послабленим зором або сліпих Література: <i>основна</i> [1, 2], <i>додаткова</i> [10] Завдання на СРС: Перенести досвід гравірування термопластичних пластмас на інші напівпрозорі матеріали.
11	Тема 14.1. Пристрої для забезпечення належних результатів (кількісних та якісних) обробки Мета: Операції вирізання заготовок з листового матеріалу з формуванням крайки різь заданого нахилу. Засоби формування відповідного виду інструменту. Література: <i>основна</i> [1, 2], <i>додаткова</i> [10] Завдання на СРС: Наведіть схему або блок-схему ЛТУ із спрощеною реалізацією принципу п'яти координатного вирізання фасонних виробів із не плоскої заготовки
12	Тема 14.3. Способи формування крайок виробів при газо лазерному їх вирізанні Мета: Формування асиметричної каустики лазерного інструменту. Алгоритм його проєктування та моделювання систем із самокеруванням та програмним управлінням контуру заготовки з нахилом крайок різь (поверхнею торців виробу). Література: <i>основна</i> [1, 2, 4], <i>додаткова</i> [10] Завдання на СРС: Ознайомитися з основами та принципами теорії автоматичного регулювання. Вимоги до складу та побудови систем автоматичного керування
13	Тема 15.3. Методи оптимізації теплової історії лазерної прецизійної обробки Мета: Шляхи підвищення якості розмірної обробки оптимізацією властивостей матеріалу заготовки, що обробляється. Вплив на структуру матеріалу та його дисперсність, формування об'ємного теплового джерела в межах зони опромінення, створення теплового завісу навколо останньої, використовуючи складний за формою та енергетичній заповненості інструмент із лазерного променя. Завдання на СРС: Оцінити вплив на форму попереку отвору, що обробляється, розподілу променистої енергії в інструменті, та зробити висновки до його корекції та якості. Література: <i>додаткова</i> : [5], [10]
14	Модульна контрольна робота

Лабораторні заняття не передбачені навчальним планом

6. Самостійна робота студента

Вид самостійної роботи студента	Кількість годин	Норма часу на підготовку, год.	Термін часу, год.
Підготовка до лекцій та засвоєння додаткових питань	36	1	36
Підготовка до практичних робіт	14	1	14
Підготовка до лабораторних робіт та опрацювання результатів	-	-	-
Підготовка до МКР	2	4	8
Підготовка до заліку			
Виконання РР	1	10	10
Підготовка до екзамену		30	30
Всього			98

Політика та контроль

7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)

1. Пропущене лекційне заняття необхідно продивитись за допомогою запису ZOOM, законспектувати основні положення, використовуючи матеріали розміщені викладачем в Google Classroom (за посиланням <https://classroom.google.com/c/NjUzODEwMTg3MjE0?cjc=c4ccccccc>).

2. Практичні заняття проводяться в комп'ютерному класі кафедри. У разі пропуску практичних занять необхідно попередити викладача і дізнатись про шляхи відпрацювання. Допускається використання власних ноутбуків. У разі дистанційного навчання, студент повинен забезпечити себе персональним комп'ютером з доступом до інтернету.

3. У разі спізнення на пару, студенту необхідно, не заважаючи іншим, зайти в клас, зайняти своє місце. Користуватись мобільним телефоном можна тільки з дозволу викладача. Звук мобільного телефона повинен бути вимкнений. У разі важливих вхідних дзвінків необхідно спитати дозволу викладача, вийти в коридор і провести розмову там.

4. Користуватися мобільними телефонами під час складання екзамену не дозволяється.

5. До екзамену допускаються студенти, які виконали усі практичні завдання та здали модульну контрольну роботу.

6. Контрольні роботи та залік проводяться за окремими правилами які викладач повинен довести до слухачів на попередньому занятті і які залежать від форми проведення навчання. До заліку допускаються студенти, які виконали усі практичні завдання та здали модульну контрольну роботу.

7. В усіх інших питаннях слухач повинен керуватися Правилами внутрішнього розпорядку КПІ ім. Ігоря Сікорського та Положенням про академічну доброчесність КПІ ім. Ігоря Сікорського.

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)

Контрольні заходи:

1. Поточний контроль: виконання практичних завдань, МКР.
2. Календарний контроль: проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.
3. Семестровий контроль: екзамен.

Таблиця видів контролю та максимальної кількості балів за них.

Вид контролю	Кількість	Максимальна кількість балів на 1	Максимальна кількість балів
Виконання практичних завдань	9	5	45
ДКР	1	20	20
МКР	1	5	5
Екзамен	1	30	30
Всього			100

Оцінювання виконання практичних завдань:

Критерії	Бали
до виконаного завдання немає зауважень, дані правильні відповіді при перевірці	5
є не принципові зауваження до виконаного завдання та/або дані відповіді з помилками при перевірці	4
є принципові зауваження до виконаного завдання та/або не дані відповіді (дані неправильні) при перевірці	робота не здана

Рейтингова система оцінювання результатів навчання студентів

1. Рейтинг студента з освітнього компоненту розраховується виходячи із 100-бальної шкали.

Рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- роботу на практичних заняттях (**9 занять**);
- виконання модульної контрольної роботи (**2 робота**);
- виконання домашньої контрольної роботи (**1 робота**).

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Робота на практичних заняттях:

- активна творча робота – **5 балів × 9=45**
- робота з позитивним результатом – **4 балів × 9 =36**;
- пасивна робота – **0 балів × 0**.

2.2. Виконання модульної контрольної роботи (МКР):

- правильно виконана робота – **5 балів**;

- роботу виконано з незначними помилками – **4 бали**;
- роботу виконано зі значними помилками – **3 бали**;
- роботу не виконано або є грубі помилки – не зараховано.

2.3. Виконання домашньої контрольної роботи (ДКР):

- творчо виконана робота – **20 балів**;
- роботу виконано з незначними недоліками – **14 - 15 балів**;
- роботу виконано з певними помилками – **11-12 балів**;
- роботу не виконано або є грубі помилки – не зараховано.

$$R = r_{np} + r_{лр} + r_{МКР} + r_{РГР} = 45 + 5 + 20 + 30 = 100 \text{ балів.}$$

3. Умовою позитивного **першого календарного контролю** (на 8 тижні) є отримання не менше **11 балів** та виконання першої лабораторної роботи (на час атестації).
4. Умовою позитивного **другого календарного контролю** (на 14 тижні) – отримання не менше **22 балів**, виконання першої лабораторної роботи та першого етапу другої роботи (на час атестації) за умови подання для контролю РГР.
5. Умовою допуску до заліку є зарахування всіх лабораторних робіт, ДКР.

Студенти, які набрали протягом семестру необхідну кількість балів ($R > 60$) мають можливість:

- отримати залікову оцінку (залік) так званим «автоматом» відповідно до набраного рейтингу;
- виконувати залікову контрольну роботу з метою підвищення оцінки;
- у разі отримання оцінки більшої, ніж «автоматом» з рейтингу, студент отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи;
- у разі отримання оцінки меншої, ніж «автоматом» з рейтингу (< 60 балів), попередній рейтинг студента з дисципліни скасовується, і він отримує оцінку тільки за результатами залікової контрольної роботи.

Якщо рейтинг студента лежить менше за 60 балів він зобов'язаний виконувати залікову контрольну роботу.

6. На екзамені студенти повинні виконати письмову контрольну роботу або дати усну відповідь. Кожне завдання повинно утримувати два теоретичних запитання (завдання) і одне практичне. Кожне завдання складено з Переліку запитань до заліку з освітнього компоненту. Кожне запитання оцінюється у **20 балів** за такими критеріями:

- «**відмінно**», повна відповідь, не менше **95%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – **12 балів**;
- «**дуже добре**» майже повна відповідь, не менше **85%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв'язування завдання) – **11 балів**;
- «**добре**», достатньо повна відповідь, не менше **75%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь» або є незначні неточності (повне розв'язування завдання з незначними неточностями) – **8-10 балів**;
- «**задовільно**», неповна відповідь, не менше **65%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – **6-7 балів**;
- «**достатньо**», неповна відповідь, не менше **60%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – **12-14 балів**;
- «**незадовільно**», відповідь не відповідає умовам до «достатньо», менше **60%** – не зараховано.

$$r_{залік} = 20 \times 4 = 80 \text{ балів}$$

7. Розрахунок шкали семестрового рейтингу:

$$RD = r_{РГР} + r_{залік} = 20 + 80 = 100 \text{ балів}$$

* Для допуску до іспиту студенти повинні захистити лабораторні роботи та виконати і захистити ДКР.

8. Студенти, що з поважних причин мають пропуски лекційних, лабораторних занять допускаються до здавання іспиту лише за наявності медичної довідки.
9. Заохочувальні бали за (не більше 10% від r_c для кожної групи):

- участь у факультетській олімпіаді з дисципліни;
- модернізація лабораторних робіт;
- виконання завдань із удосконалення дидактичних матеріалів з дисципліни надається від 5 до 10 заохочувальних балів.

10. Сума балів за РГР та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до залікової оцінки згідно з таблицею:

Бали	Оцінка
100...95	Відмінно
94...85	Дуже добре
84...75	Добре
74...65	Задовільно
64...60	Достатньо
Менше 60	Незадовільно
Стартовий рейтинг менше ніж 0,5 r_c (26 балів). Є не зараховані лабораторні роботи або не зарахована ДГР	Не допущено

9. Додаткова інформація з дисципліни

Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)

Перелік завдань до СРС видається студентам на початку семестру, чітко повідомляються вимоги до самостійної роботи, строки її виконання, правила оформлення, критерії рейтингового оцінювання.

Всі питання, винесені для самостійного опанування, студенти мають оформлювати у вигляді стислого конспекту. Дата здачі СРС повідомляється на початку семестру.

Бали за рейтинговою системою проставляються у Кампусі в розділі Поточний контроль, результати атестації в розділі Атестація. Екзаменаційна відомість створюється і заповнюється в Кампусі, доступ до неї існує упродовж дня екзамену (виправлення і перездача наступного дня не допускаються).

Засоби змішаного навчання. При вивченні даної дисципліни студенти повинні самостійно пройти комп'ютерне тестування для перевірки своїх знань при підготовці до модульної контрольної роботи. При вивченні даної дисципліни використовуються навчальні посібники, друкований і електронний підручник, які розміщені в classroom.google.

Спілкування з викладачем через WhatsApp та Viber, електронну пошту.

Перелік запитань до контрольних робіт та семестрового контролю наведено в

Додатках:

- ДКР: додаток А
- МКР: додаток В
- питання для підготовки до екзамену: додаток С
- тестові завдання до екзамену on line: додаток D

Робочу програму навчальної дисципліни (силлабус):

Складено: професор Котляров В.П.

Ухвалено:

кафедрою лазерної техніки та фізико-технічних методів обробки НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол №16 від 18 червня 2025 року);

Погоджено:

Методичною комісією НН ІМЗ ім. Є.О. Патона (протокол № 11/25 від 26 червня 2025 року)

Тематика завдань для виконання ДКР з навчальної дисципліни «ССуЗвПЛтаСТ»

1 Завдання №1

Спроекувати конструкцію модової діафрагми з плавним регулюванням її розміру у межах $0 - d_{a.e.}$. Привід – дистанційний з можливістю підключення до ПК або системи керування ЛТУ (схема 2.4 [1] або Презентація **Пр1Л1_3** сл.11 [2]).

Задано: активний елемент – гранат: Nd^{+3} $\varnothing 6\text{мм}$, довжиною 120мм (випромінювач ЛТН-102).

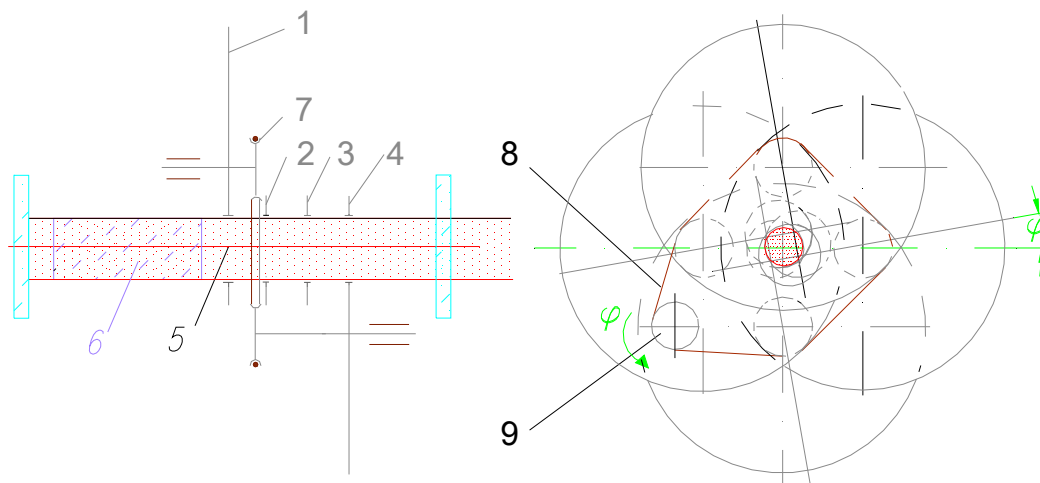


Рис. 2.4. Схема пристрою з модовою діафрагмою змінного розміру (1 - 4- диск, 5- промінь, 6 – активний елемент, 7- шків га осі диску, 8 – пасік, 9 - шків на осі двигуна)

2 Завдання №2

Розробити конструкцію адаптивного дзеркала для оперативного керування конфігурацією резонатора від полу конфокального до плоско – паралельного довжиною 1000мм, 50% дзеркало має $R = \infty$. Привід дистанційний від ПК або системи керування ЛТК. Схема пристрою на рис. 2.8 [1] або Презентація **Пр1Л1_2** сл.13 [2].

Задано: випромінювач на CO_2 , ширина газорозрядної камери 50мм.

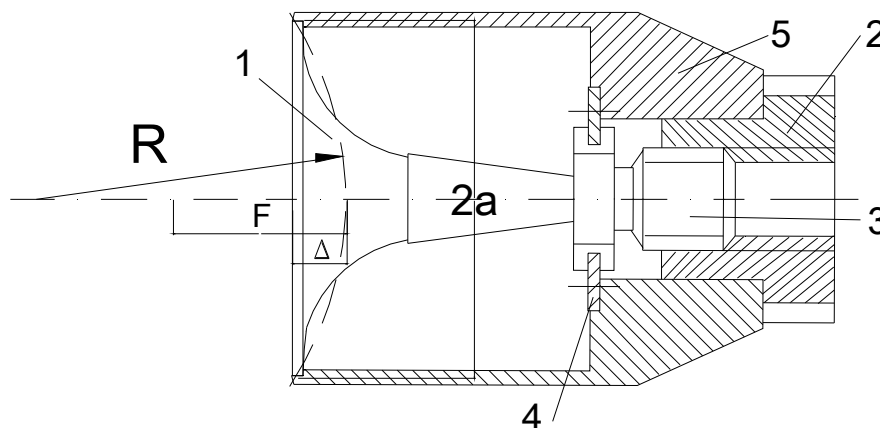


Рис. 2.8. Конструкція адаптивного дзеркала

Завдання №3

Розробити конструкцію трьох дзеркального резонатора для параметричного керування розміром пучка випромінювання (рис.2.5 та 2.6 [1] або Презентація **Пр1Л1_2** сл.12 [2]).

Задано: діаметр вктивного елементу із скла з Nd^{+3} $d_{\text{ae}} = 310\text{мм}$, довжина $l = 240\text{мм}$, довжина резонатора $a+b+l = 500\text{мм}$.

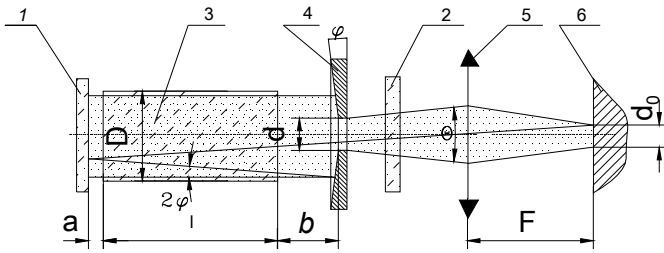


Рис. 2.5. Лазер з трьох дзеркальним резонатором

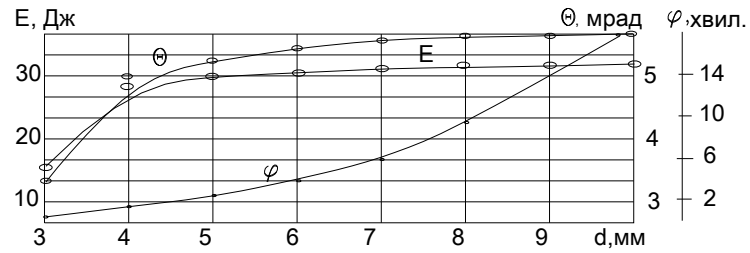


Рис. 2.6. Експериментальні дані лазера рис. 2.5

Завдання №4

Розробити механічний модулятор добротності резонатора на барабані для його застосування у конструкції випромінювача ЛТІ-502 замість акустооптичного затвору (АОЗ). Схему пристрою зображено на рис.2.14, 2.15 [1] або в Презентації **Пр1Л1_2** сл.16, 17 [2].

Задано: діаметр активного елементу на гранаті з Nd^{+3} $d_{\text{ae}} = 6\text{мм}$, довжина 90мм, лампа накачки ДНП6/90.

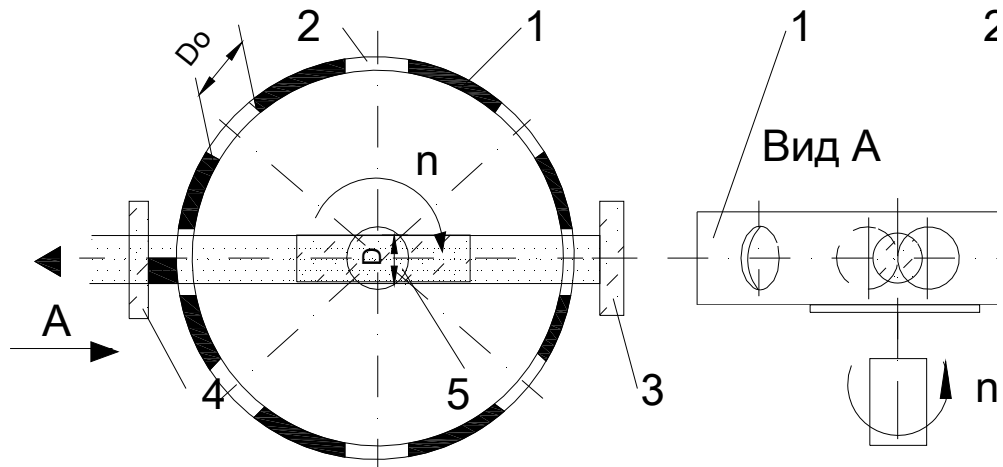


Рис.2.14. Циліндричний модулятор добротності резонатора

Завдання №5

Розробити конструкцію ультразвукового модулятора для модуляції резонатора ЛТУ “Квант-15. Схему пристрою зображено на рис.2.20 [1] або в Презентації **Пр1Л1_3** сл.2 [2]. Частота модуляції $\nu \geq 20\text{кГц}$.
Задано: Активний елемент – гранат з Nd^{+3} діаметром 6,3мм довжиною 90мм, резонатор плоско - паралельний.

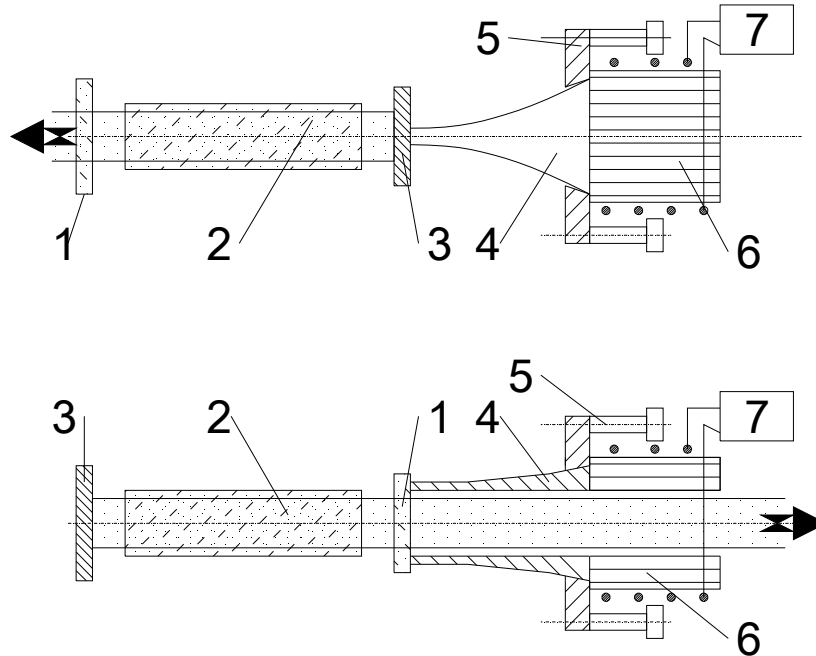


Рис. 2.20 (3.4) . Схема випромінювача з модуляцією добротності резонатора

Завдання №6

Розробити конструкцію модулятора добротності резонатора на дзеркалі, що коливається поступово (рис.2.22 або в Презентації **Пр1Л1_3** сл.20 [2]). Амплітуда коливання 100% дзеркала $> 10\text{мкм}$, привід – електростатичним полем.
Задано: активний елемент - рубін ($\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ рCr}^{+3}$) $\varnothing 10\text{мм}$, довжина 240мм. Резонатор – із плоских дзеркал, довжиною 500мм.

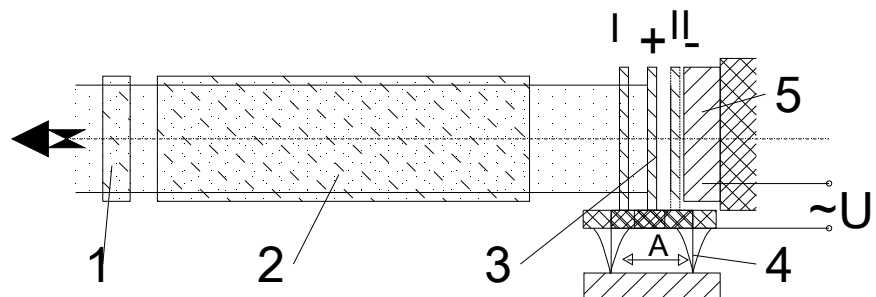


Рис. 2.22 (3.2) .Схема випромінювача з частотним переміщенням

Завдання №7

Розробити конструкцію модулятора добротності резонатора на дзеркалі, що коливається (рис.2.23 [1] або в Презентації **Пр1Л1_3** сл.21 [2]). Кут відхилення 100% дзеркала $> 8^\circ$, привід від електромагнітного двигуна.

Задано: активний елемент - рубін ($\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ рCr}^{+3}$) $\varnothing 10\text{мм}$, довжина 240мм. Резонатор – із плоских дзеркал, довжиною 500мм.

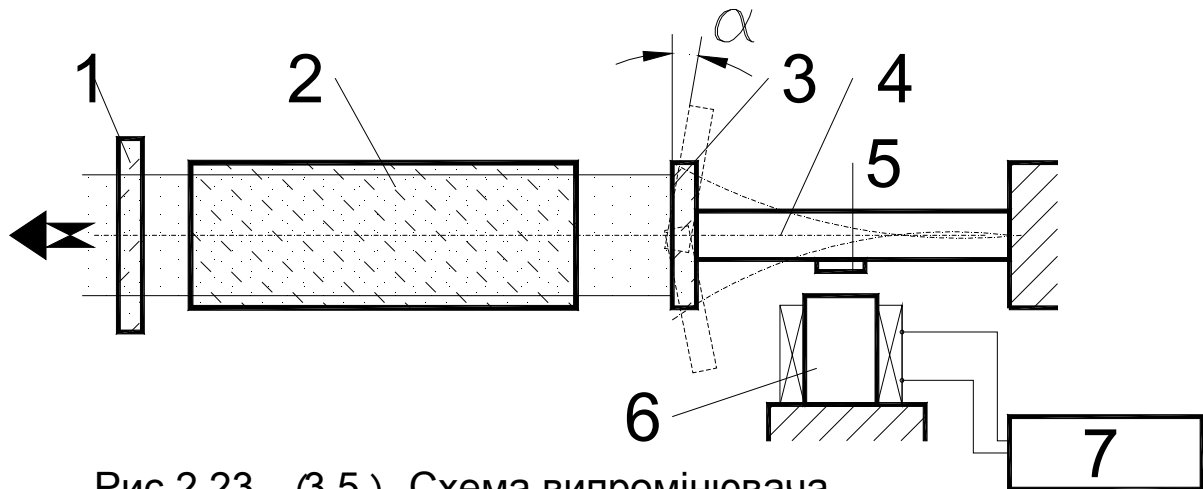


Рис.2.23 (3.5) .Схема випромінювача з 100% дзеркалом, що періодично коливається

3 Завдання №8

Розробити конструкцію модулятора добротності резонатора на дзеркалі, що коливається (рис.2.24, 2.25. [1] або в Презентації **Пр1Л1_3** сл.21 [2]). Кут відхилення 100% дзеркала $> 8^\circ$, привід від електромагнітного перетворювача.

Задано: активний елемент - рубін ($\text{Al}_2\text{O}_3 \text{ рCr}^{+3}$) $\varnothing 8\text{мм}$, довжина 140мм. Резонатор – із плоских дзеркал, довжиною 500мм.

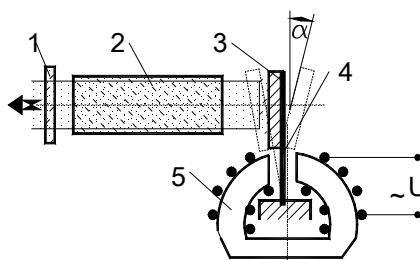


Рис. 2.25 (3.7) .Схема випромінювача з 100% дзеркалом, що періодично коливається

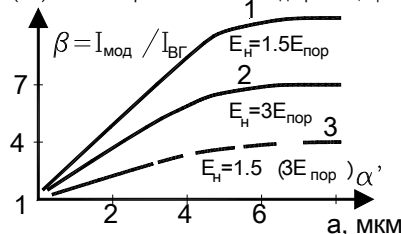


Рис.2.24 (3.6) . Графік підвищення пікової інтенсивності випромінювання випромінювачів з різними методами модуляції добротності їх резонаторів

Завдання №9

Розрахувати та розробити конструкцію модулятора на гнучкому дзеркалі для оперативного переходу від безперервного режиму випромінювання до імпульсного, або для поліпшення частотних та енергетичних характеристик імпульсного режиму свободної генерації (рис.2.28, 2.30 [1] або в Презентації **Пр1Л1_3** сл.23, 24 [2]).
Задано: активний елемент на гранаті з Nd^{+3} $\varnothing 6\text{мм}$ та довжиною 100мм. Радіус поверхні вихідного дзеркала $R_1 = 1000\text{мм}$, довжина резонатора 500мм.

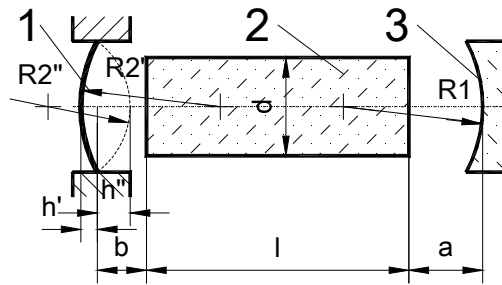


Рис.2.28. Схема випромінювача з резонатором змінної конфігурації

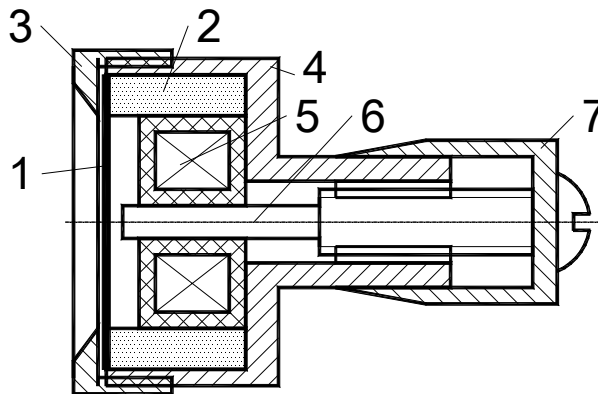


Рис.2.30 (3.10) . Конструкція дзеркала змінної кривизни

4 Завдання №10

Розробити конструкцію прохідного вимірювача потужності випромінювання CO_2 лазера на газовій суміші (схеми на рис.4.12 або в Презентації **Пр3Л5_6** сл.5 [2]). Випромінювач ТЛ-1.5 ($P = 1,5\text{кВт}$, $D = 20\text{мм}$).

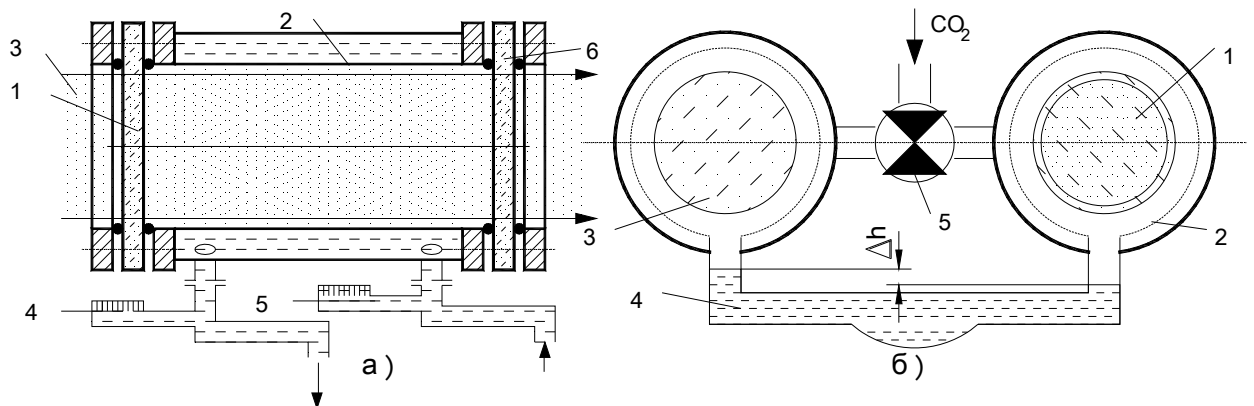


Рис.4.12 (4.10_11) .Схема простого (а) та диференціального (б) вимірювача на газі

Завдання №11

Розробити конструкцію вимірювача потужності пучка випромінювання на поворотному дзеркалі (рис. 4.7 [1] або в Презентації **Пр3Л5_6** сл. 4 [2]). Лазер «Комета» з потужністю випромінювання 1,5кВт.

Задано: діаметр пучка випромінювання 40мм, кут розходження 3мрад, відстань від вихідного дзеркала 2000мм.

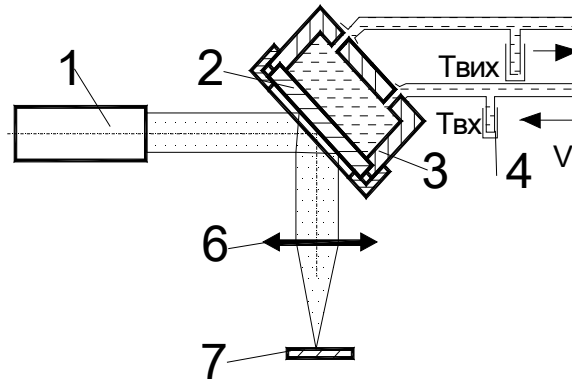


Рис.4.7 (4.5) . Схема використання похилого дзеркала для виміру енергетичних параметрів

6 Завдання №12

Розробити конструкцію аналізатора розподілу потужності поперек пучка випромінювання вздовж двох координат за допомогою дзеркальної наклонної полоски та лінійки фотоелементів (схема на рис 4.15 - 4.17 [1] або в Презентації **Пр3Л5_6** сл.7, 8 [2]).

Задано: лазер “Комета”, технологічний модуль – портал над віссю пучка випромінювання розташований на відстані 200мм.

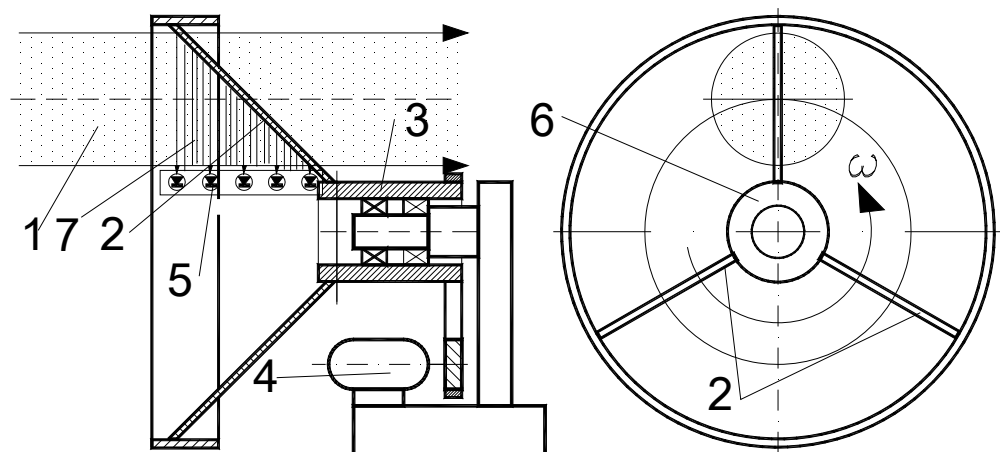


Рис.4.15. Схема однокоординатного аналізатора на похилому дзеркалі

Завдання №13

Розробити конструкцію аналізатора розподілу потужності поперек пучка випромінювання на поворотному дзеркалі (рис. 4.14 [1] або в Презентації **Пр3Л5_6** сл.6 [2]).

Задано: діаметр пучка випромінювання 40мм, кут розходження 3мрад, відстань від вихідного дзеркала 2000мм.

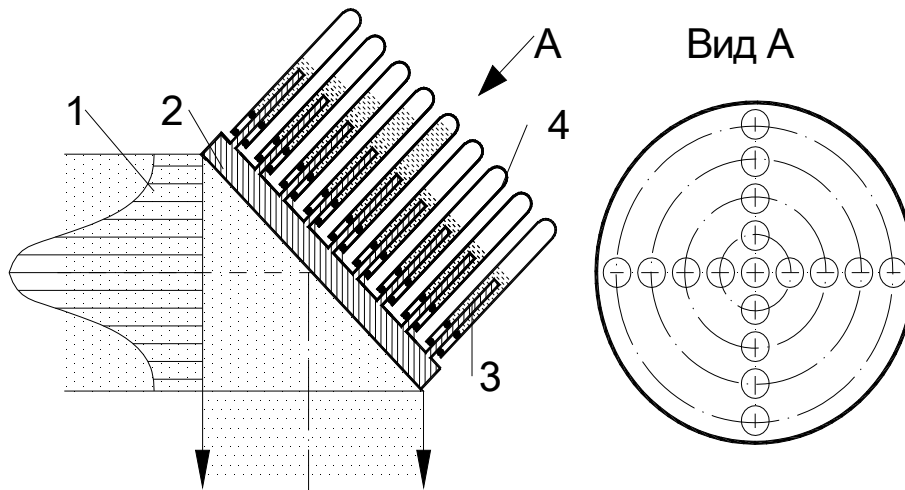


Рис.4.14 (4.12) . Аналізатор пучка випромінювання на поворотному дзеркалі

7 Завдання №14

Розробити конструкцію аналізатора розподілу потужності поперек пучка випромінювання вздовж двох координат за допомогою багатогранної спиці, яку обертають навколо вісі, паралельної пучку випромінювання. Схему пристрою зображено на рис.4.19, 4.19К [1] або в Презентації **Пр3Л5_6** сл.10, 11 [2].

Задано: лазер “Комета”, технологічний модуль – портал над віссю пучка випромінювання розташований на відстані 200мм.

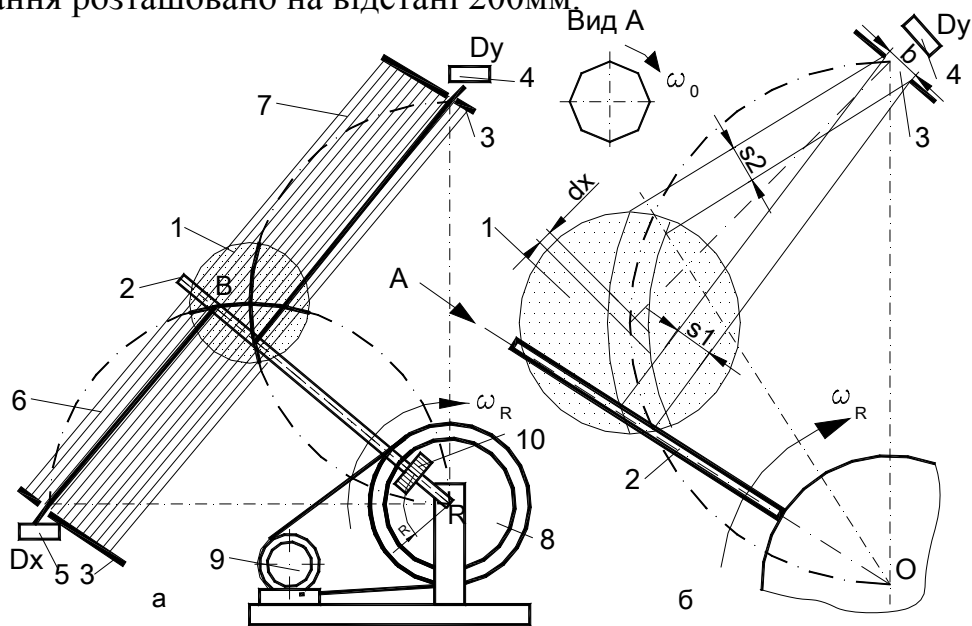


Рис. 4.19 (4.16) . Схема аналізатору пучка випромінювання на дзеркальній спиці

Завдання №15

Розробити конструкцію аналізатора розподілу потужності поперек пучка випромінювання вздовж двох координат за допомогою дзеркальних нахилих полосок та одного фотоелемента (схема на рис 4.18 [1] або в Презентації ПрЗЛ5_6, сл 4.14 [2]).
Задано: лазер “Комета”, технологічний модуль – портал над віссю пучка випромінювання розташовано на відстані 200мм.

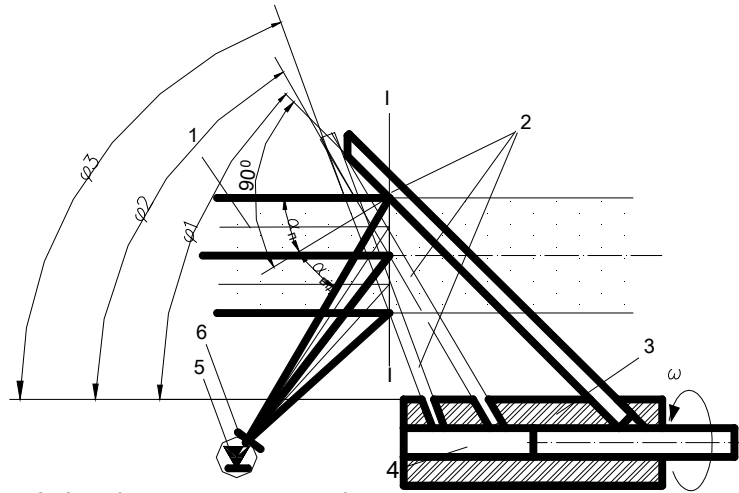


Рис.4.18. Аналізатор пучка випромінювання з похилими смугастими дзеркалами

Завдання №16

Розробити конструкцію аналізатора розподілу потужності поперек пучка випромінювання вздовж однієї координати за допомогою різно високих світловодів, які обертаються навколо вісі, паралельної пучку випромінювання. Схему пристрою зображено на рис.4 21, 4.21K [1] або в Презентації **ПрЗЛ5_6** сл. 12 [2].
Задано: лазер “Комета”, технологічний модуль – портал над віссю пучка випромінювання розташовано на відстані 200мм.

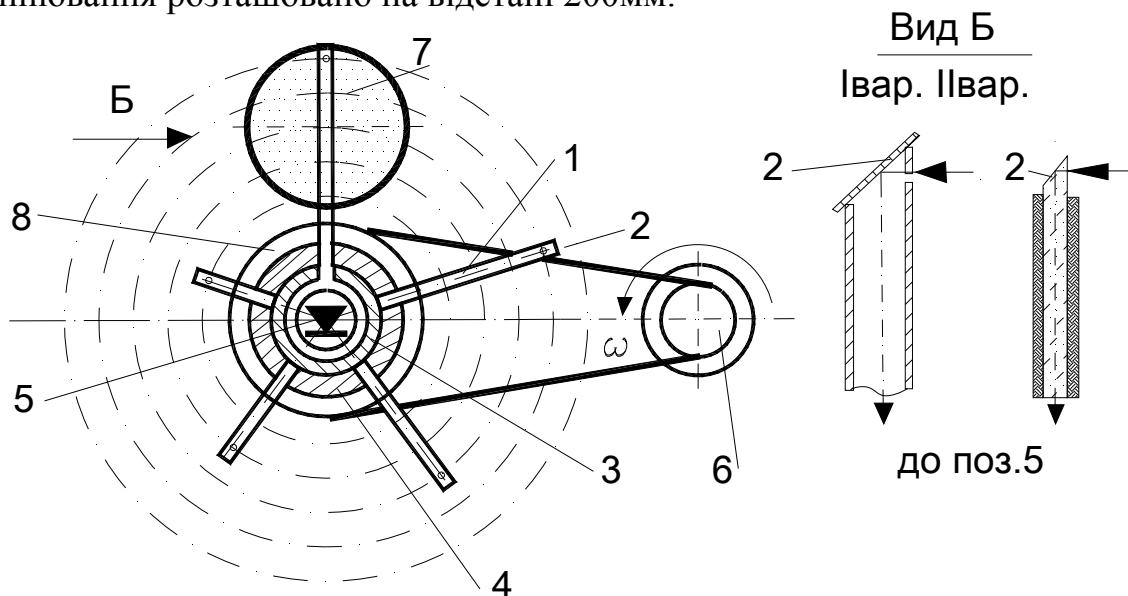


Рис. 4.21 (4.17) . Схема аналізатору пучка випромінювання на різновисоких світловодах

Завдання №17

Розробити вузол для узгодження положення оптичної системи з віссю пучка лазерного випромінювання шляхом паралельного переносу останнього (рис.3.17 [1] або в Презентації **Пр2Л4** сл.10 [2]).

Задано: випромінювач ЛТН-103 разом з оптичною системою СОК-1 у складі ЛТК ГПЛТ250-400/500 ($\lambda = 1,06\text{мкм}$, $d_{ae} = 6,3\text{мм}$).

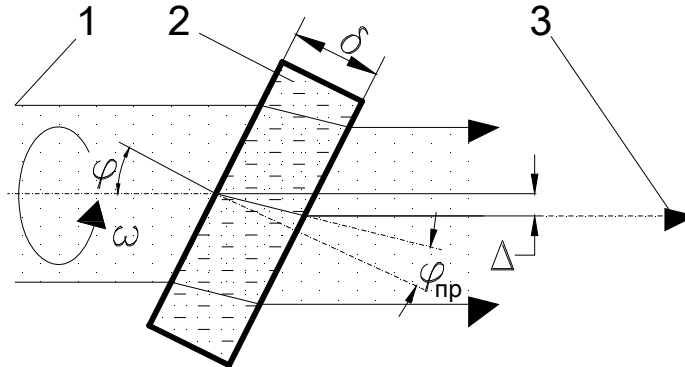


Рис. 3.17 (5.9) . Засіб паралельного зміщен-

Завдання №18

Розробити вузол для узгодження положення оптичної системи з віссю пучка лазерного випромінювання шляхом паралельного переносу останнього (рис.3.18 [1] або в Презентації **Пр2Л3** 4 сл.10[2]).

Задано: випромінювач ЛТІ-502 разом з оптичною системою СОК-1 у складі ЛТК ЛТУ-16 ($\lambda = 1,06\text{мкм}$, $d_{ae} = 6,3\text{мм}$).

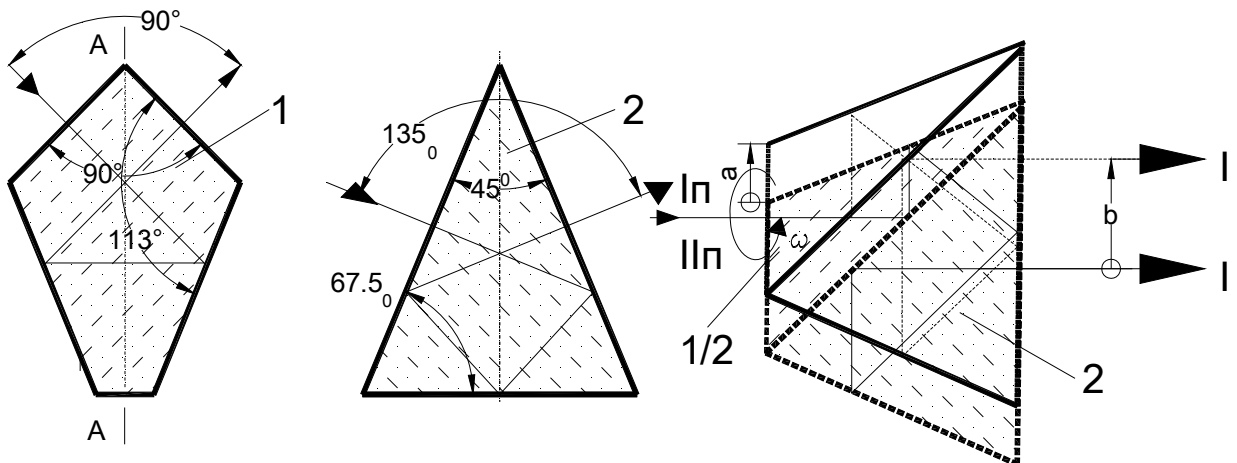


Рис. 3.18 (5.10) . Паралельне переміщення осі пучка системою призм

Завдання №19

Розрахувати та спроектувати оптичний вузол для формування кільцевої каустики випромінювання на поверхні заготовки (режим обробки – у “дальній зоні”). Кути сходження крайніх променів повинні регулюватися від -20° до 20° . Схему пристрою зображено на рис.3.14 [1] або в Презентації **Пр2Л4** сл.7 [2].

Задано: діаметр пучка випромінювання $D = 10\text{мм}$, діаметр зони опромінювання $d = 1\text{мм}$.

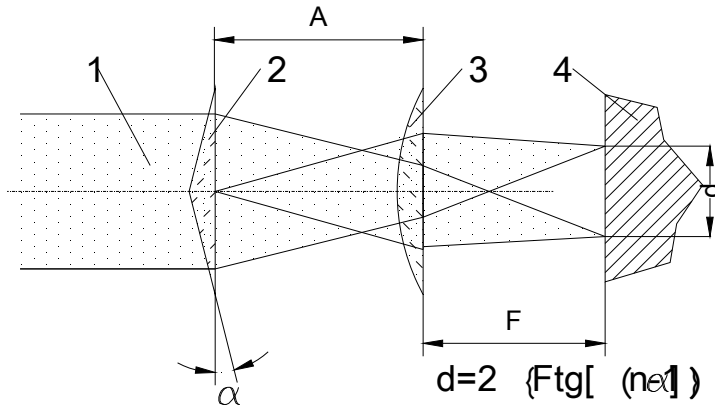


Рис. 3.14 (5.15) . Схема оптичної системи формування пучка кільцевої форми на поверхні заготовки

Завдання №20

Розрахувати та спроектувати оптичний вузол для формування кільцевої каустики випромінювання на поверхні заготовки (режим обробки – у “дальній зоні”). Кути сходження крайніх променів повинні регулюватися від -20° до 20° . Схему пристрою зображено на рис.3.13 [1] або в Презентації **Пр2Л3** 4 сл.7 [2].

Задано: діаметр пучка випромінювання $D = 40\text{мм}$, $\lambda = 10,6\text{мкм}$; діаметр зони опромінювання $d = 1\text{мм}$.

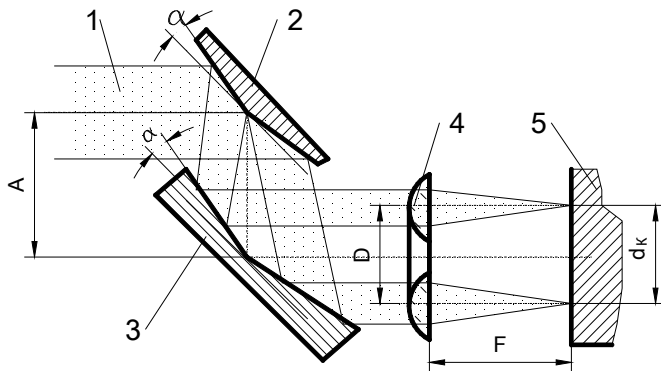


Рис. 3.13 (5.14) . Схема оптичної системи для формування пучка кільцевої форми

Завдання №21

Спроекувати оптичний пристрій для сканування сфокусованого у дві точки пучка випромінювання уздовж кола діаметром 10мм з можливістю зміни кута сходження крайніх променів та положення центра кола у межах $\varnothing 10\text{мм}$. Передбачити регулювання порцій енергії у кожному промені від 0 до E_{max} , а також можливість сканування кожного променя уздовж свого кола. Схему пристрою зображено на рис .6.26 [1] або в Презентації **Пр4Л7_8** сл.24 [2].

Задано: діаметр пучка випромінювання $D = 20\text{мм}$, $\lambda = 1,06\text{мкм}$.

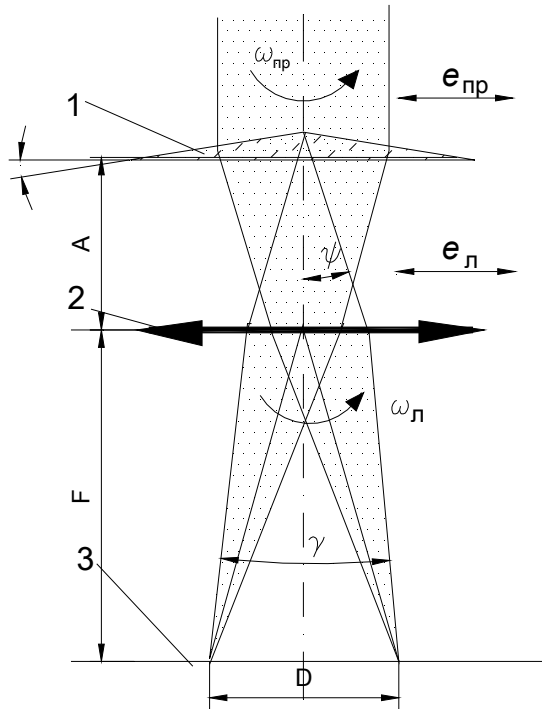


Рис. 6.26. Схema сканера з біпризмою

Завдання №21

Спроекувати оптичний пристрій для перетворення форми перетину пучка випромінювання на поверхні заготовки – із круглого ($\varnothing 2$ до прямокутного $2 \times 2\text{мм}$). Схему пристрою зображено на рис.3.11 [1] або в Презентації **Пр2Л3_4** сл.6 [2].

Задано: діаметр пучка випромінювання $D = 20\text{мм}$, $\lambda = 1,06\text{мкм}$.

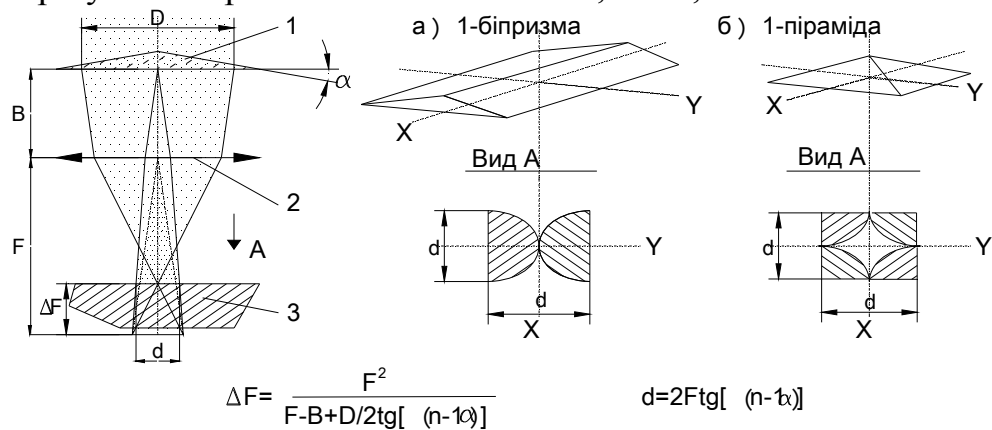


Рис. 3.11 (б.1) . Схema оптичної системи формування прямокутної зони опромінення пучком з круглим г

Завдання №22

Розробити вузол для введення пучка лазера на гранаті $\varnothing 7\text{мм}$ у скловолокно діаметром $150\mu\text{м}$ через фокон. Вузол повинен мати 5 ступенів свободи (три – лінійні та дві – кутові) для концентруючого елемента відносно волокна. Схему вхідного вузла зображено на рис. 5.19 [1] або в Презентації **ПрЗЛ5_6** сл.25, 26 [2].

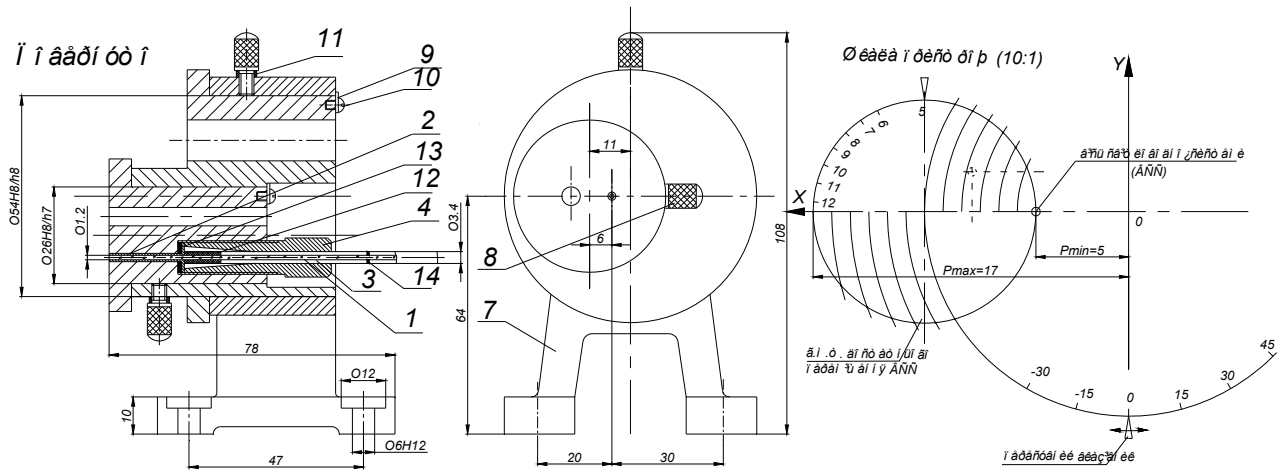


Рис. 5.19. Вузол для суміщення осі променя з віссю опто волокна

9 Завдання №23

Розробити вузол для виведення пучка випромінювання лазера на гранаті із скловолокна діаметром $150\mu\text{м}$ з одночасним його перетворенням об'єктивом у каустику з найменшим розміром (у перетині) $50\mu\text{м}$ на поверхні заготовки. Вузол повинен мати 5 ступенів свободи (три – лінійні та дві – кутові) для компенсуючого та концентруючого елементів відносно волокна. Схему вхідного вузла зображено на рис. 5.20 [1] або в Презентації **ПрЗЛ5_6** сл.26 [2].

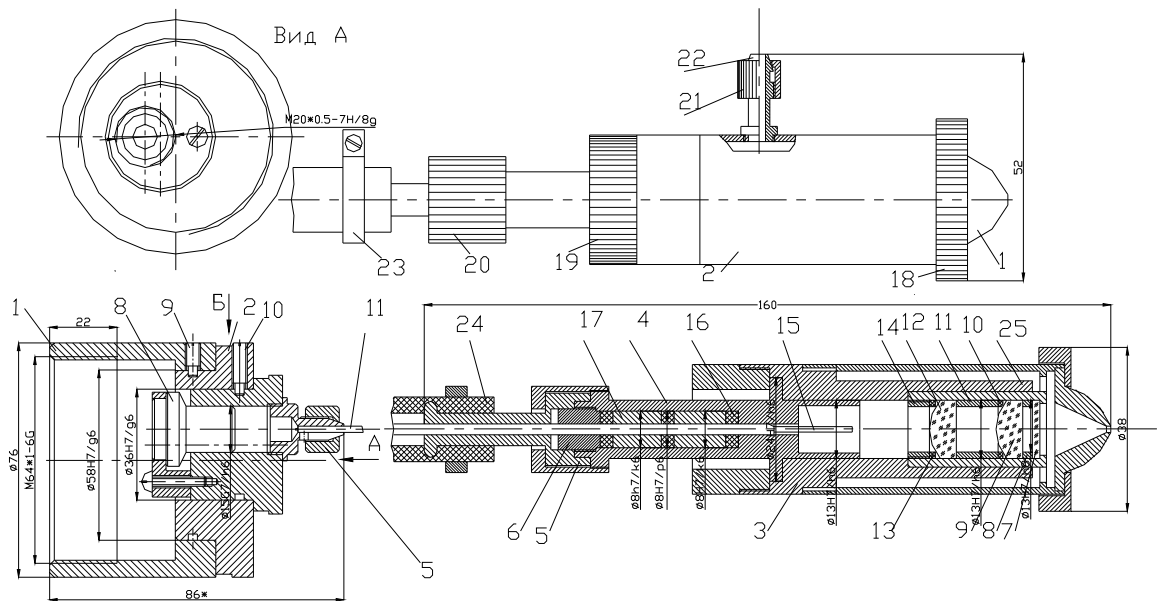


Рис. 5.20. Конструкція ОТС з вузлом введення променя у волокно

Завдання №24

Скласти оптичну схему, розрахувати її та розробити конструкцію вузла для зведення двох пучків від He-Ne лазерів ($\lambda = 0,6328\text{мкм}$, діаметр пучка $D = 3\text{мм}$) у один об'єктив з фокусною відстанню $F = 15\text{мм}$ та апертурою 5мм . Приклад зображено на рисунку.

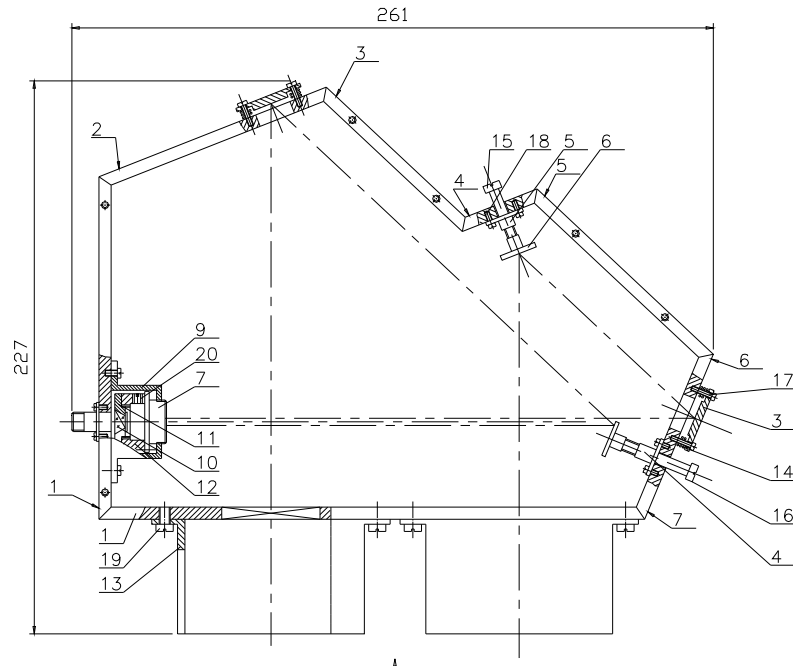


Рис. 24. Вузол зведення двох променів у фокус оптичного волокна

Завдання №25

Розробити сканер на ексцентричній лінзі для пучка випромінювання з $\lambda = 1,06\text{мкм}$ діаметром 8мм з можливістю плавного керування діаметром кола у межах $0 - 10\text{мм}$, уздовж якого відбувається сканування сфокусованого пучка діаметром $0,1\text{мм}$. Схему сканера зображено на рис. 6.20, 6.21 [1] або в Презентації **Пр4Л7_8** сл.19, 20 [2].

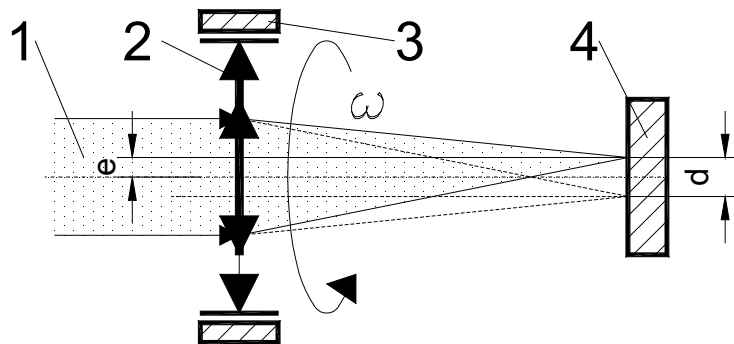


Рис. 6.20. Схему сканеру на ексцентричній лінзі

Завдання №26

Розрахувати кінематику та розробити конструкцію сканера із схеми рис. 6.29 [1] або в Презентації **Пр4Л7_8** сл.26 [2] для сканування пучка CO₂-лазера (до його перетворення лінзою 5) уздовж кола діаметром 15 мм з можливістю дистанційної зміни діаметра та частоти сканування f .

Задано: діаметр пучка випромінювання $D = 40\text{мм}$ («Катунь»), кут розходження $\theta = 0,002\text{рад}$, $R = D/2 = 0 - 7,5\text{мм}$, $\nu = 1 - 100\text{Гц}$, діаметр пучка на поверхні заготовки $d = 0,3\text{мм}$.

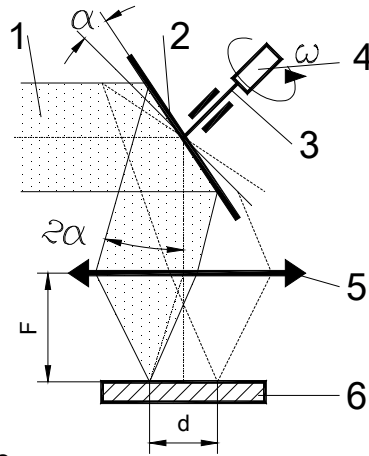


Рис. 6.29. Схема ОПС з пристроєм для кругового сканування променя дзеркалом, що обертається

Завдання №27

Розрахувати привід та розробити конструкцію сканера з електромагнітним приводом для сканування пучка діаметром $D = 45\text{мм}$ CO₂ лазера («Катунь») вздовж лінії довжиною 10мм з частотою $\nu = 100 - 1000\text{Гц}$. Згідно із схемою рис. 6.32 [1] або в Презентації **Пр4Л7_8** сл.27 [2] графік зміни швидкості руху пучка на поверхні заготовки повинен мати вигляд пилки, тобто різку зміну напрямку руху у крайніх токах.

Задано: кут розходження пучка $\theta = 0,003\text{рад}$, діаметр пучка на поверхні заготовки $d_f = 3,2\text{мм}$.

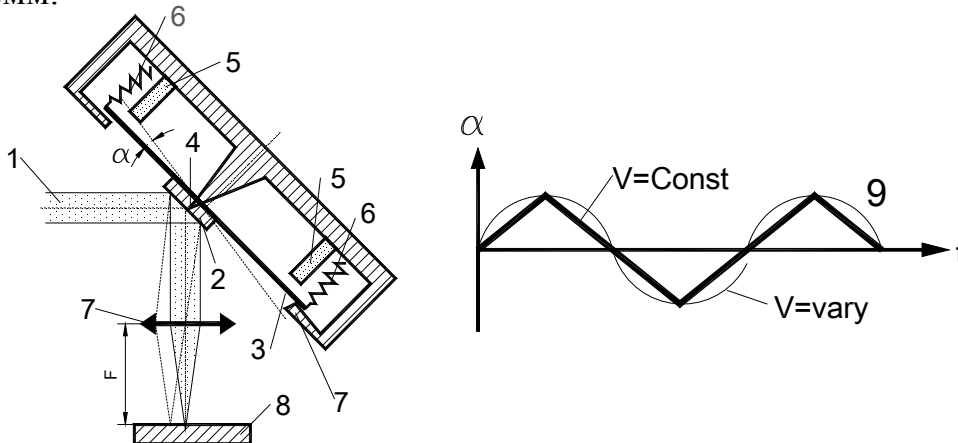


Рис. 6.32. Схема ОПС з електромагнітним сканером вздовж лінії за пилкоподібним законом

Завдання №28

Розробити заслінку для оперативного переривання процесу опромінювання заготовки пучком випромінювання за 1 с. Конструкція повинна бути нормально закритою, тобто відкривати оптичний канал для пучка за надходженням відповідного сигналу. Приклади виконання цього принципу показано на рис.3.22 [1] або в Презентації **Пр2Л4** сл. 11 [2]. Бажано у закритому стані виконувати заміри параметрів пучка випромінювання – потужності, просторових характеристик.

Задано: діаметр пучка випромінювання $D = 40\text{мм}$, потужність $P = 1,5\text{кВт}$.

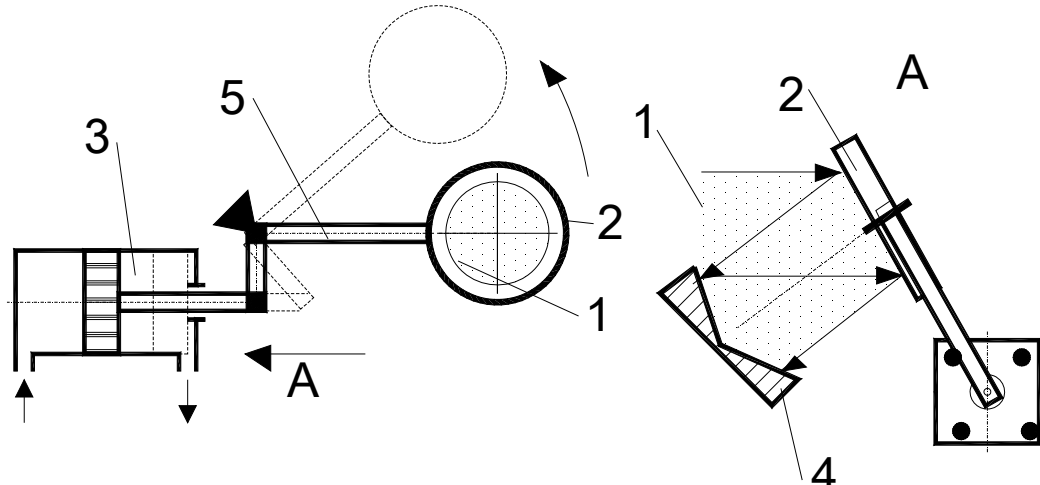


Рис.3.22. Схема заслінки для випромінювання лазерів середньої потужності

Завдання №29

Розробити заслінку для оперативного переривання процесу опромінювання заготовки пучком випромінювання потужністю $< 1,5\text{ кВт}$ за 1 с. Конструкція повинна бути нормально закритою, тобто відкривати оптичний канал для пучка за надходженням відповідного сигналу. Приклади виконання цього принципу показано на рис.3.20, 3.21 [1] або в Презентації **Пр2Л4** сл.11, 12. [2].

Задано: діаметр пучка випромінювання $D = 12\text{мм}$, потужність $P = 0,5\text{кВт}$.

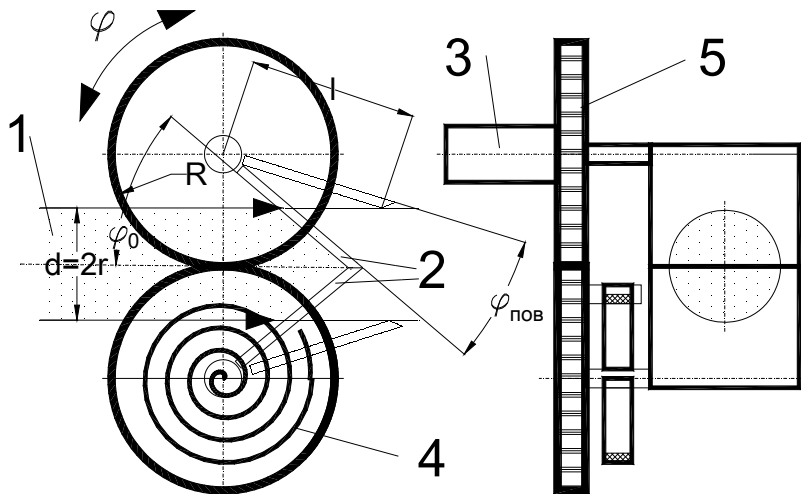


Рис.3.20. Схема заслінки для лазерного випромінювання потужністю $< 0,5\text{кВт}$

Завдання №30

Розрахувати оптичні характеристики перетворюючих елементів та сконструювати механізм їх відносного зміщення у ручному та керованому режимах уздовж декартових координат для сканера на циліндричних лінзах (рис.13.20 [1] або в Презентації **Пр9Л16_18** сл. 21 [2]).

Задано: діаметр пучка випромінювання $D = 25\text{мм}$, імпульсна енергія $E = 30\text{дж}$, тривалість імпульсу $\tau = 1\text{мс}$, ширина контурної лінії $b = 0,3 \pm 0,03\text{мм}$, межі малюнка або надпису $20 \times 20\text{мм}$.

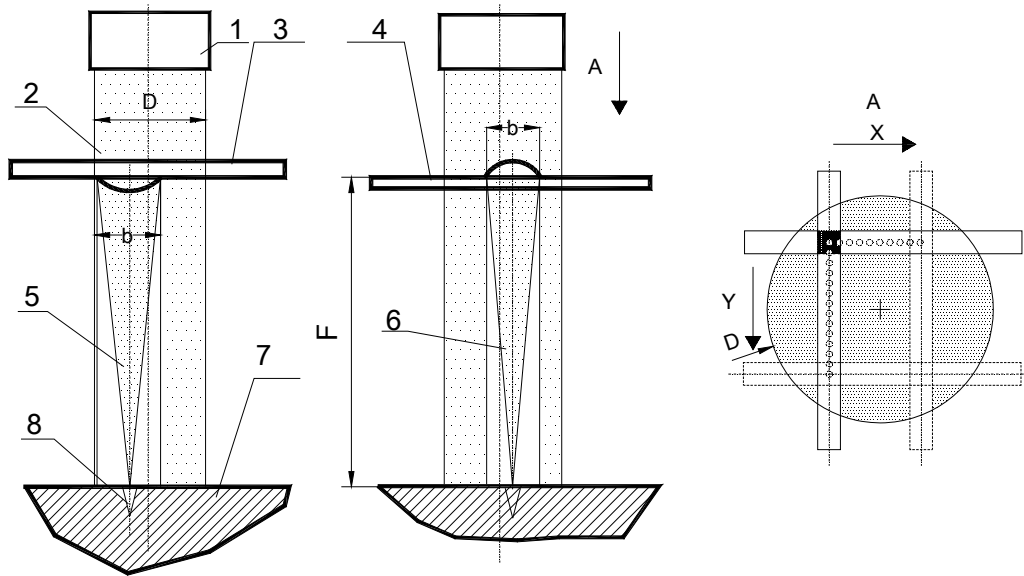


Рис.13.20. Схема ЛТУ для гравірування скануванням із сканером на циліндричних лінзах

Завдання №31

Розробити конструкцію двохповерхового трансфокатора на фокусуючих лінзах для дискретної зміни форми та розмірів каустики під час незмінного його положення відносно поверхні заготовки. Привід – дистанційний від системи керування ЛТУ. Схема трансфокатора – рис 6.7 – 6.10 [1] або в Презентації **Пр4Л7_8** сл.6-9 [2].

Задано: діаметр пучка випромінювання $D = 20\text{мм}$, кут його розходження $\theta = 0,003\text{рад}$, діаметр зони опромінювання $d = 0,2\text{мм}$, діаметр отвору, що обробляється, $d_0 = 0,3\text{мм}$, його глибина 10мм , повздовжня форма – циліндрична.

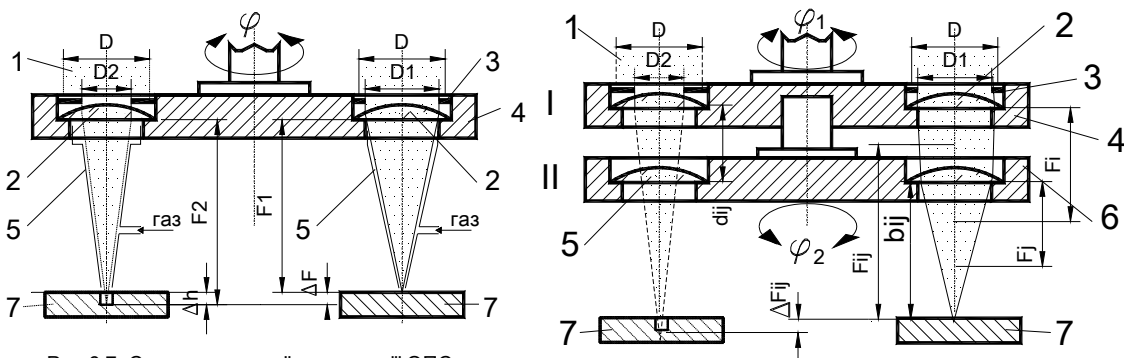


Рис.6.7. Схема турельної конструкції ОПС

Завдання №32

Розробити конструкцію та розрахувати параметри обертання сканера на рідкому переломляючому середовищі для зміщення перетину каустики уздовж вісі пучка на 10мм за командами від системи керування. Дивись рис.6.16 – 6.19 [1] або в Презентації **Пр4Л7_8** сл.6.8 – 6.10, 6.8К, 6.8КК [2].

Задано: діаметр пучка випромінювання з $\lambda = 1,06\text{мкм}$ $D = 20\text{мм}$, кут розходження $\theta = 0,004\text{рад}$, діаметр зони опромінювання $d = 0,2\text{мм}$, глибина отвору 10мм.

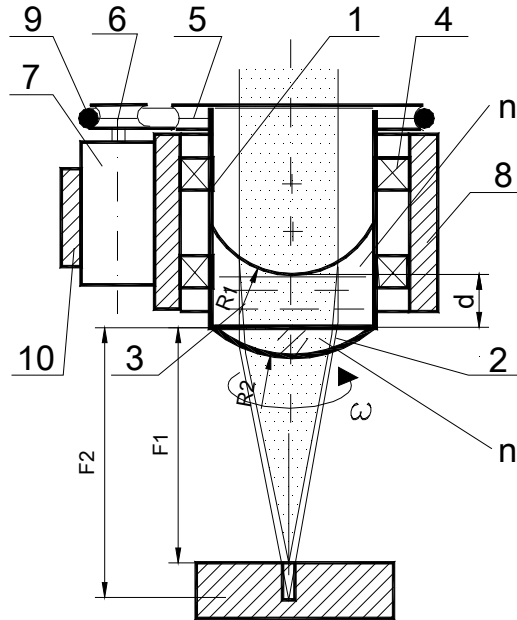


Рис. 6.16. Схема трансфокатору з рідкою компонентою

Завдання №33

Розробити конструкцію та розрахувати параметри обертання сканера на нахилній лінзі для зміщення перетину каустики уздовж вісі пучка на 10мм за командами від системи керування. Дивись рис.6.7 – 6.11 [1] або в Презентації **Пр4Л7_8** сл.6.7 – 6.7К, 6.7КК [2].

Задано: діаметр пучка випромінювання з $\lambda = 1,06\text{мкм}$ $D = 20\text{мм}$, кут розходження $\theta = 0,004\text{рад}$, діаметр зони опромінювання $d = 0,2\text{мм}$, глибина отвору 10мм.

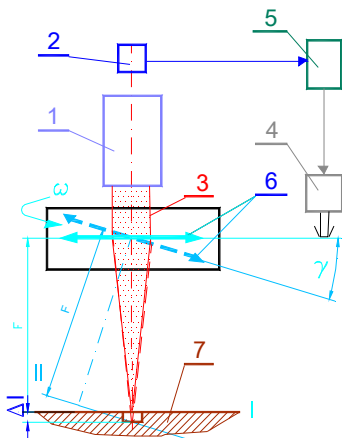


Рис.6.7(8.7). Трансфокатор на похилій лінзі

Завдання №34

Модернізувати конструкцію оптичної системи СОК-1 для використання метода двох зображень у процедурі налагодження відносного положення фокусуючої лінзи та поверхні заготовки. Схему СОК-1 та принцип дії метода зображено на рис.7.23 - 7.27 [1] або в Презентації **Пр5Л9_10** сл.6.15 – 6.17 [2].

Задано: додатковий лазер He-Ne ($\lambda = 0,6328\text{мкм}$, $D = 3\text{мм}$), $F = 100\text{мм}$, $\Delta F = 0 \pm 5\text{мм}$, дискретність зміни положення лінзи відносно заготовки $0,01\text{мм}$.

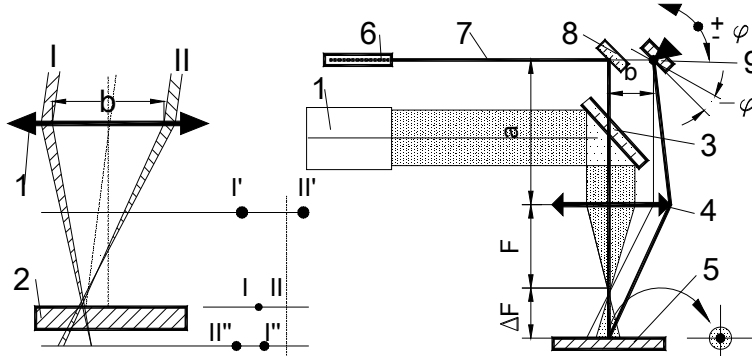


Рис. 7.23 (9.11) . Схема методу подвійного зображення

Рис.7.26 (9.12) . Схема ЛТУ з пристроєм для налагодження відносного положення ОПС та заготовки з подільником пучка додаткового лазера

Завдання №36

Розрахувати та розробити конструкцію оптичного вузла для налагодження відносного положення лінзи із непрозорого матеріалу та заготовки з аналізом параметра кривизни перетворюючої поверхні лінзи. Схему пристрою зображено на рис.7.19, 7-20 [1] або в Презентації **Пр6Л11_12** сл.13 [2].

Задано: $R = 400\text{мм}$, $F = 200\text{мм}$, $\Delta F = 0 \pm 15\text{мм}$, $\lambda = 10,6\text{мкм}$, конструктивні параметри фокусуючого вузла треба виміряти на ЛТУ з лазером “Комета”.

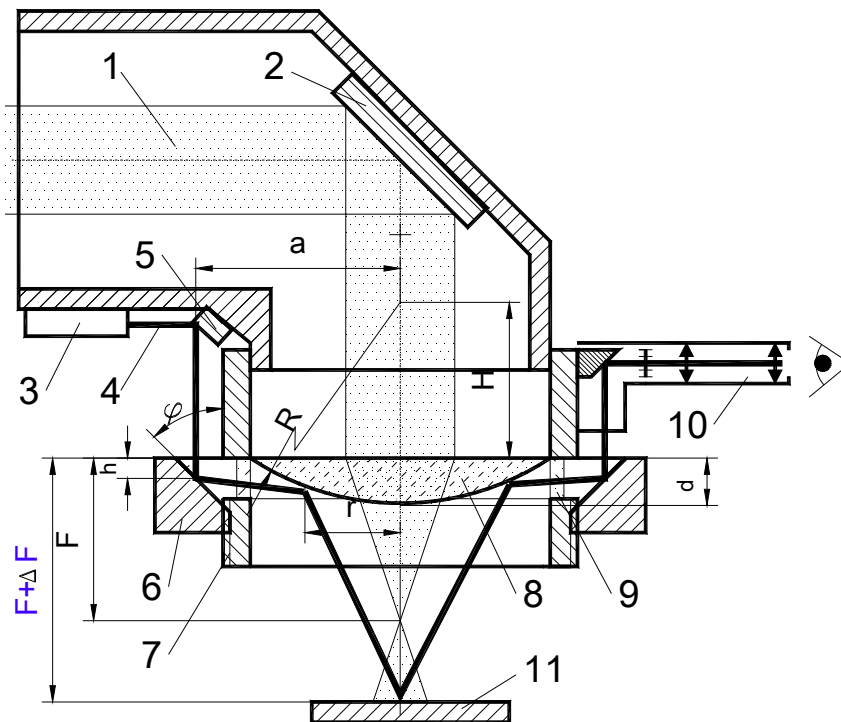


Рис. 7.20 (9.5) . Пристрій для позиціювання лінзи із непрозорого матеріалу за допомогою променя видимого випромінювання

Завдання №37

Розробити конструкцію фокусуєного вузла на оптиці із прозорого матеріалу з можливістю автоматичного підтримання заданих умов опромінювання (рис.7.38, 7.45 [1] або в Презентації **Пр6Л11 12** сл.27 і 32 [2]).

Задано: $F = 150\text{мм}$, $\Delta F = 0 \pm 15\text{мм}$.

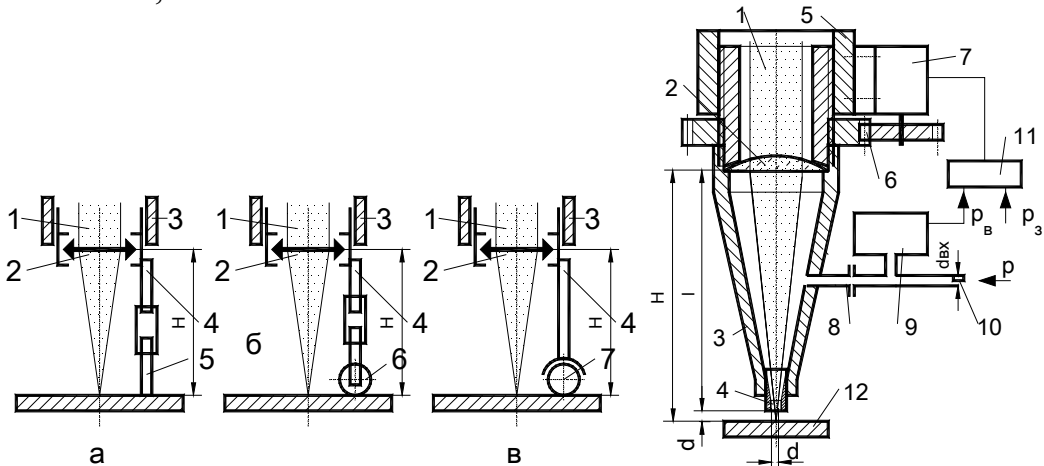


Рис. 7.38 (10.3) . Приклади реалізації схеми позиціонування за рис.7.36 для обробки нерухокої заготовки (а) та її контурної обробки (б, в)

Рис. 7.43 (10.7,8) . Схеми пристроїв автоматичного позиціонування на базі пневматичних датчиків

Завдання №38

Разработать конструкцию системы для опромінювання поверхні заготовки з оптимізацією рівня поглинання енергії випромінювання в залежності від дійсного її стану, наявності бруду, окислів тощо. Принцип роботи такого приладу показано на рис.9.14 [1] або в Презентації **Пр7Л13 14** сл. 14 [2].

Задано: заготовка – листова сталь 45, діаметр пучка випромінювання $D = 40\text{мм}$, фокусна відстань лінзи $F = 200\text{мм}$,

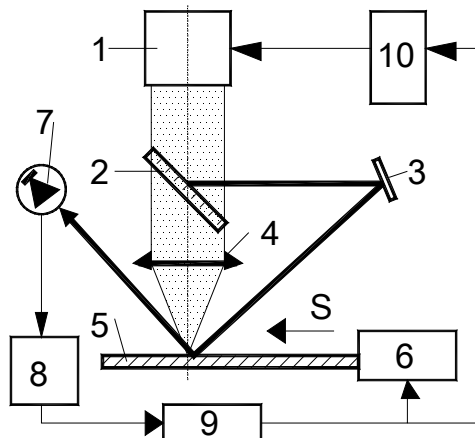


Рис.9.14 (13.13,14) . ЛТУ з пристроєм для визначення реального стану поверхні та керуванням умовами опромінювання

Завдання №39

Розробити конструкцію вузла для комбінованої обробки: лазерного зміцнення поверхні з одночасним її пластичним деформуванням за рахунок силової дії на підігріту зону поверхні циліндричної поверхні ролика, який послідовно котиться за пучком випромінювання. Попереду пучка також котиться ролик, який підготовлює поверхню перед опромінюванням. Кожний ролик повинен обжимати поверхню з різними зусиллями, тому що вона має різну температуру. Схему пристрою показано на рис. 11.13 [1] або в Презентації **Пр8Л15** сл.19, 20 [2].

Задано: матеріал заготовки сталь У8, діаметр пучка випромінювання $D = 40\text{мм}$, потужність $P = 1,2\text{кВт}$, кут розходження $\theta = 0,002\text{мрад}$, $F = 200\text{мм}$, $\Delta F = 18,2\text{мм}$.

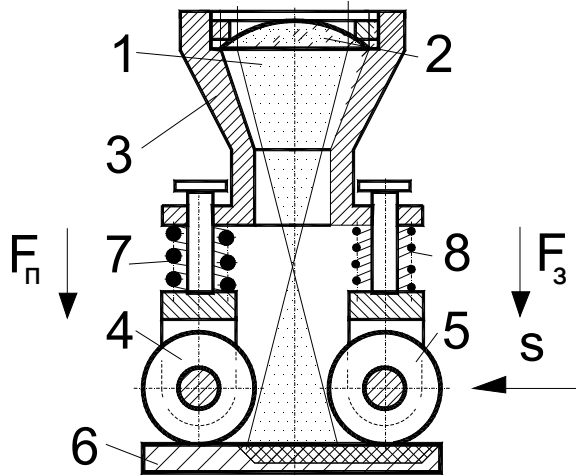


Рис.11.13 (15.13) .Схема пристрою для комбінованого зміцнення плоских поверхонь заготовок з їх подвійним деформуванням

Завдання №40

Розробити конструкцію вузла для комбінованої обробки: лазерного зміцнення поверхні з одночасним її пластичним деформуванням за рахунок силової дії на підігріту зону поверхні циліндричної поверхні ролика, який послідовно котиться за пучком випромінювання, який діє імпульсне. Разом з пучком також котиться ролик з прозорого теплостійкого матеріалу, який обжимає поверхню з зусиллям потрібним для її деформування (схема на рис.11.15 [1] або в Презентації **Пр8Л15** сл.19 [2]).

Задано: матеріал заготовки сталь У8, діаметр пучка випромінювання $D = 16\text{мм}$, енергія $E = 30\text{Дж}$, довжина імпульсу $\tau = 8\text{мс}$; кут розходження $\theta = 0,005\text{мрад}$. Базова ЛТУ – Квант-16.

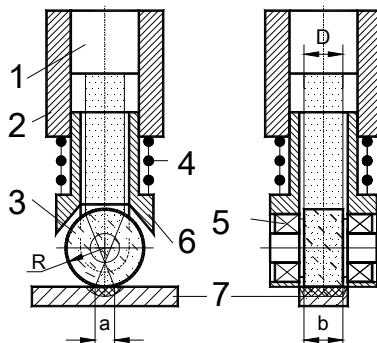


Рис. 11.15 (15.16) .Схема пристрою для комбінованої з ППД зміцнюючої обробки поверхні заготовки при імпульсному опроміненні

Завдання №41

Розробити конструкцію вузла для газолазерної різки асиметричним пучком випромінювання для керування нахилом крайок різу (рис.14-6 [1] або в Презентації **Пр10Л19_20** сл. 4 [2]). Зміщення пучка з осі симетрії повинно відслідковувати напрямок швидкості відносного переміщення променя та заготовки.

Задано: матеріал заготовки сталь Ст.3, діаметр пучка випромінювання $D = 20\text{мм}$, потужність $P = 1,2\text{кВт}$, кут розходження $\theta = 0,002\text{мрад}$, $F = 200\text{мм}$, крайка виробу повинна мати нахил 10° . Базова установка ТЛ-1,5.

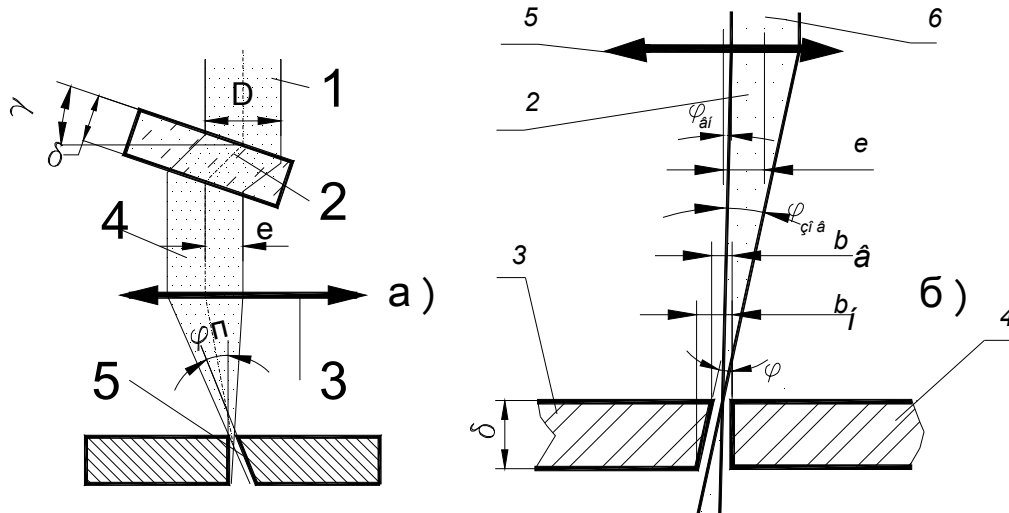
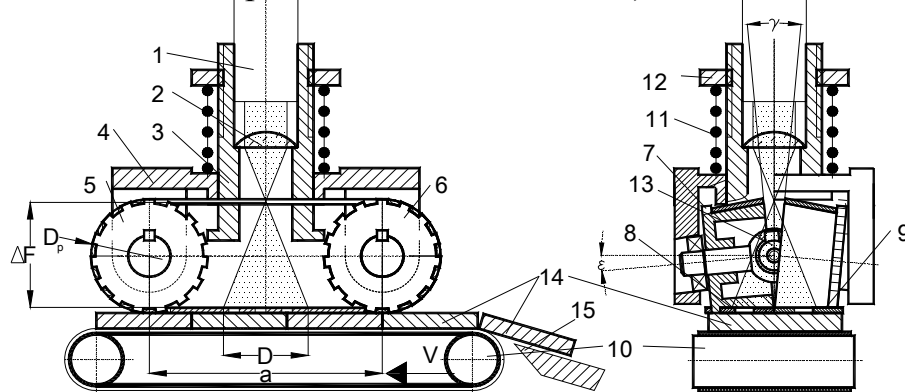


Рис.14.6 (16.21) .Схеми ОПС для ЛТУ для різання листового матеріалу з керуємим нахилом стінок різу

Завдання №42

Розробити конструкцію фокусу чого вузла для нанесення малюнків методом лазерного гравірування на поверхні заготовок одного типу при масовому їх виробництві за умови розташування маски (копіру) на поверхні заготовки (рис.13.3 - 13.6 [1] або в Презентації **Пр9Л16_18** сл. 12 - 14 [2]).

Задано: матеріал заготовки – пластмаса ($W_{p, \text{крит}} = 3,10^4 \text{ Вт/см}^2$); ЛТУ – Квант-16 ($\lambda = 1,06\text{мкм}$, $E = 30\text{Дж}$, $\theta = 0.005\text{рад.}$, $\tau = 1,5\text{-}8\text{мс}$, $f = 1\text{Гц}$); $F = 70\text{мм}$.



.5 (17.10) .Схема пристрою для поступового перенесення змісту малюнка на повер:

Завдання №43

Розробити конструкцію мозаїчного дзеркала для виконання комбінованої схеми гравірування (рис.13.23 [1] або в Презентації **Пр9Л16_18** сл. 24 [2]) з можливістю крокового його повороту для зміни відносного положення знаків, що гравіюються, на нерухомій заготовці. Привод нахилу елементів дзеркала повинен бути достатньо швидко діючим (механізованим).

Задано: матеріал заготовки – дерево; ЛТУ – ГПЛТ100-400/500 ($P_{cp} = 100B_T$, $\lambda = 1,06\text{мкм}$, $\tau = 50\text{мкс}$, $\theta = 0,005\text{рад}$, $D = 6,3\text{мм}$ (з телескопом $\Gamma = 4 * D = 24\text{мм}$). Зеркало розташовується у СОК-1 (Презентація **Пр9Л16_18** сл. 24 [2]).

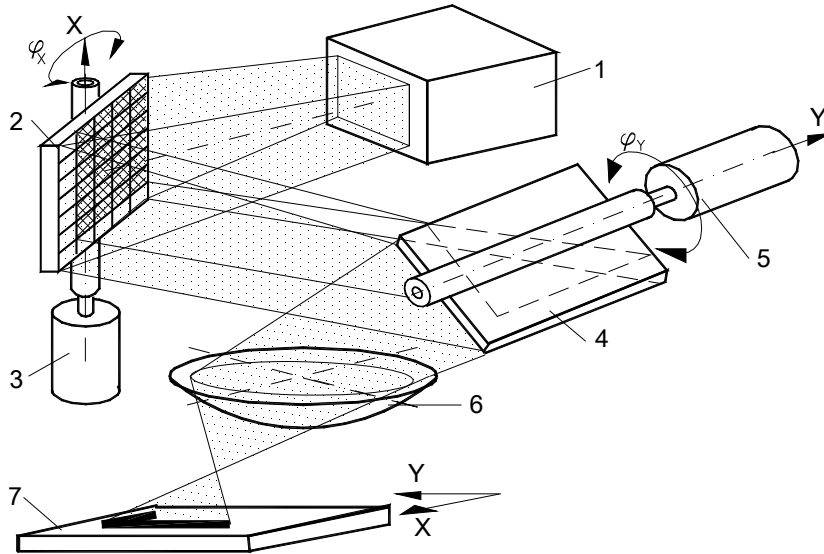


Рис.13.23 (18.5) . ЛТУ для гравірування за комбінованою схемою утворення малюнку

Завдання №44

Розробити конструкцію вузла для оперативного переключення режиму опромінювання заготовки у наступному порядку (рис. 15.8.[1], презентація **Пр10Л19_20** сл. 23 [2]):

- операція змінення зони заготовки, де буде виготовлено отвір;
- операція обробки отвору.

Задано: матеріал заготовки сталь 45; ЛТУ Квант-16 ($E = 30\text{Дж}$, $D_{ac} = 12\text{мм}$, $\lambda = 1,06\text{мкм}$, $\tau = 1,5 - 8\text{мс}$, $\theta = 0,005\text{рад}$).

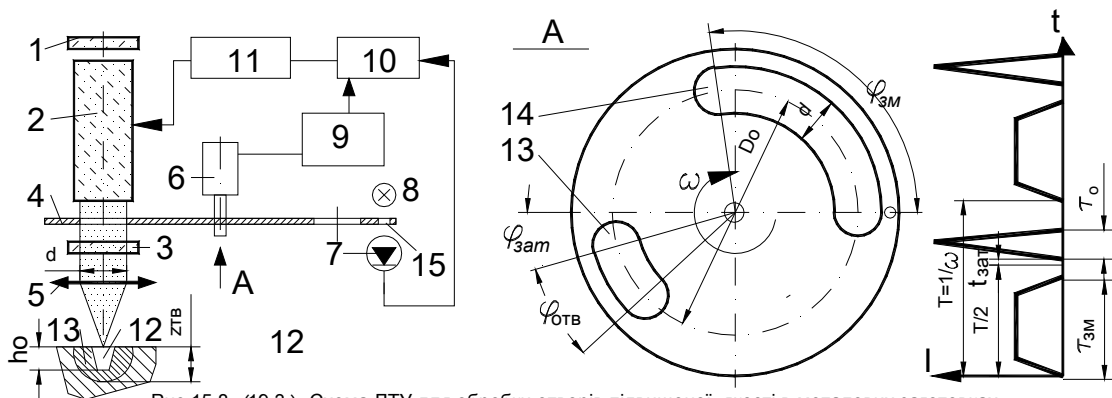


Рис.15.8 (19.3) .Схема ЛТУ для обробки отворів підвищеної якості в металевих заготовках

Завдання № 45

Розрахувати та спроектувати оптичний вузол для автоматичної обробки точного отвору (рис. 16.6 [1] або презентація **Пр10Л19_20** сл. 32 [2]).

Задано: Матеріал заготовки сталь 45; розмір отвору 0,3мм, товщина заготовки 2,0мм; технологічна установка Кристал-6 ($D_{ac} = 7\text{мм}$, $E = 10\text{Дж}$, $\tau = 100\text{-}150\text{мкс}$, $\theta = 4\text{рад}$, $\lambda = 1,06\text{мкм}$); фокусуєчий пристрій – СОК-1.

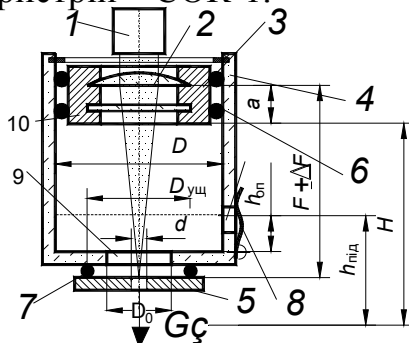


Рис.16.6 (20.3_5) .Схема ЛТУ з пристроєм для керування обробкою отвору за результатом контролем його поточного значення

Завдання № 46

Спроектувати пристрій для зворотно-поступального переміщення циліндричних лінз вздовж їх подовжніх осей з метою збільшення об'єму матеріалу, який піддається діянню пучка випромінювання. Схема переміщень наведена на рис. 6.1 [1], Презентація **Пр4Л17_8** сл. 3 [2]).

Задано: Матеріал лінз – КСІ, загальна фокусна відстань – 150мм, ширина кожної лінзи $B = 30\text{мм}$, довжина $L = 120\text{мм}$. Пучок випромінювання має наступні характеристики: $\lambda = 10,6\text{мкм}$ (CO_2 – лазер ТЛ-1,5), діаметр $D = 20\text{мм}$, потужність $P \leq 1,5\text{кВт}$ (режим роботи – безперервний).

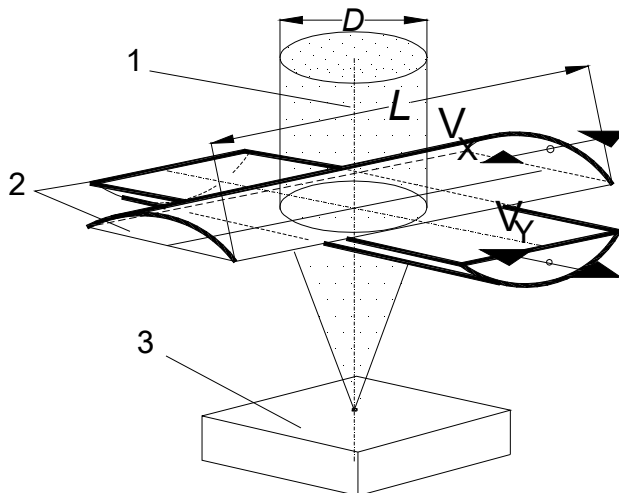


Рис. 6.1 (8.2*) . Схема об'єктиву для перетворення потужного випромінювання

КОНТРОЛЬНА МОДУЛЬНА РОБОТА №1

Завдання № 1

Розробити блок-схему лазерної технологічної установки для прошивки системи глибоких наскрізних отворів ($l/d > 10$) у заготовках із теплопровідного матеріалу (сплав алюмінію) із нормованою подовжньою формою (циліндр). Обґрунтувати вибір схеми модулятора, конструкції вузла, що фокусує, засобів захисту його елементів від продуктів ерозії. Передбачити елементи автоматизації керування роботою установки і організації технологічної операції.

Завдання № 2

Класифікувати методи і засоби захисту поверхонь оптичних елементів вузлів, що фокусують, від продуктів лазерної ерозії: механічні, струмінню газу, полями. Навести їх переваги та недоліки.

10 Завдання № 3

Скласти блок-схему лазерного технологічного комплексу (ЛТК) та визначити основні напрямки вдосконалення його складових.

Завдання № 4

Які організаційні шляхи захисту оптичних елементів від продуктів лазерної ерозії ефективні? Розрахувати умови опромінювання для цих засобів захисту.

11 Завдання № 5

Навести засоби параметричного керування потужністю лазерного променя, розміром його перетину та кутом розбіжності.

Завдання № 6

Привести чотири принципових методи налагодження відносного положення пучка випромінювання та поверхні заготовки. Навести приклади та описати декілька із них.

12 Завдання № 7

Яке застосування в технології лазерної обробки знаходять режими генерації лазерного променя: вільна генерація, з модуляцією добротності резонатора та “велетенського” імпульсу? Засоби їх реалізації. Характеристика подачі енергії у часі, області використання, переваги та недоліки.

Завдання № 8

Навести засоби для створення технологічних та аварійних перерв у опромінюванні заготовки (заслінки). Основний принцип їх функціонування та вимоги.

13 Завдання №9

Описати формування “стоячої” хвилі у резонаторі. Зв’язок цього явища із якістю часової структури імпульсу “вільної” генерації. Випромінювачі із виправленою структурою імпульсу. Лазери на «бігучій» хвилі.

Завдання № 10

Обґрунтувати працездатність схем аморфізації поверхні заготовки з нанесенням матеріалу, який схильний до формування структури без кристалів.

14 Завдання № 11

Навести схеми та конструкції механічних модуляторів добротності резонатора. Які засоби скорочення перехідних процесів використовують зміну рівня добротності.

Завдання № 12

Коли використовують автоматизації процесу налагодження відносного положення пучка випромінювання та заготовки? Які чутливі датчики та системи застосовуються? В чому причини похибки положення заготовки у каустиці променя за аналоговим методом налагодження?

15 Завдання №13

Що таке лазерні затвори? Надати класифікацію оптичних затворів за ефектом, що використовується.

16 . Завдання № 14

Описати методи налагодження відносного положення пучка випромінювання та заготовки за результатами вимірювання параметрів його каустики.

17 Завдання №15

Який механізм діяння модуляторів з ефектом Доплера на пучок лазерного випромінювання в резонаторі? Навести схеми таких модуляторів.

18 Завдання № 16

Чим характеризуються модулятори, які працюють шляхом періодичного змінення рівня порогу генерації активного середовища? Які їх переваги над механічними та ультразвуковими модуляторами.

19 Завдання № 17

Провести класифікацію приладів для виміру енергетичних параметрів пучка лазерного випромінювання за схемою використання, чутливим елементом, що використовується, та методом оцінювання параметру.

20 Завдання №19

Які схеми використовуються у вимірювачів енергетичних характеристик лазерного променя “прохідної” конструкції? Порівняйте можливості наведених схем.

21 Завдання № 20

Навести схему та конструкцію аналізатору розподілу інтенсивності поперек променя на поворотному дзеркалі.

22 Завдання № 21

Навести схему та конструкцію аналізатору розподілу інтенсивності поперек променя на різновисоких світловодах.

23 Завдання № 22

Навести схему та конструкцію аналізатору розподілу інтенсивності поперек променя на дзеркалі – смужці для одно координатного та двох координатного виміру.

24 Завдання № 23

Навести схему та конструкцію аналізатору розподілу інтенсивності поперек променя на дзеркальній спиці. Яким зміненням його конструкції забезпечується формування імпульсного інформаційного сигналу.

25 Завдання № 24

На яких засадах діють засоби керування напрямком вісі пучка випромінювання – кутове та паралельне зміщення пучка?

26 Завдання № 25

Для чого та якими засобами діють оптичні пристрої для зміни форми поперек пучка випромінювання та розподілу інтенсивності в ньому?

27 Завдання № 26

Які засоби використовують для поділу пучка випромінювання між різними користувачами та для подання декількох пучків у одну зону опромінювання? В яких технологічних ситуаціях вони використовуються?

28 Завдання № 27

Якими оптичними елементами користуються для концентрації енергії лазерного променя у зоні опромінювання в разі необхідності обробки заготовок із великою кількістю отворів (сита, решітки), з глибокими отворами із високими вимогами до їх повздожньої форми?

29 Завдання № 28

В яких операціях використовуються трансфокатори з дискретною зміною параметрів елемента, що фокусує? Навести алгоритм визначення параметрів складових оптичних елементів трансфокатора.

Завдання № 29

Якими оптичними засобами послуговуються в операціях для обробки глибоких отворів з циліндричною повздожньою формою їх каналів? Наведіть схему циліндричної світлової трубки та рівняння для її габаритного розрахунку?

30 Завдання № 30

Навести оптичну схему трансфокатора з плавним змінням параметра лінзи, що фокусує, яка може змінювати кут нахилу. Які похибки при перетворенні пучка випромінювання при цьому потребують урахування? Що необхідно, щоб зменшити внаслідок цих похибок низьку якість оброблених отворів?

31 Завдання № 31

Коли використовуються методи налагодження відносного положення пучка випромінювання та заготовки за допомогою додаткового малопотужного випромінювання з довжиною хвилі видимого діапазону? Яким чином підвищують точність процедури шляхом зближення параметрів додаткового та робочого випромінювання?

32 Завдання № 32

Коли можливо застосування методів налагодження відносного положення пучка випромінювання та заготовки шляхом розмірного розташування оптичної системи відносно останньої? Яка різниця в налагодженні з використанням мікроскопів на робочому об'єктиві та засобів по методу двох зображень? Які шляхи подальшого вдосконалення останнього методу?

33 Завдання № 33

Навести схеми електрофізичних та комбінованих засобів захисту поверхні оптичних елементів від продуктів лазерної ерозії. Дати приклади засобів з оцінкою їх можливостей та надійності.

34 Завдання № 34

Що дають засоби керування рівнем потужності лазерного променя за умови використання поглинаючих, інтерференційних та газових фільтрів? Чи можливо їх застосування при необхідності параметричного впливу на енергетичні характеристики променя?

Завдання №35

Які можливості у трансфокатора з плавним змінням параметра елемента, що фокусує (лінзи), який має можливість плавного змінювання кривизни однієї з переломляючих поверхонь? Навести порядок розрахунку параметрів пристрою, включаючи об'єм рідини та швидкість його обертання.

КОНТРОЛЬНА МОДУЛЬНА РОБОТА №2

Завдання № 1

Привести схеми та засоби організаційного підвищення рівня поглинання електромагнітної енергії поверхнею заготовки. Порівняйте баланс енергії опромінення із використанням схем підвищення поглинання та без них.

Завдання № 2

Чим характеризуються настановні елементи технологічного оснащення, які пристосовано до лазерної обробки? Яким вимогам повинні відповідати їх контактні елементи? Вакуумні та магнітні системи закріплення заготовки. Коли та з якою метою застосовують сили електростатичних полів?

Завдання № 3

Для чого використовуються в технологічному оснащенні затискні елементи: прості та комбіновані? Які із приводів елементів оснащення ефективніші: пневматичні, гідравлічні, магнітні або вакуумні?

35 Завдання № 4

Якими засобами та за рахунок чого можливе підвищення ефективності та якості лазерної обробки отворів? Який чинник вважається найголовнішим в створенні вад в оброблених отворах після лазерної обробки?

36 Завдання № 5

Якими засобами можна досягти часткової автоматизації процесу обробки точних отворів за рахунок їх доопрацювання додатковим (додатковими) імпульсами випромінювання? Навести декілька схем.

Завдання № 6

Навести схему адаптивної системи для газолазерного контурного різання з оптимізацією умов опромінювання без залежності від товщини заготовки. В якій процедурі можна застосувати цю схему на етапі підготовки технологічної операції?

37 Завдання № 7

Що досягають в схемах та засобах комбінованої лазерної обробки отворів та контурного різання з залученням додаткових видів енергії? Яку роль в них відіграє лазерна обробка?

Завдання № 8

Навести схеми адаптивних систем для обробки системи точних отворів з використанням чутливих фотоелектричних датчиків. Які напрями впливу на процес обробки використовують з метою коригування її результатів?

Завдання № 9

Навести схеми адаптивних систем для обробки системи точних отворів з використанням чутливих пневматичних датчиків. Які напрями впливу на процес обробки використовують з метою коригування її результатів?

Завдання № 10

Які засоби концентрації променистої енергії використовують під час опромінювання внутрішньої поверхні у режимі її зміцнення? Чим визначається їх конструкція?

Завдання № 11

Яка особливість конструкції дзеркала у сканері гальванометричного типу дозволяє збільшити розміри зони якісного гравірування (з постійною шириною контурної лінії)? Навести схему пристрою та дати оцінку чинника його користі.

Завдання № 12

Навести схему та описати дію повністю автоматизованої лазерної технологічної установки для виготовлення отворів у шариках для омивання вітрового скла автомобілів. Чим гарантується достатня точність отворів?

Завдання № 13

Який принцип легування поверхні заготовки з підвищеним рівнем дифузії модифікатора у матрицю використано за рахунок одночасного їх розплавлення. Які параметри процесу необхідно визначати?

Завдання № 14

Що дають пристрої для комбінованої обробки (лазерне опромінювання у режимі гартування та поверхнево пластична обробка) з безперервною подачею енергії. Які варіанти конструкцій інденторів застосовуються?

Завдання № 15

Що дають пристрої для комбінованої обробки (лазерне опромінювання у режимі гартування та поверхнево пластична обробка) з імпульсною подачею енергії? Навести схеми пристроїв.

Завдання № 16

Які застосовуються засоби для нанесення регулярного мікро рельєфу під час комбінованої лазерної обробки? Для яких виробів застосовують такий вид обробки?

Завдання № 17

Чим досягається (методи та пристрої) і для чого оптимізація форми та якості зварювальної ванни під час лазерного нагріву заготовки?

Завдання № 18

Які вимоги висуваються до різаків для подачі робочого газу в операціях газолазерного різання? Навести їх конструкції та засоби центрування сопла із віссю пучка випромінювання.

Завдання № 19

Які вимоги висуваються до різаків для подачі допоміжного газу в технологічних операціях поверхневої обробки? Навести схеми їх конструкцій.

Завдання № 20

Які вимоги висуваються до різаків для одночасної подачі робочого та допоміжного газів. Як розділяються їх струмені?

Завдання № 21

Які засоби оптимізації операцій газолазерного різання: початку операції, обходу контуру, керуванням якістю різу (грат, клиноподібність та ін.) застосовуються?.

Завдання № 22

Навести три методи формування малюнків на поверхні заготовки. Який метод застосовується в масових операціях, а який в індивідуальному виробництві? Інші області використання в залежності від особливостей схем.

Завдання № 23

Які можливості використання проєкційних схем в пристроях для гравірування? Які технічні засоби оперативного керування змістом малюнка, що наноситься застосовуються?

Завдання № 24

Чим забезпечують контурне сканування пучка випромінювання у операціях гравірування малюнка? Навести схеми сканерів на дзеркалах та прозорій оптиці.

Завдання № 25

Надати схему пристрою для нанесення малюнку на складну за формою поверхню заготовки з високою якістю контурної лінії. Яка кількість керуємих приводів потрібна?

Завдання № 26

Якими перевагами характеризуються схеми пристроїв для комбінованого гравірування малюнків на поверхні заготовки? Навести схеми на прозорих та дзеркальних колекторах інформації.

Завдання № 27

Якої мети досягають при оптимізації рівня поглинання електромагнітної енергії поверхнею заготовки? Надати класифікацію методів підвищення рівня поглинання.

Завдання № 28

Чим кращі методи оперативного нанесення поглинаючих покриттів на поверхню заготовки, що піддається лазерному опромінюванню. Наведіть схеми нанесення покриття із газового, рідкого та твердого середовищ.

Завдання № 29

Які засоби додаткового впливу на процес лазерної розмірної обробки отворів (суміщення з додатковими видами енергії) ефективні з позицій якості результатів, ефективності обробки та її енергонасиченості?

Завдання № 30

Розробити сканер в декартових координатах на двох циліндричних лінзах з ручним та механізованим приводом. Чим цей сканер відрізняється від дзеркальних гальванометричних?

Завдання № 31

Для чого застосовують автоматизацію процесу обробки точних отворів шляхом контролю розходу повітря через нього: створення вакууму над заготовкою використанням вакуум насосу?

Завдання № 32

Для чого застосовують автоматизацію процесу обробки точних отворів шляхом контролю розходу повітря через нього: створення вакууму над заготовкою зменшенням об'єму герметичної камери? Розрахуйте необхідну частоту подачі імпульсів в залежності від діаметру отвору, який обробляється. та ваги заготовки.

Завдання № 33

Для чого застосовують автоматизацію процесу обробки точних отворів шляхом контролю розходу повітря через нього: створення вакууму над заготовкою ежекторним ефектом?

Завдання № 34

Наведіть схему ЛТУ з адаптивним керуванням якості різання за результатами контролю наскрізності різку лінійкою фотоелементів.

Завдання № 35

Розробити конструкцію різача, який забезпечує постійний контроль поглинальної здатності заготовки перед зоною опромінення незалежно від напрямку відносного переміщення з заготовкою

**ПЕРЕЛІК ЗАПИТАНЬ до екзамєну
з навчальної дисципліни «ССЗуЗП ЛтаСТ»**

1. Навести схеми пристроїв для *стабілізації умов опромінення* в операції розмірної обробки отворів. (за даними практ. заняття №19).
2. Навести схеми пристроїв для *формування регулярного мікрорельєфу* на поверхнях заготовок з використанням лазерного опромінення.
3. Навести способи та схеми пристроїв для аморфізації поверхні деталей машин.
 1. Навести схеми пристроїв для налагодження оптичної системи ЛТУ за результатами аналізу каустики пучка випромінювання. (досвід практичного заняття №16).
 2. Навести схеми пристроїв для захисту лазерної оптики від продуктів ерозії матеріалу заготовки газовими струменями.
 3. Навести способи та схеми засобів підвищення поглинальної здатності зовнішньої циліндричної поверхні заготовки внаслідок організаційного вдосконалення операції.
 4. Навести схеми пристроїв для операцій *гравірування з обходом променем контуру* та змісту малюнка. (матеріал практичного заняття № 25).
 5. Викласти принцип дії та навести схеми застосування *пасивних модуляторів добротності резонаторів*. Визначити, якими параметрами затворів можна керувати часовими та енергетичними характеристиками випромінювання
 6. Навести схеми оптичних пристроїв для *складання потужностей* декількох пучків випромінювання. (практичні заняття з дзеркальними та прозорими суматорами № 11).
 7. Навести схеми *сканера на циліндричних лінзах* для гравірування малюнків (надписів) на поверхні заготовки.
 8. Навести схеми пристроїв для *механічного захисту* лазерної оптики від продуктів ерозії матеріалу заготовки.
 9. Навести схему та пристрій для *легування* поверхні заготовки з використанням дифузії – “рідина в рідину”. (які параметри опромінення та подачі модифікатору необхідно визначати – практ. заняття № 22).
 10. Навести схеми засобів *керуванням характеристиками променя* резонаторним (модовим) його діафрагмуванням.
 11. Навести схеми пристроїв для позиціонування оптичних елементів ОПС ЛТУ, виготовлених із *непрозорих (інфрачервоних) матеріалів*, відносно поверхні заготовки.
 12. Навести схеми пристроїв для *автоматизації процесу лазерної обробки* точних отворів.
 13. Навести оптичні схеми пристроїв для *послідовного транспортування пучка випромінювання* до декількох споживачів.
 14. Навести схеми оптичних засобів для *змінення форми поперечного перетину пучка* випромінювання. (на прикладі практичного заняття № 8 порівняти ефективність «обрізання» променю та його перебудови).
 15. Навести *структуру ТОС і основні напрямки розробки* технологічного оснащення і спеціальних елементів для керування процесом обробки в технологічних операціях.

16. Навести схеми пристроїв для комбінованої (із ППД) лазерної обробки з *безупинним опроміненням поверхні заготовки*. (перелік видів деформуючих елементів для підвищення міцності поверхні та його зносостійкості за практичним заняттям № 23)
17. Навести схеми насадок на фокусуючий елемент (різаків) для *одночасної подачі в зону опромінення струменів робочого і допоміжного газів*.
18. Навести оптичні схеми пристроїв для *послідовного транспортування пучка випромінювання* до декількох споживачів.
19. Навести схеми організаційних засобів підвищення поглинальної здатності *внутрішніх циліндричних та плоских поверхонь заготовок*. (оцінити ефективність схем повторного опромінення : практ. заняття № 21).
20. Навести схеми пристосувань для *лазерного зварювання дротів* та дротів з листовими заготовками.
21. Навести способи та схеми засобів інтенсифікації поглинальної здатності поверхні заготовки *із газових середовищ*. (із практичного заняття № 21 розробити умови нанесення вуглецю із смолоскипу).
22. Навести схеми пристроїв для захисту лазерної оптики від продуктів ерозії матеріалу заготовки *газовими струменями*.
23. Які принципи застосовуються при *адаптивній організації технологічних операцій* лазерної розмірної обробки
24. Навести схеми оптичних систем для змінення напрямку поширення пучка випромінювання (паралельного та кутового).
25. Яке технологічне оснащення потрібне для інтенсифікації, підвищення ефективності та якості *операцій контурного лазерного вирізання*?
26. Викласти принцип дії та схеми необхідних пристроїв для транспортування пучка лазерного випромінювання від лазера до споживача по *світло волокну*. (з практики проектування вузла, що погоджує лазер та волокно, заняття № 9, визначити необхідний ступінь свободи для їх сполучення).
27. Навести схеми оптичних пристроїв для комбінованої (із ППД) лазерної обробки з *імпульсним опроміненням* поверхні заготовки. (які матеріали використовують для деформуючих інденторів – із заняття № 23).
28. Навести схеми пристроїв для гравірування, що працюють за методом копіювання з розміщенням *маски на поверхні* заготовки.
29. Навести схему *ЛТУ з технологічним модулем* з транспортуванням пучка випромінювання вздовж складного контуру вирізання
30. Навести схеми *багато дзеркальних сканерів* (дефлекторів)..
31. Навести схеми ТОС з адаптивною формою організації технологічної операції розмірної обробки з безпосереднім контролем її розмірних результатів пневматичними засобами (*заготовки простої форми з одним отвором*). (визначити за практичним досвідом заняття № 35 параметри газового середовища).
32. Навести класифікацію та *схеми затискних механізмів* пристосувань для лазерної обробки та їх характеристики
33. Навести класифікацію способів та схеми пристроїв для захисту лазерної оптики від продуктів лазерної ерозії
34. Навести схеми *аналізаторів радіального розподілу інтенсивності* випромінювання в лазерному промені. Яким чином можна вдосконалити “аналізатор на спиці”?

35. Викласти принцип дії та схеми пристроїв для *ультразвукової механічної модуляції добротності резонаторів на ефекті Доплера*. (довести на базі практичних занять № 3 їх низьку ефективність для активних середовищ з великим коефіцієнтом підсилення).
36. Навести схеми засобів пристосувань для організаційного вдосконалювання операцій розмірної обробки.
37. Навести схеми опромінення та засоби їх організаційного вдосконалення для *оптимізації процесу поглинання енергії* випромінювання поверхнею заготовки.
38. Навести схеми ЛТУ з традиційною та модернізованою *схемами легування поверхні* заготовки при лазерному нагріванні. (чим гарантується більша ефективність розробленого в КПП методу легування – заняття №22)
39. Навести схеми *оригінальних оптичних систем* для перетворення пучка випромінювання з метою концентрації його енергії та надання заданої поперечної та повздовжньої форми в разі обробки сит
40. Яке технологічне оснащення потрібне для інтенсифікації, підвищення ефективності та якості *операцій контурного лазерного вирізання*?
41. Навести схеми ТОС з адаптивною формою організації технологічної операції розмірної обробки з безпосереднім контролем її розмірних результатів пневматичними засобами (*заготовки простої форми з багатьма отворами*). (практичне заняття № 32)
42. Навести класифікацію *прийомів позиціювання* заготовки в каустиці пучка випромінювання. (на базі практичних занять сформулювати особову думку про якість кожного з методів: заняття № 16 – 18)
43. Навести схеми пристроїв для *гравірування за комбінованою схемою* формування змісту малюнка..
44. Навести схеми ЛТУ для нанесення *регулярного мікрорельєфу* на поверхні виробу
45. Навести схеми організаційних засобів підвищення поглинальної здатності *внутрішніх циліндричних та плоских поверхонь* заготовок
46. Навести схеми пристосувань для *вирізання заготовок круглого контуру* шляхом переміщення (сканування) променя. (сканери на базі оптичних клинів: схеми для вирізання циліндричних отворів – заняття № 15)
47. Навести схеми різаків, які призначені для *подачі робочого газу* в зону опромінення.
48. Навести схеми засобів для підвищення якості (точності розмірів та повздовжньої форми) операції розмірної обробки
49. Навести схеми безконтактних систем автоматизованого позиціювання пучка випромінювання відносно поверхні заготовки
50. Викласти принцип дії та схеми необхідних пристроїв для транспортування пучка лазерного випромінювання від лазера до споживача по *світло волокну*. (схеми вузлів, що погоджують просторове положення променя а волокна: заняття № 9).
51. Навести схему ЛТУ з пристроями для *формування контуру зварювального шва*.
52. Навести схеми ОННС для *позиціювання дзеркальних елементів* ОПС відносно поверхні заготовки. (до якого методу позиціювання відноситься ця методика: заняття № 18)
53. Навести схеми *оптичних та механічних засобів* оптимізації форми зварювальної ванної.
54. Навести схеми пристосувань для *вирізання заготовок круглого контуру* шляхом переміщення (сканування) променя. (наведіть найпростіші схеми сканування:

практичне заняття № 15).

55. Навести схеми ЛТУ з пристроями для автоматичного керування процесом обробки *за параметрами ерозійного факела руйнації матеріалу*.
56. Привести схеми систем та елементну базу для *автоматизації процедури позиціювання заготовки у каустиці пучка випромінювання* (жорсткі і податливі упори).
57. Викласти принцип дії та схеми пристроїв для ультразвукової механічної модуляції добротності резонаторів на *зміні порога генерації активного середовища*.
58. Навести схеми пристроїв для позиціювання ОПС ЛТУ відносно поверхні заготовки з *додатковим підсвічуванням зони опромінення*. (принцип подвійного зображення, як сучасніший метод відносного позиціювання: практичне завдання № 18)
59. Визначити *напрямки застосування спеціальних пристосувань* для операцій поверхневої термообробки. Навести схеми деяких пристроїв.
60. Навести способи та схеми оптичних засобів *інтенсифікації поглинальної здатності* поверхні заготовки. (чим відрізняються організаційні та оптичні схеми підвищення поглинальної здатності: практичне заняття № 21).
61. Навести схеми *трансфокаторів із плавним змінням умов опромінення* (фокусної відстані).
62. Навести класифікацію та *схеми затискних механізмів* пристосувань для лазерної обробки та їх характеристики
63. Навести схеми ЛТУ з пристроями для автоматичного керування процесом обробки *за параметрами ерозійного факела* руйнації матеріалу
64. Навести схеми ЛТУ з пристроями для автоматичного керування процесом обробки за параметрами ерозійного факела руйнації матеріалу.
65. Навести схеми трансфокаторів *із дискретним змінням умов опромінення* (фокусної відстані). (алгоритм підбору складових оптичних елементів трансфокатору на базі практичного заняття № 14)
66. Навести схеми ЛТУ з адаптивною організацією технологічної операції за результатами контролю *непрямих результатів процесу* обробки
67. Навести схеми ТОС з адаптивною формою організації технологічної операції розмірної обробки з безпосереднім контролем її розмірних результатів пневматичними засобами (*заготовки складної форми з одним отвором*). (Навести вимоги до пневматичної характеристики вимірювальної системи та засоби її керуванням: практичне заняття № 35)
68. Навести схеми *електрофізичних і комбінованих засобів* захисту лазерної оптики від продуктів ерозійного факелу.
69. Навести схему оптичної системи для обробки отворів в матеріалах з високою теплопровідністю шляхом створення навкруги зони опромінення *теплової завіси*
70. Навести принципи дії приладів для керування тонкою часовою структурою імпульсів випромінювання (*оптичні модулятори*: ЭОМ, АОМ, МОМ). Оцінити їх якості (на базі практичного заняття № 3).
71. Навести схеми приладів для визначення інтегральних характеристик пучка випромінювання за тупиковою схемою вимірювання.
72. Проаналізувати *механізм формування багато модових пучків* випромінювання в оптичному резонаторі з посилюючим середовищем. Які вади набуває пучок

випромінювання внаслідок такої схеми підсилення випромінювання? (що таке ЛБХв та ЛБС: практичне заняття № 3).

73. Навести схеми технологічного оснащення ЛТУ для оптимізації початку та закінчення переходу *різання тупикових різів* в операціях контурного вирізання виробів
74. Навести схеми оптичних пристроїв для *паралельного транспортування пучків* лазерного випромінювання
75. Навести схеми ЛТУ з ОННС для її позиціювання відносно поверхні заготовки за методом подвійного зображення. (Яким чином може відбуватися подальше вдосконалення такої ОННС: заняття № 18).
76. Які принципи застосовуються при адаптивній організації технологічних операцій лазерної розмірної обробки
77. Навести схеми приладів для визначення інтегральних характеристик пучка випромінювання за тупиковою схемою вимірювання.
78. Навести схеми оптичних та механічних пристосувань для сканування лазерного променя при необхідності *вирізання заготовок круглої форми або отворів* в них.
79. Навести схеми внутрішніх резонаторних приладів для *керування характеристиками пучка випромінювання* (енергією (потужністю), кутовими і розмірними характеристиками).
80. Навести схеми ЛТУ з ОННС для її позиціювання відносно поверхні заготовки за методом подвійного зображення. (Яким чином може відбуватися подальше вдосконалення такої ОННС: заняття № 18).
81. Навести схеми пристроїв для керування тонкою часовою структурою імпульсу випромінювання (*механічні модулятори*). (які головні недоліки механічних модуляторів: практичне заняття № 3).
82. Навести схеми оптичних пристроїв для *паралельного транспортування пучків* лазерного випромінювання.
83. Навести схеми сканерів пучка випромінювання за *круговою траєкторією*
84. Навести оптичні схеми для позиціювання ОПС відносно поверхні заготовки в *промені додаткового освітлювача* з іншою, ніж у робочого променя довжиною хвилі. (практичне заняття № 18).
85. Яким чином діють засоби для нанесення твердих поглинаючих покриттів на поверхні заготовки з метою підвищення її поглинальної здатності.
86. Навести схеми засобів інтенсифікації поглинальної здатності поверхні заготовки в операціях лазерної обробки із рідких середовищ
87. Навести схеми (конструкції) *сканерів (дефлекторів)* на елементах, що *переломлюють*.
88. Навести схеми *проекційних оптичних систем* для гравірування лазерним променем шляхом копіювання. Навести приклади підвищення їх гнучкості. (Заняття № 25 – гравірування шляхом копіювання змісту маски)
89. Класифікувати *настановні елементи пристосувань* за формою поверхні заготовки.
90. Навести схему ЛТУ для розмірної обробки із застосуванням енергії від *додаткових джерел*.
91. Навести схему ЛТУ для розмірної обробки із застосуванням енергії від *додаткових джерел*

92. Навести схеми та алгоритм розрахування *трансфокатору з дискретним змінюванням фокусної відстані*. (заняття № 15).
93. Які способи та засоби їх реалізації використовуються для *обробки отворів в заготовках із прозорих матеріалів*. (Практичне заняття № 34)
94. Навести схеми сканерів для терапії з *поступовим переміщенням дзеркала, що відхиляє*. Які особливості кінематики такого руху?
95. Які *спеціальні настановні елементи ЛТУ* (столи та опори) застосовуються при наскрізній обробці заготовки
96. Навести принципи побудови сканерів для *терапевтичних процедур спрощеної конструкції* з універсальним законом сканування променя по поверхні зони опромінення.
97. Навести схему аналізатора пучка випромінювання на спиці з двома *обертливими рухами* для одержання інформації в імпульсному вигляді.
98. Навести схеми опромінення з *поверненням у зону обробки відбитих від поверхні променів*. З якою метою вони застосовуються? Які результати досягнуто? (Приклади їх використання для циліндричних поверхонь заготовки: заняття № 21).
99. Навести схеми сканерів *лазерного променя на одному дзеркалі*.
100. Надати *порівняльні характеристики* лазерного гравірування скануванням пучка випромінювання та з копіюванням малюнка маски. Області застосування кожного з методів.
101. Навести схеми сканерів на *прозорих елементах, що обертаються*. (на ексцентричній лінзі, на оптичних клинах; дати схему за результатами виконання практичного завдання № 14).
102. В яких операціях та для чого застосовується *лазерна обробка з подачею води в зону опромінювання*?
103. Навести схему оптичного пристрою для нанесення аморфної плівки на *поверхню заготовки значної довжини* без перекриття окремих зон. (Використання явища повного внутрішнього віддзеркалення: практичне заняття № 22).
104. Навести схеми сканерів для терапії з *поступовим переміщенням та коливальним відхиленням дзеркала, що відхиляє*. Які особливості кінематики такого руху?
105. Якими пристроями можна *вдосконалити двох координатну різальну ЛТУ* порталного типу (із оптикою, що “літає”).
106. Навести схеми сканерів для терапії з *кутовим відхиленням дзеркала, що відхиляє*. Які особливості кінематики такого руху? Яким чином обирається профіль кулачка та чим забезпечується вимога до спрощення технології його виготовлення?
107. Навести схеми ЛТУ з ОННС для її позиціювання відносно поверхні заготовки *за методом подвійного зображення*. (навести схему з можливістю налагодження положення заготовки в різні рівні каустики променя: заняття № 18)

Додаток Д

Тест завдання до on-line екзамену з навчальної дисципліни «ССУЗвПЛтаСТ»

Білет №1

Питання 1

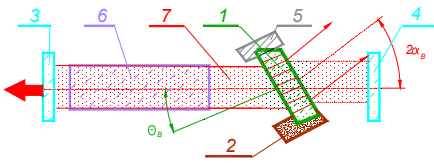


Рис.1.1.

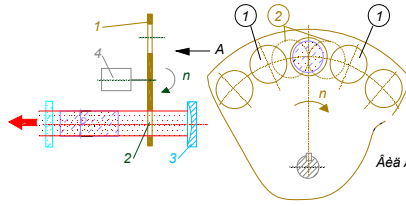


Рис.1.2

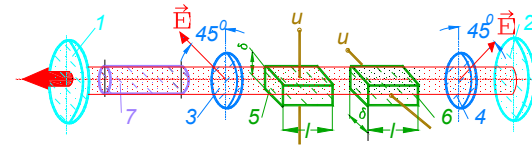


Рис.1.3

Питання 1: Схеми яких пристроїв зображено на малюнках? Розташуйте варіанти у порядку

Питання 2

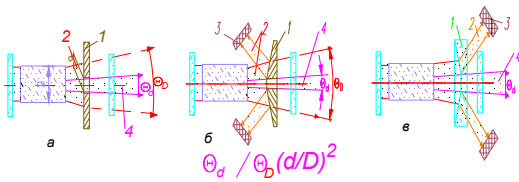


Рис. 2.1.

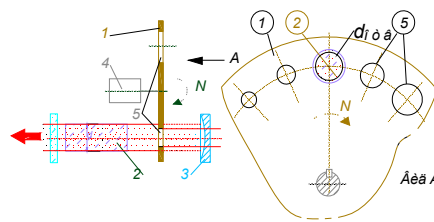


Рис. 2.2.

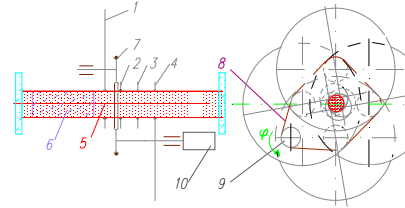


Рис.2.3.

Питання 2: Схеми якого пристрою зображено на малюнках? Розташуйте варіанти за якіст

Питання 3

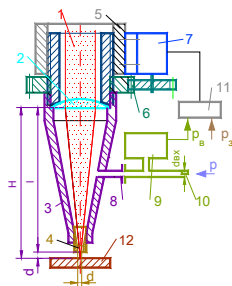


Рис. 3.1

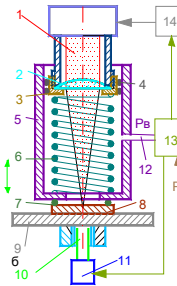


Рис. 3.2.

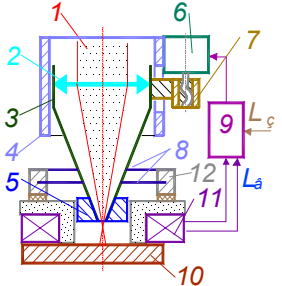


Рис.3.3

Питання 3: Які функції мають виконувати прилади наведених схем в розмірній обр

Варіанти відповідей

А – фіксація зони опромінення від зміщення

В – налагодження первинного та підтримання заданого відносного пол

С – опромінення при повздовжньому колива

D – налагодження первинного заданого відносного п

Розробив

проф. Котляров В.П.

Розглянуто та затверджено на засіданні кафедри ЛТ та ФТТ: Протокол № 9 від 14 травня 2020 р.

Білет №2

Питання 1

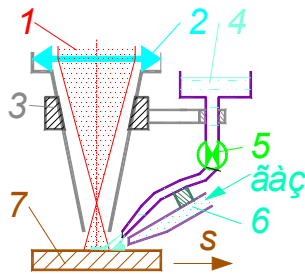


Рис.А.

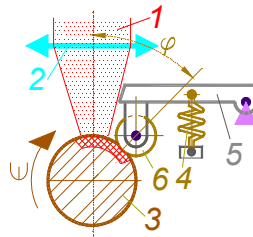


Рис. В

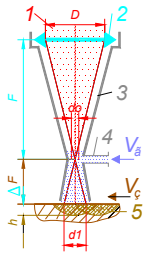


Рис.С

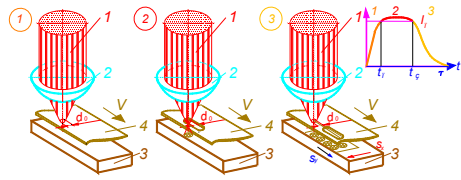


Рис. D

Питання 1: Схеми яких технологічних операцій зображено на малюнках? Розташуйте варіанти за таким порядком: аморфізація, легування, зміцнення, ППД з лазерним нагріванням.

Питання 2

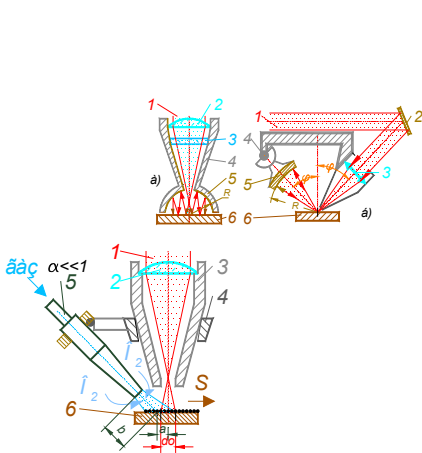


Рис. 2.1.

Рис. 2.4

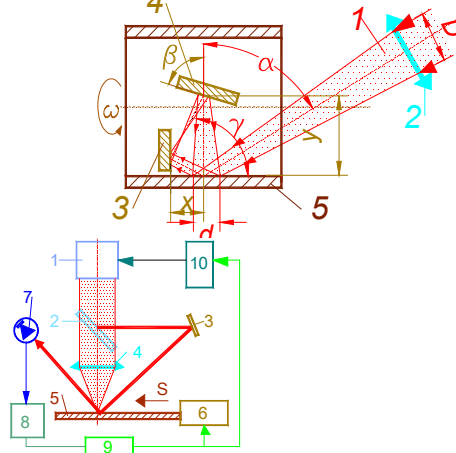


Рис. 2.2.

Рис.2.3.

Питання 2: Для покращення якої якості обробки технологічної операції призначені наведені схеми та пристрої:

А – точності; В – продуктивності; С – собівартості; D - ефективності

Питання 3

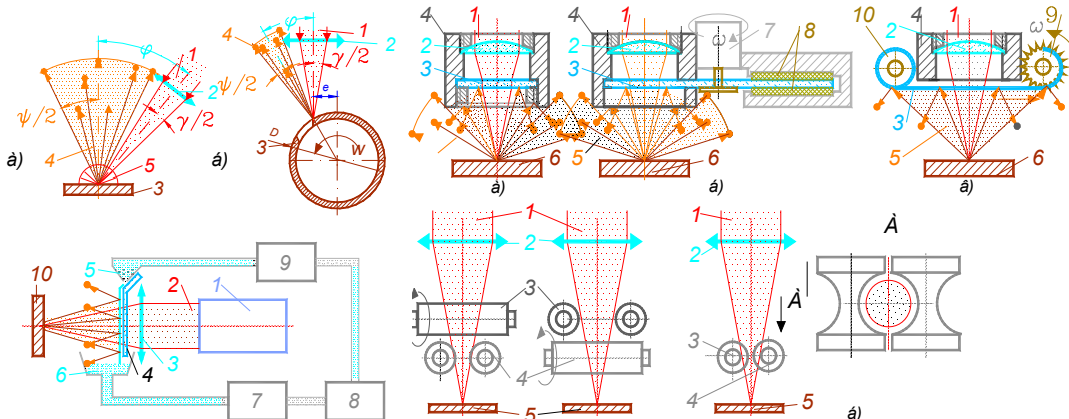


Рис. 3.1

Рис. 3.4

Рис. 3.2.

Рис.3.3

Питання 3: З якою метою використовуються схеми обробки та пристрої, що зображено?

Варіанти відповідей: А – для підвищення точності обробки; В – для збільшення продуктивності операції; С – для зниження її собівартості

D – для захисту оптичних елементів від ерозійного факелу

Розробив

проф. Котляров В.П.

Білет №3
Питання 1

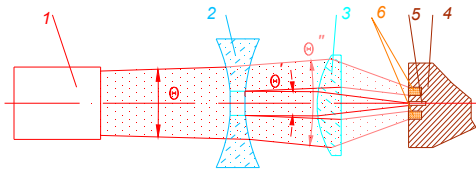


Рис.1.1.1.

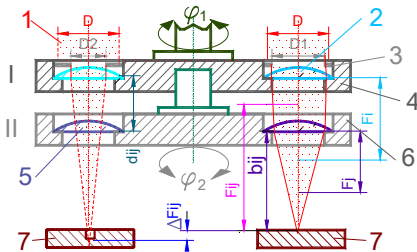


Рис.1.1.4

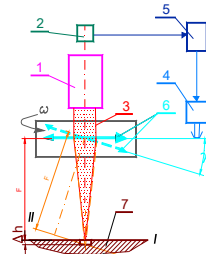


Рис.1.2

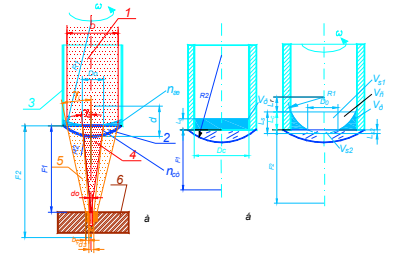


Рис.1.3

Питання 1: Оберіть з наведених схем оптичних пристроїв ті, що сприяють підвищенню: 1. точності поперечного розміру отворів;

2. відповідності повздовжньої їх форми заданій; 3. ефективності обробки; 4 - усім вимогам до операції

Питання 2

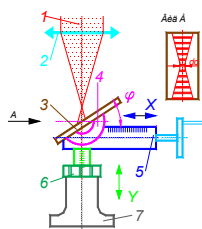


Рис. 2.1.

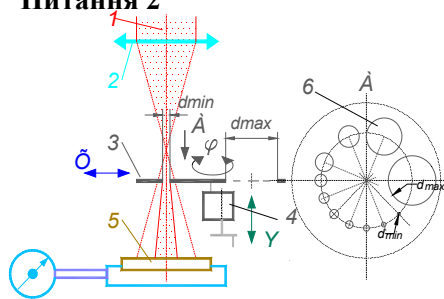


Рис. 2.2.

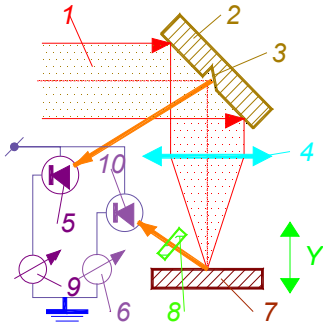


Рис. 2.4

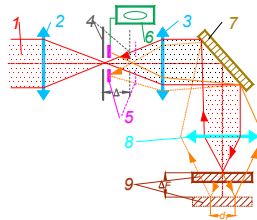


Рис.2.3.

Питання 2: За яким загальним принципом виконується пошук перетину каустики променя заданих параметрів для розміщення поверхні заготовки?

А. за розміром зони опромінення на поверхні заготовки; **В.** за результатом впливу променя на заготовку; **С.** за результатами діагностики каустики; **Д** за розрахунками

Питання 3

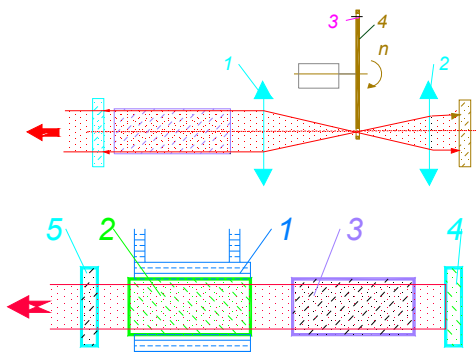


Рис. 3.1

Рис. 3.4

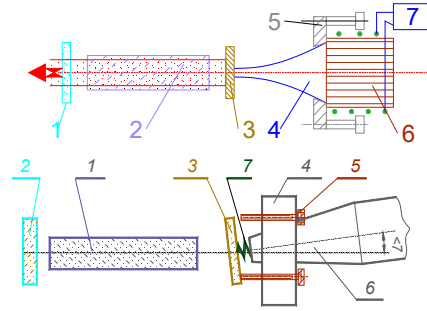


Рис. 3.2.

Рис.3.3

Питання 3: Який з наведених схем модуляторів добротності резонатору є пасивним?

Розробив

проф. Котляров В.П.

Білет №5
Питання 1

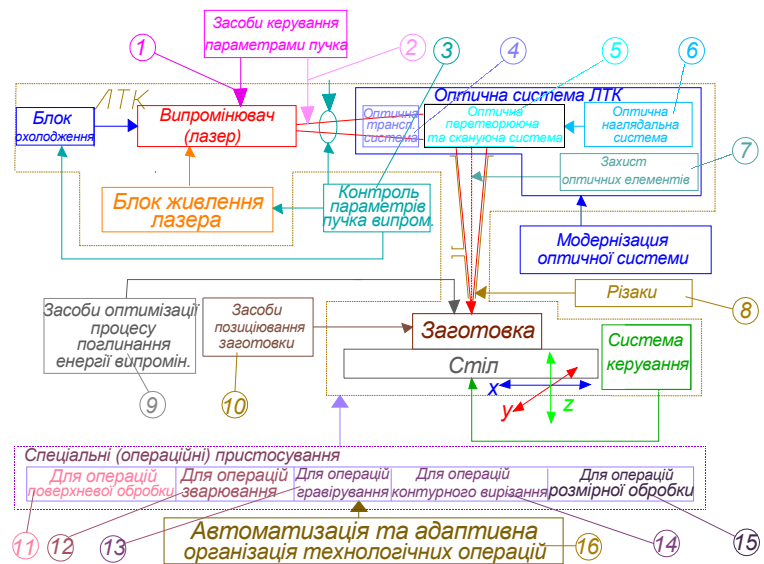


Рис.1.1.

Питання 1: Які засоби необхідно використовувати для керування часовим режимом подію? А. блок живлення лазера. В. засоби внутрішнього впливу на властивості резонатора лазера; С. оптичний промінь, D - оптичну наглядову систему

Питання 2.

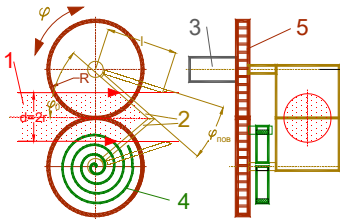


Рис. 2.1.

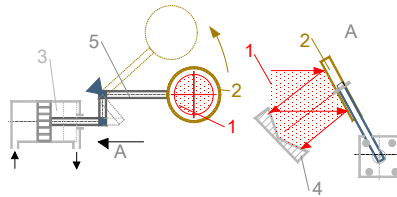


Рис. 2.2.

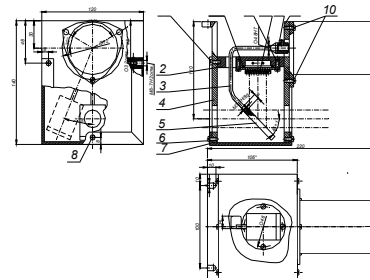


Рис.2.3.

Питання 2: За якою схемою повинна будуватися заслінка для аварійних або технологічних перерв у режимі роботи лазера при потужності променя до 1,5 кВт

Питання 3

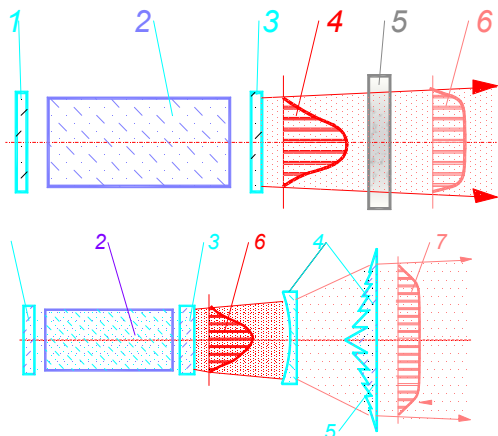


Рис. 3.1

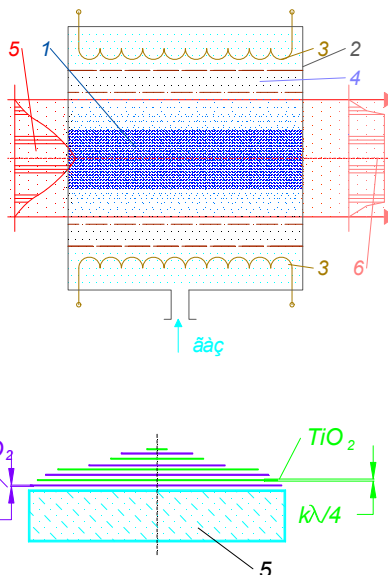


Рис. 3.2.

Рис.3.3

Рис. 3.4

Питання 3: За якою схемою можна досягати обраного закону розподілу енергії в поперек лазерного променя, зважаючи на реальний розподіл в останньому на його виході з резонатору?

Розробив

проф. Котляров В.П.

Білет №6

Питання 1

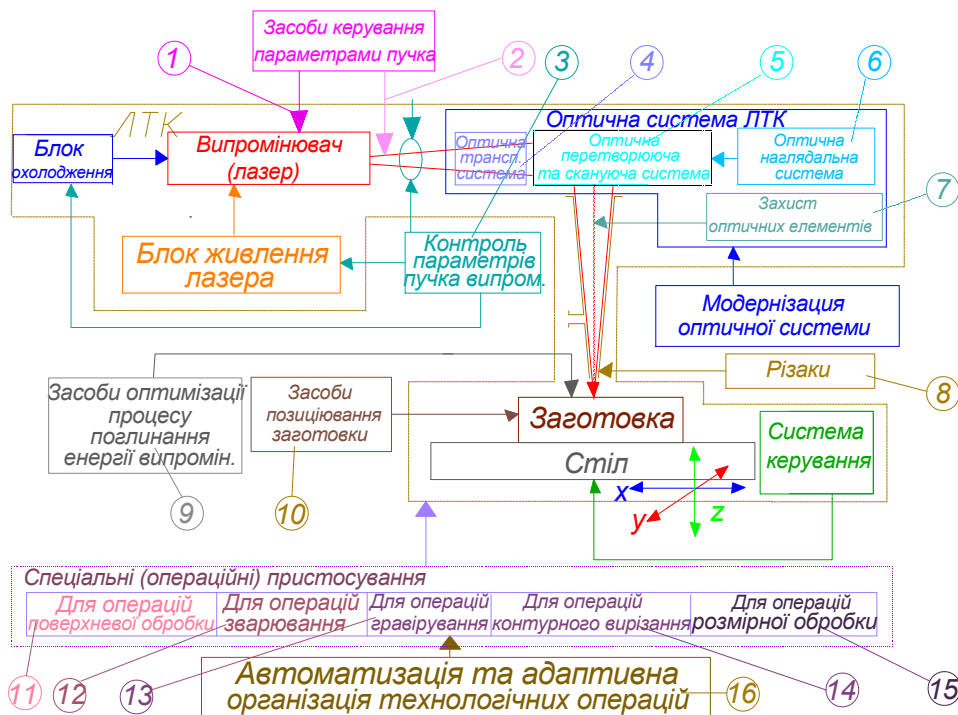


Рис.1.1.

Питання 1: Які засоби необхідно використовувати для керування формою поперек лазерного променя

- А.** блок живлення лазера; **В.** засоби внутрішнього впливу на властивості резонатора лазера; **С-** засоби зовнішнього впливу на лазерний промінь; **Д.** - оптичну наглядову систему

Питання 2.

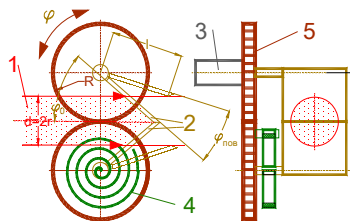


Рис. 2.1.

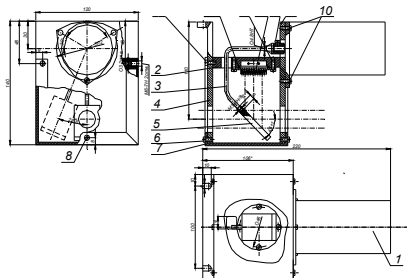


Рис. 2.4.

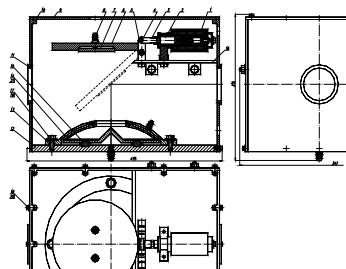


Рис. 2.2.

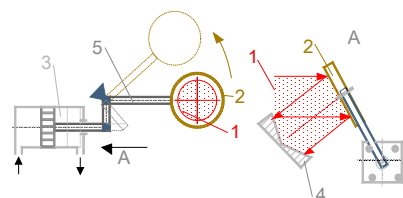


Рис.2.3.

Питання 2: За якою схемою повинна будуватися заслінка для аварійних або технологічних перивів у подачі лазерної енергії в зону обробки при потужності променя до 1,5 кВт

Питання 3

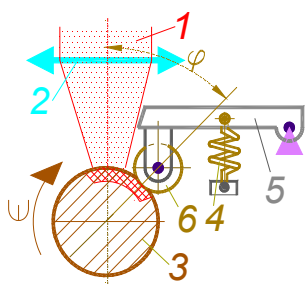


Рис. 3.1

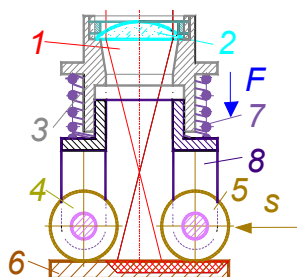


Рис. 3.2.

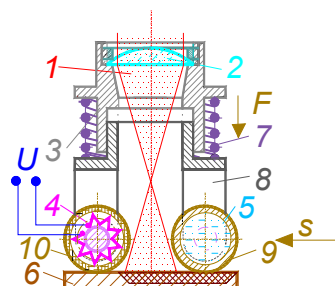


Рис.3.3

Питання 3: Яку схему опромінення та засіб необхідно використовувати для комбінованої обробки (ІПД та лазерний нагрів) заготовки з вимогою збереження вихідної якості поверхні та досягнення напружень стиску у припояхневому шарі?

Розробив

проф. Котляров В.П.

Білет №7 Питання 1

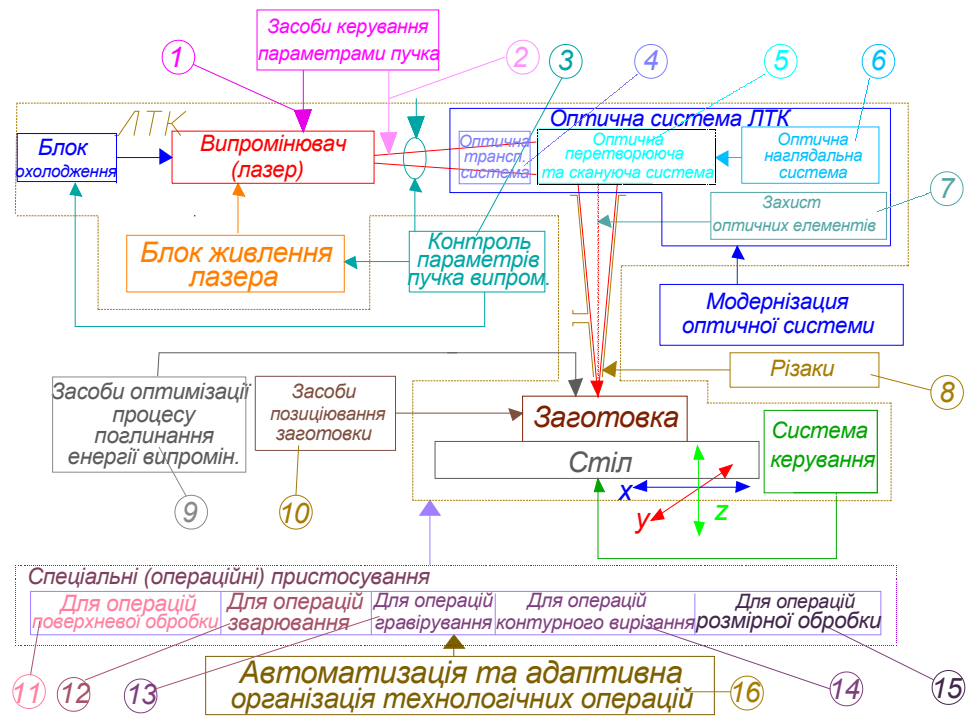


Рис.1.1.

Питання 1: Які засоби необхідно використовувати для керування ефективністю поглинання лазерної енергії поверхнею заготовки?

А. блок живлення лазера; **В** -засоби модернізації оптичної системи; **С** - блок охолодження лазера; **Д** - засоби оптимізації оптичних властивостей поверхні заготовки

Питання 2.

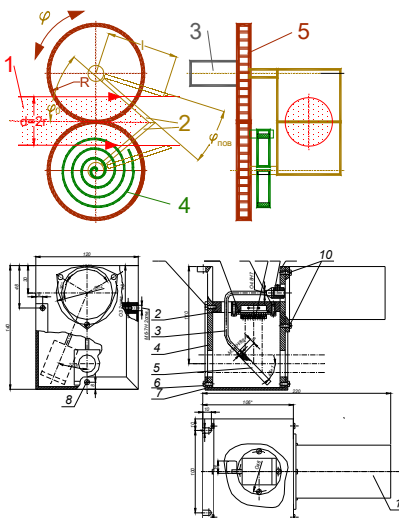


Рис. 2.1.

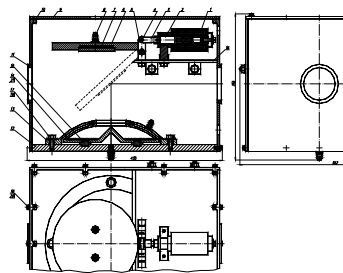


Рис. 2.2.

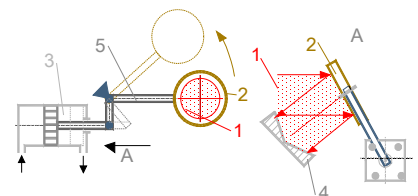


Рис.2.3.

Рис. 2.4.

Питання 2: За якою схемою повинна будуватися заслінка для аварійних або технологічних перивів у подачі лазерної енергії в зону обробки при потужності променя більше 3,0 кВт

Питання 3

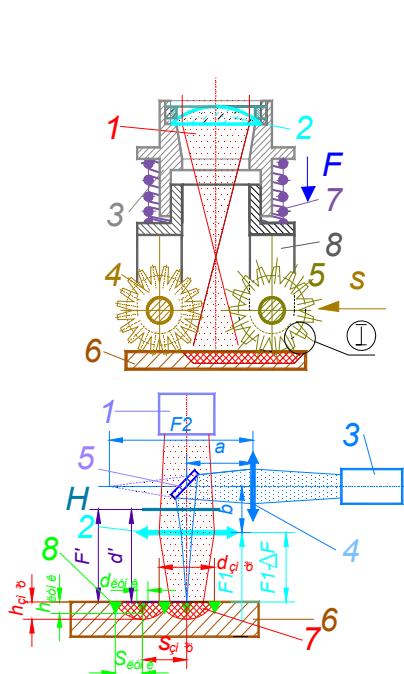
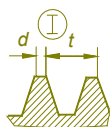


Рис. 3.1

Рис.3.3



$$\left(\frac{d_i t_c}{d_c t_i}\right)^2 = \frac{H_y^a}{H_\mu^o}$$

Рис. 3.4

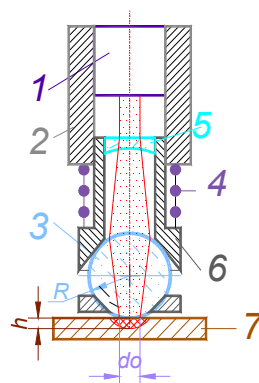


Рис. 3.2.

Питання 3: Яку схему опромінення та засіб необхідно використовувати для ефективної комбінованої обробки (зміцнення поверхні та формування не ній регулярного рельєфу) заготовки, що працює з тертям?

Розробив

проф. Котляров В.П.
ілет №8

Питання 1

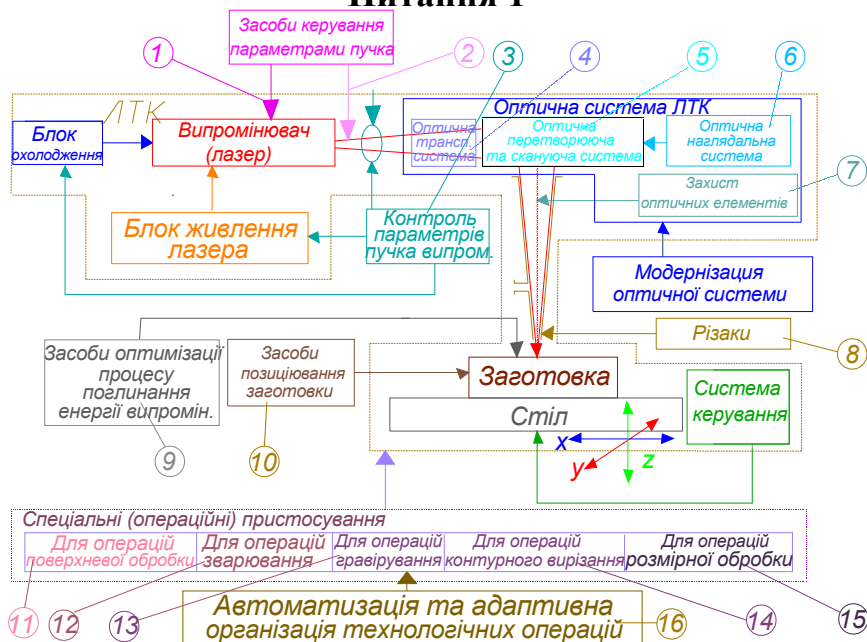


Рис.1.1.

Питання 1: Які засоби необхідно використовувати для підвищення точності відносного позиціонування променя та заготовки вздовж осі останнього?

A - засоби контролю параметрів променя; **B** - оптичну транспортувальну систему; **C** - блок живлення лазера; **D** - оптичну наглядову ситему

Питання 2.

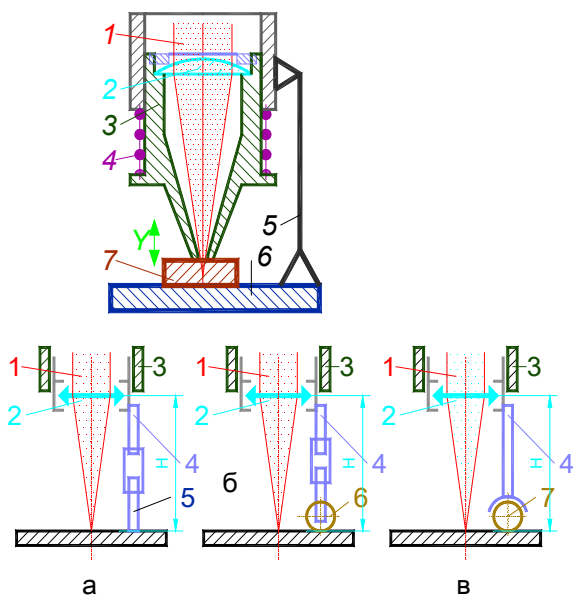


Рис. 2.1.

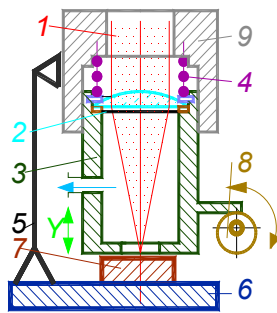


Рис. 2.2.

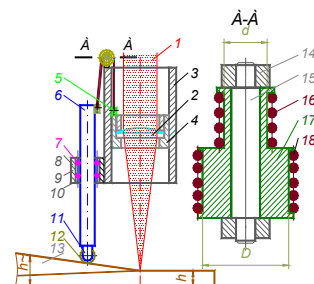


Рис.2.3.

Рис. 2.4.

Питання 2: Який перехід технологічної операції виконується за допомогою пристроїв за кожною із наведених схем?

Варіанти відповіді: **А** – фіксація зони опромінення від зміщення у поперечних напрямках; **Б** – опромінення при повздовжньому коливанні каустики променя; **С** – налагодження первинного та підтримання заданого відносного положення променя та поверхні заготовки; **Д** – налагодження первинного заданого відносного положення променя та поверхні заготовки

Питання 3

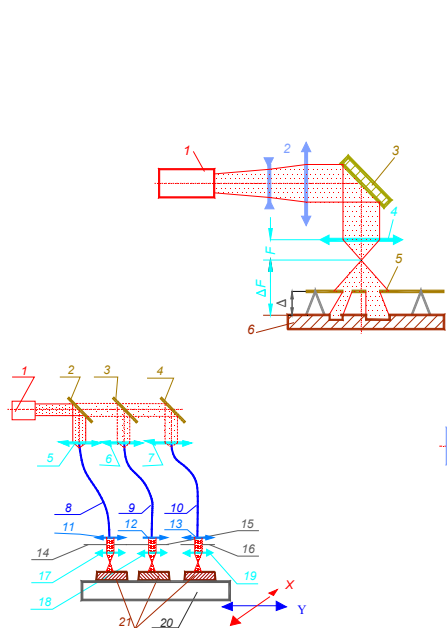


Рис. 3.1

Рис. 3.4

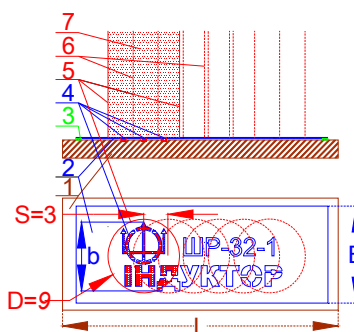


Рис. 3.2.

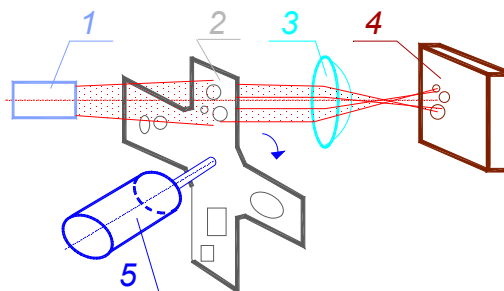


Рис.3.3

Питання 3: Яку схему опромінення та засіб необхідно використовувати для формування малюнку, розміром більшим ніж розмір пепереку променя?

Розробив

проф. Котляров В.П.

Білет №9
Питання 1

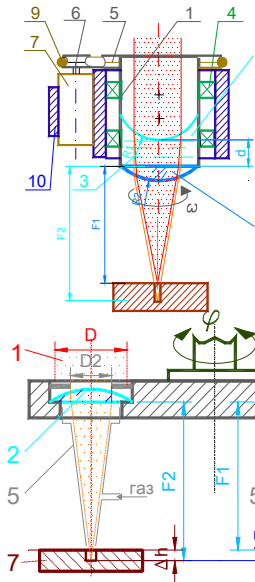


Рис.4.1.

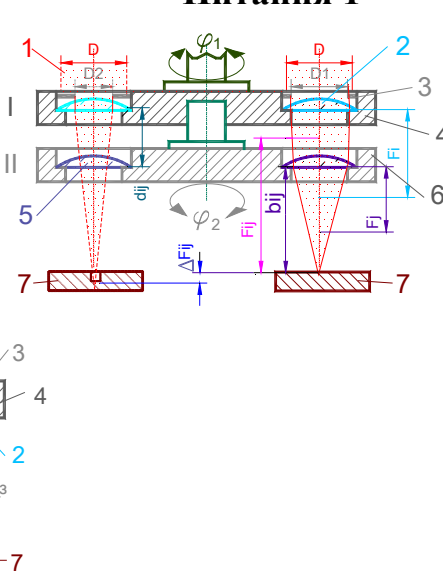


Рис.1.2

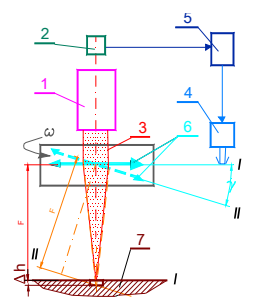


Рис.1.3

Рис.1.4

Питання 1: Яку схему трансфокатора найбільш придатна для використання в операціях обробки глибоких отворів ($h/d > 10$) циліндричної форми?

Питання 2

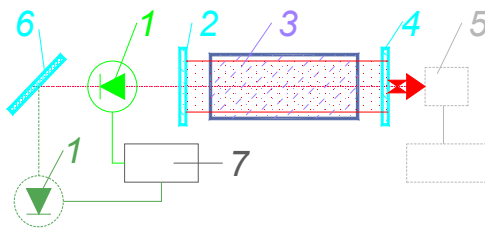


Рис. 2.1.

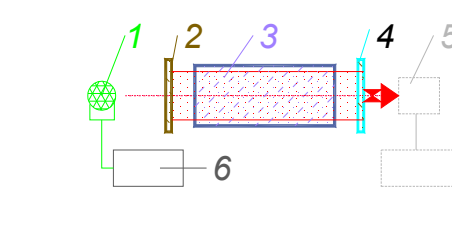


Рис. 2.2.

Рис.2.3.

Рис. 2.4

Питання 2: За якою схемою вимірювач потужності променя працює за прямим методом вимірювання, тобто є калориметричним?

Питання 3

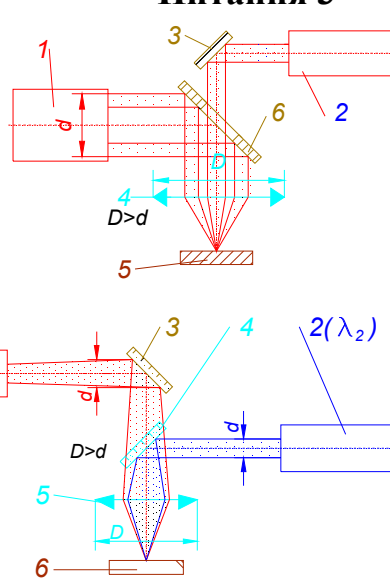
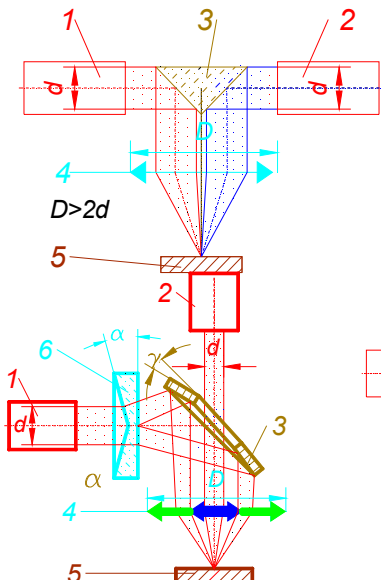


Рис. 3.1

Рис. 3.2.

Рис.3.3

Рис. 3.4

Питання 3: Яка схема оптичного суматора лазерних променів може застосовуватися для зведення потужностей випромінювання від лазерів УФ та ІЧ діапазонів?

Розробив
1

проф. Котляров В.П.

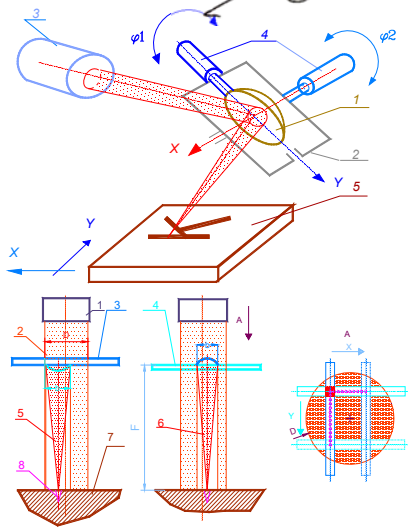


Рис 1.1.

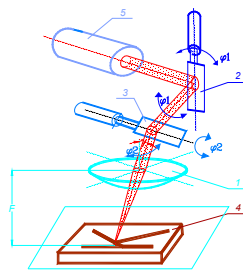


Рис.1.2

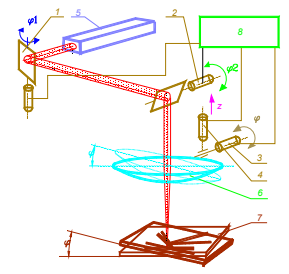


Рис.1.3

Рис.1.4

Питання 1: Яка з схем двох координатних граверів характеризується найпростішими вимогами до підготовки операції та не потребують складного програмування?

Питання 2

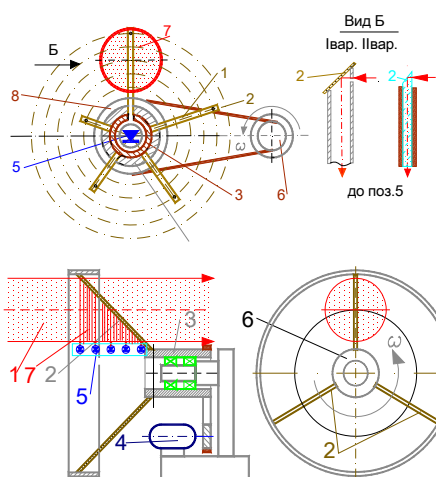


Рис. 2.1.

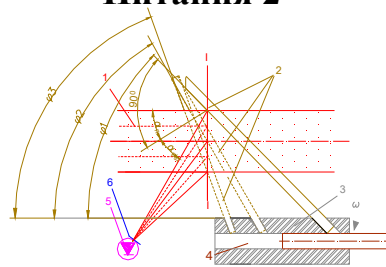


Рис. 2.2.

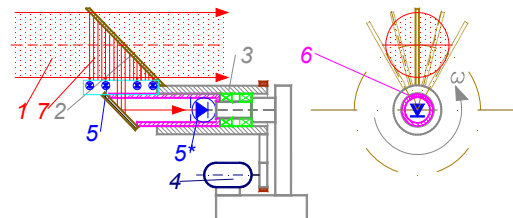


Рис.2.3.

Рис. 2.4

Питання 2: Яка з схем аналізаторів працює в двох координатному просторі та дозволяє створювати об'ємну картину розподілу потужності у перетині променя?

Питання 3

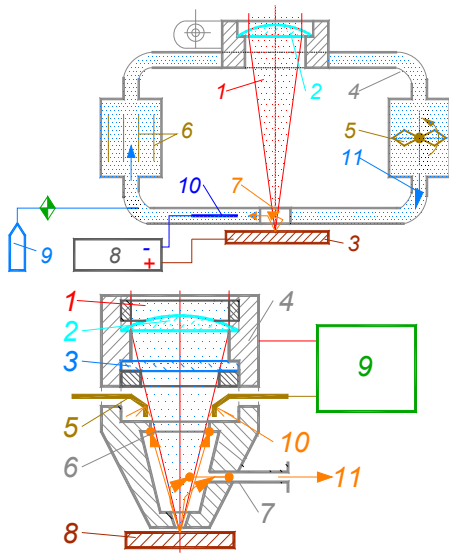


Рис. 3.1

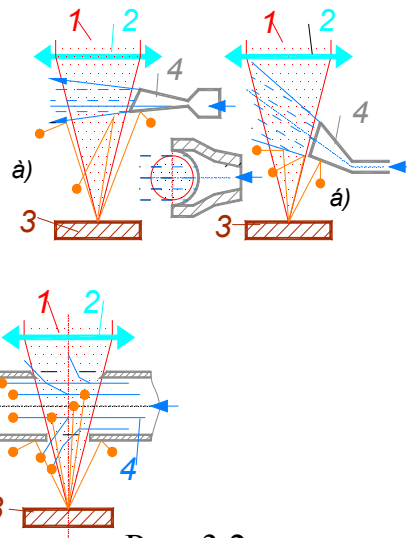


Рис. 3.2.

Рис.3.3

Рис. 3.4

Питання 3: За якою схемою пристрій для захисту оптичного елемента може надійно захищати від продуктів руйнування металевих та неметалевих матеріалів лазерним променем?

Розробив

проф. Котляров В.П.