



ЛАЗЕРНА РОЗМІРНА ОБРОБКА

Реквізити освітнього компоненту

Рівень вищої освіти	<i>Другий (магістерський)</i>
Галузь знань	<i>13 Механічна інженерія</i>
Спеціальність	<i>131 Прикладна механіка</i>
Освітня програма	Прикладна механіка
Статус компоненту	<i>вибірковий освітній компонент</i>
Форма навчання	<i>денна, змішана</i>
Рік підготовки	<i>I курс, 2 семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>5 кредитів 150 годин</i>
Семестровий контроль/	<i>екзамен</i>
Контрольні заходи	<i>модульна контрольна робота</i>
Розклад занять	<i>згідно www.rozklad.kpi.ua</i>
Мова викладання	<i>українська</i>
Інформація	<i>Лектор: д.т.н., професор Котляров Валерій Павлович</i>
про керівника курсу	<i>kotlyarovv@ukr.net, +380 99 385 6117</i>
викладачів	<i>Практичні: Козирев Олексій Сергійович +380 68 071 0051</i> <i>Лабораторні: Козирев Олексій Сергійович +380 68 071 0051</i>
Розміщення курсу:	<i>Електронний кампус:</i> <i>https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=</i>

Програма освітнього компоненту

1. Опис освітнього компоненту, його мета, предмет вивчення та результати навчання

Освітній компонент «Лазерна розмірна обробка» подовжує загальну технологічну підготовку фахівців з урахуванням специфіки реалізації технологічних операцій лазерної розмірної обробки (ЛРО), що пов'язано із особливостями обладнання, інструменту та їх результатів. Особливість технологічних операцій лазерної обробки полягає в тому, що фахівець не тільки має справу з не матеріальним, часто-густо не видимим інструментом у вигляді згустку потужної електромагнітної енергії, а вимушений його створювати лише під час виконання операції, що ускладнює її проєктування, але дає можливість корегувати характеристики інструменту, відновлюючи вихідні властивості або цілеспрямовано видозмінювати їх, пристосовуючись до поточного результату обробки. Не матеріальність інструменту дає можливість створювати операції, в яких застосовується новий комбінований або гібридний інструмент за можливостями недосяжний не тільки в механічній обробці різанням, а й для інших, наприклад, електрофізичних методів, які відносяться до класу нетрадиційних методів обробки. Лазерна технологія, як складова традиційних технологій так і фізико-технічних, є наукою, яка забезпечує практичне використання новітніх розробок процесів діяння згустків енергії на матеріали з досягненням в них замовлених критеріїв якості, продуктивності та надання виробам нових, не досягнених раніше властивостей. Для науковців елементи керування процесом діяння променя на заготовку, які використовуються в лазерній технології, є мистецьким важелем для коректного планового переведення об'єкту досліджень у відповідний стан, що є основою для створення багато рівневих умов його існування.

Цей освітній компонент відноситься до технологічної підготовки магістрів, але торкається шляхів реалізації розробленої операції, починаючи з оптимізації типу та класу технологічного обладнання, в першу чергу лазера за його фізичними та енергетичними можливостями. Крім того, суттєву цінність набуває технологічне оснащення операцій, що збільшує технологічну здатність інструменту в кількісних та якісних вимірах.

Метою викладання освітнього компоненту (ЛРО) є надання студентам можливість оволодіння алгоритмом технологічного насичення операції лазерної розмірної (або прецизійної) обробки, що включає до себе таку послідовність дій для стандартних виробничих ситуацій:

- аналіз відомих та створення розвинутих технологічних схем обробки (операційних ескізів) з метою їх модернізації на базі використання особливостей керування інструментом на будь-якій стадії обробки;
- автоматизація гнучкого режимного забезпечення обраної схеми обробки з урахуванням поточного стану її результатів та вимог технічного завдання (ТЗ), спираючись на можливості технологічного обладнання взагалі або до якого є доступ;
- останнє передбачає розширювати можливість доступного обладнання шляхом його модернізації та спеціалізації під конкретну операцію.

Таким чином, **предметом освітнього компоненту** ЛРО є створення технологічного забезпечення обраної операції формування заданих елементів виробу в його заготовці, згідно з технологічним регламентом її виконання за розробленою схемою обробки, обґрунтованого вибору технологічного обладнання та додаткового оснащення (в разі необхідності).

Ця **мета** може бути досягнута в разі засвоєння студентами наступних **програмних результатів навчання**, тобто компетентностей, відповідно до послідовності дій:

ЗК 1. Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково-прикладні проблеми

ЗК 2. Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

ЗК 3. Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

ФК 1. 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 2. 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 8. Здатність розробляти спеціальні способи та засоби лазерної розмірної та поверхневої обробки.

ФК 9. Здатність застосування нових сучасних методів розроблення технологічних процесів для виготовлення виробів та об'єктів з визначенням раціональних технологічних режимів роботи устаткування.

ФК 10. Здатність порівнювати між собою альтернативні варіанти конструкцій, виготовлених за допомогою зварювання та споріднених технологій, процесів лазерної розмірної та поверхневої обробки для виявлення найбільш технологічної варіанту з урахуванням наявного чи перспективного виробничого середовища, засобів технологічного спорядження, кадрового та іншого ресурсного забезпечення.

ФК 11. Здатність до обґрунтування та доведення власних науково-технічних рішень і конструктивно-технологічних розв'язків виробничих завдань та проблем.

ФК 12. Здатність визначати показники рівня технологічності конструкцій, застосовувати методи техніко-економічного аналізу параметрів технологічних процесів і надавати оцінку технологічності конструкції.

ФК 13. Здатність визначати зміст та проектувати ефективні технологічні процеси за результатами застосування сучасних методів розроблення і оптимізації технологічного підготовки виробництва з урахуванням його конкурентоздатності та екологічності.

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

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

ПРН 2. Розробляти і ставити на виробництво нові види продукції, зокрема виконувати дослідно-конструкторські роботи та/або розробляти технологічне забезпечення процесу їх виготовлення;

ПРН 3. Застосовувати системи автоматизації для виконання досліджень, проектно-конструкторських робіт, технологічної підготовки та інженерного аналізу в машинобудуванні;

ПРН 4. Використовувати сучасні методи оптимізації параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, зокрема за умов неповної та суперечливої інформації.

ПРН 11. Розробляти управлінські та/або технологічні рішення за невизначених умов та вимог, оцінювати і порівнювати альтернативи, аналізувати ризики, прогнозувати можливі наслідки.

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

ПРН 15. Використовувати комплексний підхід до технічного підготовки виробництва конструкцій, виготовлених за допомогою зварювання, лазерних та споріднених технологій шляхом інтеграції призначення і змісту конструкторського, технологічного, організаційно-економічного підготовки виробництва.

Добавлено примечание (Г1): обов'язковий абзац для всіх си́ллабусів бакалавра нової ОП

ПРН 16. Застосовувати знання основних положень і правил розроблення обґрунтувань для технологічної документації щодо конструкцій, виготовлених за допомогою зварювання, лазерних та споріднених технологій.

ПРН 17. Застосовувати сучасні методичні засади для визначення технологічності конструкцій та шляхів раціоналізації технологічних процесів зварювального виробництва і процесів розмірної та поверхневої лазерної обробки.

ПРН 18. Використовувати знання основ визначення техніко-економічної оцінки варіантів технологічних процесів виробництва для підвищення його ефективності.

Для успішного засвоєння матеріалу освітнього компоненту необхідні знання, які одержуються студентом у попередніх та паралельних курсах: «Інтелектуальна власність та патентознавство»; «Комп'ютерне моделювання в наукоємному машинобудуванні»; «Технологія лазерної розмірної обробки»; «Інноваційні технології в машинобудуванні»; «Проектування та експлуатація лазерного технологічного обладнання»; Системна інженерія та управління проектами в наукоємному машинобудуванні.

Знання, які одержано під час вивчення освітнього компоненту, забезпечують опанування наступних курсів 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»

2. Зміст освітнього компоненту

Вступ.

Розділ 1. Комплектування технологічних операцій лазерної розмірної обробки обладнанням та технологічним оснащенням.

Тема 1.1. Вибір типу, складу, компоновки лазерної технологічної установки (ЛТУ) на базі заздалегідь обраної схеми обробки та визначених параметрів інструменту (лазерного променя) і умов опромінення. Обґрунтування прийнятих рішень шляхом оцінювання технологічних та техніко-економічних показників, виявлених переваг та недоліків спроектованої операції ЛРО

Тема 1.2. Визначення оптимального характеру поглинання променевої енергії поверхню заготовки з урахуванням властивостей її матеріалу, стану поверхні, яка повинна бути опроміненою, для коректного обрання випромінювача ЛТУ та виду його генерації.

Тема 1.3. Склад ідеалізованої схеми ЛТУ, призначеної для розмірної обробки елементів заготовки обраним видом руйнування її матеріалу.

Тема 1.4. Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ

Тема 1.5. Приклади конструкцій та елементний склад ЛТУ

Розділ 2. Методи технологічного обслуговування та налаштування режиму роботи лазерної технологічної установки.

Тема 2.1. Юстирування резонатора лазера.

Тема 2.2. Центрування оптичної системи ЛТУ.

Тема 2.3. Методика налаштування технологічного режиму з параметричним впливом на характеристики лазерного променя

Тема 2.4. Засоби нелінійної оптики для керування інтенсивності променя в зоні опромінення

Тема 2.5. Комбіновані схеми опромінення з впливом на теплові характеристики оброблювального матеріалу заготовки

Розділ 3. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення ТО ЛРО нережимними методами

Тема 3.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин:

Тема 3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

Тема 3.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

Тема 3.4. Автоматизація та адаптивна організація ТО ЛРО

Розділ 4. Точність розмірних результатів ТО ЛРО

Тема 4.1. Структура та склад сумарної похибки ТО ЛРО

Тема 4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО Формування та перетворення каустики пучка випромінювання.

Тема 4.3. Аналіз складу сумарної похибки операції обробки порожнин лазерним променем.

Тема 4.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції

Тема 4.5. Аналіз можливості використання штучних нейронних мереж для прогнозування та керування точністю ЛРО

3. Навчальні матеріали та ресурси

Базова література

1. Котляров В.П. Технологія лазерної обробки (операції розмірної обробки), підручник / Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, - 2010. – 308 с. Доступ: НТБ НТУУ «КПІ», сайт кафедри <http://lft.kpi.ua/ua/>, Moodle <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4376/> CAMPUS:
2. Котляров В.П. Лазерна розмірна обробка. [Електронний ресурс]: електронний дидактичний демонстраційний матеріал супроводження дисципліни / В. П. Котляров ; НТУУ «КПІ». – Електронні текстові дані (1 файл: 7,50 Мбайт). – Київ : НТУУ «КПІ», 2015. – Назва з екрана. –Доступ: НТБ НТУУ «КПІ»: [library.ntu-kpi.kiev.ua](http://ela.kpi.ua/handle/123456789/119927) або : <http://ela.kpi.ua/handle/123456789/119927>; CAMPUS:
3. Котляров В.П., Киричок П.О. Лазерна технологія в поліграфії. / В.П. Котляров, П.О. Киричок // Київ: ВПК НТУУ «КПІ», - 2012.- 324 с. Доступ: НТБ НТУУ «КПІ» CAMPUS:
4. Котляров В.П. Інженерія оптимізації температурних джерел в лазерній прецизійній обробці / В.П. Котляров // Вісник НТУУ «КПІ» серія «Машинобудування» - 2023.- №2 – том 7, С. 243–256. Доступ: CAMPUS:
5. 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>

Додаткова література

1. Котляров В.П., Сінюченко В.В. Засоби надання гнучкості інструменту з лазерного променя. Наукові вісті НТУУ (КПІ).-2018.-№3. С. 70-83 Доступ: CAMPUS:
2. 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. Доступ: CAMPUS:
3. Котляров В.П., Особливості використання лазерної технології в умовах сучасного стану промисловості України . Наукові вісті НТУУ (КПІ).-2017.-№1. С. 94-105 Доступ: CAMPUS:
4. Котляров В.П., Застосування штучних нейронних мереж для прогнозування якісних показників операцій лазерної обробки / В.П. Котляров, В.Л. Дубнюк, Т.П. Ворончак // Вісник НТУУ «КПІ» серія «Машинобудування» - 2015.- №-3 (75) С. 104-114 Доступ: CAMPUS: http://4ua.co.ua/physics/xb2ac68a5c53b89521316d27_0.html
5. Чадюк В. О. Оптиелектроніка: 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) CAMPUS:

Інформаційні ресурси

1. <http://lft.kpi.ua> (сайт кафедри ЛТ та ФТТ)
2. login.kpi.ua (сайт КАМПУС'у)
3. library.ntu-kpi.kiev.ua (сайт науково – технічної бібліотеки НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського»)

5. Методичні матеріали також доступні в Moodle в ПДН «Сікорський» <<https://do.ipk.kpi.ua/>> або в акаунті Kotlyarov.Valery@LLL.kpi.ua

Навчальний контент

5. Методика опанування освітнього компоненту

Навчальний матеріал освітнього компоненту викладається на заняттях згідно зі наступною структурою (табл. 1).

Таблиця 1. Структура викладання освітнього компоненту

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	У тому числі			
		Лекції	Лаб. роб	Практ	СРС
Розділ 1. Комплектування технологічних операцій лазерної розмірної обробки (ЛРО) обладнанням та технологічним оснащенням					
<i>Тема 1.1. Вибір типу, складу, компоновки лазерної технологічної установки (ЛТУ) на базі заздалегідь обраної схеми обробки та визначених параметрів інструменту (лазерного променя) і умов опромінення</i>	7	2	-	1	4
<i>Тема 1.2. Визначення оптимального характеру поглинання променевої енергії поверхнею заготовки з урахуванням властивостей її матеріалу, стану поверхні, яка повинна бути опроміненою, для коректного оброблення випромінювача ЛТУ та виду його генерації</i>	3	2	-	1	
<i>Тема 1.3. Склад ідеалізованої схеми ЛТУ, призначеної для розмірної обробки елементів заготовки обраним видом руйнування її матеріалу</i>	3	2	-	1	-
<i>Тема 1.4. Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ</i>	6	2	-	1	3
<i>Тема 1.5. Приклади конструкцій та елементний склад ЛТУ</i>	3	1	-		2
Разом за розділом 1	22	9	-	4	9
Розділ 2. Методи налаштування лазерної технологічної установки					
<i>Тема 2.1. Юстирування резонатора лазера</i>	14	1	6	1	6
<i>Тема 2.2. Центрування оптичної системи ЛТУ</i>	10	1	4	1	4
<i>Тема 2.3. Методика налаштування технологічного режиму з параметричним впливом на характеристики лазерного променя</i>	16	1	8	1	4
<i>Тема 2.4. Засоби нелінійної оптики для керування інтенсивності променя в зоні опромінення</i>	2	1	-	-	1
<i>Тема 2.5. Комбіновані схеми опромінення з впливом на теплові характеристики оброблювального матеріалу заготовки</i>	2	1	-	-	1
Контрольна модульна робота 1	1	-	-	1	
Разом за розділом 2	43	5	18	4	16
Розділ 3. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення ТО ЛРО					
<i>Тема 3.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин</i>	4	2	-		2
<i>Тема 3.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин</i>	5	2	-	1	2
<i>Тема 3.3. Способи обробки надглибоких мікро отворів</i>	5	1	-	2	2

Тема 3.4. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів	4	1	-	1	2
Тема 3.5. Автоматизація та адаптивна організація ТО ЛРО	4	2		1	1
Разом за розділом 3	22	8	-	5	9
Розділ 4. Точність розмірних результатів ТО ЛРО					
Тема 4.1. Структура та склад сумарної похибки ТО ЛРО	4	2	-		2
Тема 4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО	8	6	-		2
Тема 4.3. Аналіз складу сумарної похибки операції обробки порожнин лазерним променем	4	2	-	1	1
Тема 4.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції	5	2	-	1	2
Тема 4.5. Аналіз можливості використання штучних нейронних мереж для прогнозування та керування точністю ЛРО	8	2		1	6
Контрольна модульна робота 2	1	-	-	1	
Разом за розділом 4	31	14	-	4	13
Екзамен	30	-	-	-	30
Всього годин	150	36	18	18	78

5.1. Лекційні заняття

Таблиця 2. Теми лекційних занять та відповідні питання для СРС з посиланнями на відповідну (додаткову) літературу

№ з/п	Назва теми лекції та перелік основних питань (перелік дидактичних засобів, посилання на літературу та завдання на СРС)
1	<p>Тема 1.1 Вибір типу, складу, компоновання лазерної технологічної установки (ЛТУ) на базі задалегідь обраної схеми обробки, визначених параметрів інструменту (лазерного променя) і умов опромінення</p> <p>Література базова: [1] стор. 152-157; [2] През. 2, сд. № 3-4.</p> <p>Завдання на СРС 1: Скласти перелік вузлів для ЛТУ різного призначення операцій ЛРО. Обґрунтувати вимоги до складових та визначити можливі шляхи модернізації ЛТУ для її пристосування до конкретних операцій</p> <p>Завдання на СРС 2: Визначити можливий склад гнучкого автоматизованого виробництва з максимальним використанням здатності до оперативного керування пучком лазерного випромінювання, виходячи із сучасного рівня лазерної техніки, технологічного оснащення та новітніх способів та схем обробки.</p> <p>Завдання на СРС 3: Проаналізувати приклади оптичної комплектації різних за призначенням ЛТУ. Дайте пропозиції до вдосконалення схем за комплектністю та за її реалізацією, використовуючи патентний пошук за 6 державами (США, Великобританія, Японія, Франція, Швейцарія, ФРН).</p> <p>Література додаткова – [1], [2]</p>
2	<p>Тема 1.2. Визначення оптимального характеру поглинання променевої енергії поверхнею заготовки з урахуванням властивостей її матеріалу, стану поверхні, яка повинна бути опроміненою, для коректного обрання випромінювача ЛТУ та виду його генерації</p> <p>Література базова: - [1] стор. 147-151; [2] През. 1, сл. № 15-28; [3] стор. 134 -146, [4]</p> <p>Завдання на СРС 1: Встановити технологічні критерії вибору лазерного технологічного устаткування. Як впливає характер поглинання променевої енергії на вибір типу випромінювача? Обґрунтувати вплив характеру поглинання променевої енергії на якісні показники ЛРО різних матеріалів.</p> <p>Завдання на СРС 2: Чим відрізняються лазери з активною речовиною на іоні неодиму (Nd^{+3}) на базі скляної та кристалічної матриці за режимом випромінювання? Знайдіть пояснення цьому явищу, аналізуючи ізоляційні властивості матриць із різних за структурою діелектриків. Подовжити порівняння лазерів волоконних та дискових.</p> <p>Література додаткова: [3]</p>

3	<p>Тема 1.3. <i>Склад ідеалізованої схеми ЛТУ, призначеної для розмірної обробки елементів заготовки обраним видом руйнування її матеріалу.</i></p> <p>Література базова: [1] стор. 152-157; 168-170; [2] През. 2, сл. № 3-24; [4]</p> <p>Завдання на СРС 3: Проаналізуйте <i>методи доопрацювання</i> конструкцій лазерів на кристалічних елементах з метою поліпшення їх технологічних здібностей.</p> <p>Завдання на СРС 4: Які методи використовують для <i>формування імпульсного режиму генерації</i>? Які види модуляторів застосовуються для цієї ж мети?</p> <p>Завдання на СРС 5: Розробити або вдосконалити <i>схеми механічних модуляторів добротності</i> резонатора лазера.</p> <p>Завдання на СРС 6: На якому принципі побудовані <i>модулятори для керування тонкою часовою структурою імпульсу</i> випромінювання? Створіть свої пропозиції конструкцій (схем) модуляторів добротності.</p> <p>Література базова – [4] Література додаткова – [1], [3]</p>
4	<p>Тема 1.4. <i>Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ</i></p> <p>Автоматизація та адаптивна організація технологічної операції. Послідовність переходів у технологічній операції з різними формами адаптивної організації.</p> <p>Література базова - [1] стор. 158-162; 80 82; [2] През. 3 сл. № 3-10.</p> <p>Завдання на СРС 1: Познайомитися з прикладами адаптивної організації операцій механічної обробки. Яким чином організовано активний контроль результату обробки? В якій формі задається критичний (допустимий) рівень показника? Який алгоритм використовується для порівняння дійсного та заданого рівня показника? Що є основою прийняття рішень про напрямки корекції технологічної операції? Які засоби впливу на режим обробки? Чи можлива адаптивізація операції за декількома критеріями одночасно?</p> <p>Завдання на СРС 2: Порівняти методи керування рівнем різних показників операцій ЛРО (розмірів, показників якості, продуктивності, тощо). Яка особливість лазерної обробки впливає на стратегію та тактику організації ЛРО? Порівняйте алгоритми адаптивної організації операції в залежності від вимог до її результатів. Навести приклади вимог до результатів ЛРО, що змінюють форму адаптивної організації.</p> <p>Завдання на СРС 3: Які переваги у випромінювачів різних типів? Проаналізуйте особливості обробки на налагоджених ЛТУ та за адаптивною схемою організації операції. Наведіть умови їх ефективного використання. Перерахуйте типи датчиків вимірювачів, які здатні вимірювати розмір обробки безпосередньо під час обробки? Наведіть схеми їх використання</p> <p>Завдання на СРС 4: Навести (виконати літературний огляд або створити) схеми або конструкції складових технологічного модуля ЛТУ. Які додаткові вузли бажано використати для підвищення експлуатаційних можливостей ЛТУ? Для нових за визначенням керівника СРС та з його допомогою скласти необхідні документи для звернення в ПВ для оформлення авторського права.</p> <p>Завдання на СРС 5: Визначити бажану компоновку та склад ЛТУ з урахуванням новітніх за пошуком із доступних джерел лазерних систем, оптичних елементів та інших засобів впливу на якість технологічної операції. Запропонувати свої пропозиції з мотивів підвищення експлуатаційних можливостей ЛТУ.</p> <p>Література додаткова: [3]</p>
5	<p>Тема 1.5. <i>Приклади конструкцій та елементний склад ЛТУ</i></p> <p>Елементна база ЛТУ з адаптивною організацією операції. Схеми пристроїв з пневматичними засобами вимірювання поточного розміру обробки та керуванням опромінювання заготовки.</p> <p>Література базова - [1] стор. 162-168; [2] През. 3, сл. № 11-44.</p> <p>Завдання на СРС: Перерахуйте типи датчиків вимірювачів, які здатні вимірювати розмір обробки безпосередньо під час обробки? Наведіть схеми їх використання.</p> <p>Організація технологічної операції лазерної обробки отворів з контролем дійсного його розміру за допомогою пневматичних датчиків тиску або розходу. Який технологічний фактор використовується як керуючі для рішення різноманітних технологічних завдань? Наведіть схеми обробки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - заготовки з одним отвором, яка має форму, доступну для герметизації внутрішньої порожнини; - заготовки простої форми з одним отвором ; - заготовки довільної форми з багатьма отворами. <p>Література додаткова: [1], [3]</p>

6	<p>Тема 2.1. Юстирування резонатора лазера Юстирування резонатора лазера. Додаткова апаратура, методика та порядок дій. Центрування оптичної системи. Література: базова - [2] През. 4, сл. № 3-6, [3] Завдання на СРС : Порівняти точність юстирування резонатора та центрування ОС за запропонованою методикою та з допомогою коліматора. <i>Література додаткова:</i> - патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, H01S, C21D</p>
6	<p>Тема 2.2. Центрування оптичної системи ЛТУ Методи впливу на параметри пучка лазерного випромінювання, які передбачено у сучасного технологічного обладнання. Особливості та недоліки. Оптичні системи ЛТУ для відносного позиціонування пучка випромінювання та заготовки. Література: базова - [1] стор. 170-176; [2] През. 4, сл. № 7-16; [3] Завдання на СРС: Три метода впливу на енергетичні параметри пучка випромінювання. Визначити - який з них має параметричний характер впливу на пучок? Аналогові засоби налагодження положення заготовки у каустиці пучка. Визначити недоліки та порівняти з характеристиками налагодження за подвійним зображенням. <i>Література додаткова:</i> - патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, H01S, C21D</p>
7	<p>Тема 2.3. Методика налаштування технологічного режиму з параметричним впливом на характеристики лазерного променя Методи параметричного впливу на характеристики лазерного променя. Керування розміром пучка випромінювання. Література: базова [1] стор. 176-181; [2], През. 4 сл. № 7-27; [3] Завдання на СРС 1: Три метода впливу на енергетичні параметри пучка випромінювання. Описати та визначити - який з них має параметричний характер впливу на пучок? Пояснити причини їх діяння. Завдання на СРС 2: Які відомі аналогові засоби налагодження положення заготовки у каустиці пучка. Визначити недоліки та порівняти з характеристиками налагодження за подвійним зображенням. Завдання на СРС 3: Навести конструкції формуючих ліній накачки лазерів. Які конструкції дозволяють параметрично змінювати тривалість лазерного імпульсу? Завдання на СРС 4 : Чим визначається кут розбіжності пучка лазерного випромінювання? Які резонаторні та поза резонаторні засоби впливу на нього мають параметричний характер зміни властивостей пучка? <i>Література додаткова:</i> [1] стор. 38-56.</p>
8	<p>Тема 2.4. Засоби нелінійної оптики для керування інтенсивності променя в зоні опромінення Пасивні затвори, як засіб підвищення інтенсивності променя. Часові та енергетичні наслідки впливу пасивних затворів на промінь. Література: базова [3] Завдання на СРС: визначити тип кристалів, здатних впливати на промінь та залежність початкової його прозорості на характеристики променя. <i>Література додаткова:</i> [5]</p>
8	<p>Тема 2.5. Комбіновані схеми опромінення з впливом на теплові характеристики оброблювального матеріалу заготовки/ Яким впливом на матеріал заготовки можна керувати явищами при його руйнуванні? Можливості керування результатом опромінення, комбінуючи схему теплового впливу на матеріал в зоні опромінення та за її межами. Завдання на СРС: Знайдіть можливість комбінованого режиму подання променистої енергії в оброблювальну зону матеріалу заготовки. Література базова: [3]/</p>
9	<p>Тема 3.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин: Аналіз структури ТОС для визначення напрямків вдосконалення технологічної операції ЛРО: - Засоби стабілізації поглинання випромінювання поверхнею заготовівки. - Підвищення ефективності операцій. Література: базова - [3], [4] Завдання на СРС 1: Три метода впливу на енергетичні параметри пучка випромінювання. Описати та визначити - який з них має параметричний характер впливу на пучок? Пояснити причини їх діяння. Завдання на СРС 2: Які відомі аналогові засоби налагодження положення заготовки у каустиці пучка. Визначити недоліки та порівняти з характеристиками налагодження за подвійним зображенням.</p>

	<p><u>Завдання на СРС 3:</u> Навести конструкції формуючих ліній накачки лазерів. Які конструкції дозволяють параметрично змінювати тривалість лазерного імпульсу?</p> <p><u>Завдання на СРС 4:</u> Чим визначається кут розбіжності пучка лазерного випромінювання? Які резонаторні та поза резонаторні засоби впливу на нього мають параметричний характер зміни властивостей пучка?</p> <p><u>Завдання на СРС 5:</u> Класифікація засобів та способів додаткового вдосконалення технологічної операції за метою, яка досягається.</p> <p><u>Завдання на СРС 6:</u> Наведіть відомі або розробіть оригінальні приклади схем або конструкцій засобів підвищення якості та продуктивності лазерної обробки отворів. Використати патентну інформацію з шести країн (США, ФРН, Великобританія, РФ, Франція, Швейцарія, Японія).</p> <p><i>Література додаткова:</i> патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, Н01S, С21D</p>
10	<p>Тема 3.2. Методи підвищення якості ТО ЛПРО порожнин Вдосконалення технологічних засобів та оснащення операцій: - Методи підвищення якості результатів лазерної розмірної обробки. - Режимне вдосконалення процесу розмірної обробки та різки.</p> <p>Література: базава - [1] стор. 203-220; [2] През. 6, с. № 4-20, [4]</p> <p><u>Завдання на СРС 1:</u> Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу механічного доопрацювання отвору після лазерної обробки з метою усунення одного з недоліків операції (за вибором студента).</p> <p><u>Завдання на СРС 2:</u> Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу створення умов для реалізації додаткового очищення порожнини отвору діями додаткових видів енергії з метою підвищення якості результатів технологічної операції (критерій якості - за вибором студента).</p> <p><u>Завдання на СРС 3:</u> Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу оперативного впливу на конфігурацію резонатора технологічного лазера з метою компенсації його часової деградації або планового змінення для варіативного керування режимом лазерної обробки протягом операції.</p> <p><u>Завдання на СРС 4:</u> Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу контурного вирізання порожнин з простим за формою поперечком (круглої, багатогранної форми, подовжнього пазу) у випадку недостатності енергетичних властивостей</p> <p><u>Завдання на СРС 5:</u> Розробити схему або конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу усунення тріщин біля обробленого лазерним променем елемента виробу із схильних до розтріскування матеріалів внаслідок своїх теплофізичних і механічних властивостей або складу та структури.</p> <p><u>Завдання на СРС 6:</u> Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу формування порожнини методом трепанації за умови відсутності програмно керуемого відносного переміщення інструмента та заготовки..</p> <p><u>Завдання на СРС 7:</u> Розробити конструкцію пристрою (модулятора добротності резонатора) для керування часовою структурою імпульсу випромінювання із оптимальною скважністю пічків, яка виключає вихолодження матеріалу в порожнині під час перерви в їх подачі нижче температури його отвердіння (кристалізації) або запропонувати інший спосіб обробки з цією (за вибором студента).</p> <p><u>Завдання на СРС 8:</u> Запропонувати схему технологічної операції, в якій використано додатковий вплив на розплавлений матеріал заготовки в оброблювальній порожнині (надлишковий тиск, вакуум, енергія полів, сили інерції, тощо) та пристрою для її реалізації (схематично або конструктивно) (за вибором студента).</p> <p><u>Завдання на СРС 9:</u> Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу поєднання впливу на теплопровідність матеріалу заготовки (шляхом її термічної обробки або місцевого наклепу) з переходами формування порожнини лазерним променем. Бажано виконання обох видів обробки в одній операції на єдиному технологічному обладнанні.</p> <p><u>Завдання на СРС 10:</u> Розробити конструкцію дзеркального пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу доопрацювання обробленої порожнини зворотнім діям лазерного променя, який залишився невикористаним після виходу із порожнини з тилу заготовки або при подачі додаткових імпульсів. Необхідно передбачити можливість оперативного змінення конфігурації дзеркальної поверхні для створення можливості керування повздовжнім профілем оброблювальної порожнини.</p> <p><u>Завдання на СРС 11:</u> Розробити конструкцію пристрою для реалізації електролазерного методу формування отвору з можливістю оперативного (автоматизованого) змінення діелектричної прокладки та додаткового електроду.</p>

	<p><i>Література додаткова:</i> [2] та патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, H01S, C21D</p>
10	<p>Тема 3.3. Способи обробки надглибоких мікро отворів. Що заважає формування отворів з аспектною глибиною більше ніж 10 (h/d)? Шляхи підтримання потрібного рівня інтенсивності променя на дні лунки, що обробляється. Рішення цих проблем</p> <ul style="list-style-type: none"> - переналадженням відносного положення фокусуємого елементу та заготовки; - «витагуванням» каустики променя застосуванням трансфокаторів (дискретного та плавного); - використанням надпотужних лазерних променів із інтенсивністю, більшої ніж потрібна для випаровування матеріалу заготовки на дільниці каустики, яка дорівнює або більше глибини лунки або товщини заготовки у зоні розташування отвору, що обробляється; - використання режиму газолазерної обробки. <p>Література базова: [5] стор. 173-201; [4]</p> <p>Завдання на СРС 1: Ознайомитися з принципами нелінійної оптики. Визначити умови створення багато фотонного поглинання в діелектриках.</p> <p>Завдання на СРС 2: Явище само концентрації високо інтенсивних променів в діелектриках: припущення механізму цього явища.</p> <p><i>Література додаткова:</i> [5]</p>
11	<p>Тема 3.4. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів Вдосконалення методів відносного позиціонування пучка випромінювання та заготовки: Метод подвійного зображення</p> <p>Література базова - [1] стор. 221-227; [2] През №6, сл. № 21-34, [4]</p> <p>Завдання на СРС 1: Визначити або створити методику зазначення режимів лазерного розкроювання крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням відомих рекомендацій.</p> <p>Завдання на СРС 2: Визначити або створити методику зазначення режимів лазерного скрайбування крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням рекомендацій або оригінальних.</p> <p>Завдання на СРС 3: Розробити пристрій для швидкого змінення умов опромінення для формування якісного тупикового різі (пазу).</p> <p>Завдання на СРС 4: Розробити схему або конструкцію оптичної силової системи для сканування каустики пучка випромінювання вздовж передньої крайки різі (по товщині заготовки) для підвищення прямолінійності стінок вирізаних виробів.</p> <p>Завдання на СРС 5: Розробити конструкцію оптичної системи для керування направленням лінійної поляризації променя в операціях контурного вирізання розмірних пазів.</p> <p>Завдання на СРС 6: Розробити пристрій для комбінованої електро лазерної обробки кільцевих пазів.</p> <p>Завдання на СРС 7: Розробити систему швидкісного чередування при подачі активного (кисень) та неактивного газів із заданою частотою співвісно з віссю лазерного променя.</p> <p>Завдання на СРС 8: Створити технологічне забезпечення операції формування розмірних пазів в заготовках із крихких матеріалів з виключенням їх розтріскування шляхом обмеження розтікання тепла із зони опромінення.</p> <p><i>Література додаткова:</i> [7] та патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, H01S, C21D</p>
12	<p>Тема 3.5. Автоматизація та адаптивна організація ЛРО Автоматизація операцій лазерної обробки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Налаштування положення лінзи та заготовки, - Автоматизація контрольних операцій. <p>Література базова [1] стор. 228-239; [2] През №7, сл. № 5-46.</p> <p>Завдання на СРС 1: Розробити методику проектування емкісного позиціонувача та конструкцію вузла оптичної системи з підтримкою заданих умов опромінення протягом виконання технологічної операції. Забезпечити можливість його використання для лазерного розрізання листів із діелектриків.</p> <p>Завдання на СРС 2: Розробити проект модернізації оптичної системи ЛТУ для її використання в операції газо лазерного вирізання виробів із листових матеріалів із створенням умов автоматизації переходу її налагодження відносно поверхні заготовки, використовуючи технологічний газ в якості джерела інформації про їх дійсне поточне розташування.</p> <p>Завдання на СРС 3: Розробити проект модернізації оптичної системи ЛТУ для ЛРО отворів в заготовках простої форми із реалізацією схеми автоматизації переходу її налагодження відносно поверхні заготовки та використання стислого повітря для калібрування каналу оброблювальних отворів (з вільним обранням базової ЛТУ)</p> <p>Завдання на СРС 4: Розробити проект модернізації оптичної системи СОК-1 для використання методу подвійного зображення при візуальному налагодженні положення</p>

заготівки в каустиці лазерного променя в разі прозорості резонатора робочого лазера для променя додаткового джерела.

Завдання на СРС 5: Розробити проект модернізації оптичної системи СОК-1 для використання методу подвійного зображення при візуальному налагодженні положення заготівки в каустиці лазерного променя в разі непрозорості резонатора робочого лазера для променя додаткового джерела.

Завдання на СРС 6: Розробити проект модернізації оптичної системи СОК-1 для використання методу подвійного зображення при автоматизованому налагодженні положення заготівки в каустиці лазерного променя в разі прозорості резонатора робочого лазера для променя додаткового джерела.

Завдання на СРС 7: Розробити проект модернізації оптичної системи СОК-1 для використання методу подвійного зображення при автоматизованому налагодженні положення заготівки в каустиці лазерного променя в разі непрозорості резонатора робочого лазера для променя додаткового джерела.

Завдання на СРС 8: Розробити конструкцію різачка для оптичної системи з непрозорим для видимого випромінювання оптичним елементом (лінза із Ge) та використанням візуального методу налагодження положення заготівки в видимому промені додаткового лазера з його відбиттям від поверхні оптичного елемента.

Завдання на СРС 9: Розробити конструкцію різачка для оптичної системи з непрозорим для видимого випромінювання оптичним елементом (дзеркала або дзеркального об'єктиву) та використанням візуального методу налагодження положення заготівки в видимому промені додаткового лазера з його відбиттям від поверхні оптичного елемента.

Завдання на СРС 10: Оцінити необхідну чуйність пневматичного датчика для його використання в системі контролю наскрізності оброблювального отвору, який зв'язує внутрішню порожнину заготівки з довкіллям.

Завдання на СРС 11: Зробити спробу використання якихось параметрів ерозійного факелу при ЛРО для контролю процесу діяння лазерного променя під час створення наскрізного отвору.

Завдання на СРС 12: Розробити конструкцію пристрою для використання схеми опромінення з доопрацюванням одним додатковим імпульсом отвору під час його лазерної обробки, якщо розмір отвору не досяг допустимих меж після заданої кількості імпульсів.

Завдання на СРС 13: Розробити конструкцію пристрою для використання схеми опромінення з доопрацюванням додатковими імпульсами отвору під час його лазерної обробки, якщо розмір отвору не досяг допустимих меж після заданої кількості імпульсів. Розрахувати пневматичні характеристики струменя повітря, що використовується для вакуумування камери під лінзою, для створення ежекторного ефекту та захисту поверхні лінзи.

Завдання на СРС 14: Розрахувати методику визначення пневматичної характеристики вакуумної системи для створення утримуючого ефекту для заготівки відомої маси та розмірів протягом доопрацювання оброблювального отвору до досягнення його розміру (площі попереку) заданих меж. Створити конструкції вимірювальної камери у вигляді насадки на корпус об'єктиву (лінзи) оптичної системи СОК-1.

Завдання на СРС 15: Розрахувати методику визначення пневматичної характеристики вакуумної системи для створення утримуючого ефекту для заготівки відомої маси та розмірів протягом доопрацювання оброблювального отвору до досягнення його розміру (площі попереку) заданих меж. Створити конструкції вимірювальної камери у вигляді насадки на корпус об'єктиву (лінзи) оптичної системи "Коростель".

Завдання на СРС 16: Визначити відносну точність контролю поточного розміру отвору, що обробляється лазерним променем, за допомогою фотометричних датчиків в разі його освітлення залишками енергії в робочому промені або випромінюванням від додаткового джерела, наприклад, лазера.

Завдання на СРС 17: Розробити конструкцію датчика відносного позиювання оптичного елемента ЛТУ та поверхні заготівки для початкового їх розташування з можливістю керування розмірним зміщенням за результатами виміру поточного розміру отвору під час обробки з адаптивною організацією ТО.

Завдання на СРС 18: Створити експрес методику визначення технологічного регламенту операції контурного вирізання порожнин в листових заготівках на базі системи контролю напрямку виходу робочого струменя технологічного газу із різку з тильної сторони заготівки двома пневматичними датчиками. Уточнити значення координат розташування пари пневматичних датчиків під заготівкою та її залежність від розмірних та теплофізичних параметрів заготівки та її матеріалу.

Література додаткова: [1, 3]; патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, Н01S, С21D

13	<p>Тема 4.1. Структура та склад сумарної похибки ТО ЛРО Поняття точності та похибки розмірів обробки. Сумарна похибка технологічної операції ЛРО. Її класифікація за учасниками ТОС та елементарними їх параметрами. Числові характеристики показника точності. Література: базова - [1] стор. 243-245; [2] През. №8, сл. № 3-8; <i>додаткова</i> [3] <u>Завдання на СРС 1:</u> Загально технологічне поняття точності обробки. Яку точність обслуговує технологія обробки. Перерахувати комплекс показників, за якими оцінюється загальна точність обробки. Навести приклади виробів з різними наборами показників точності. Порівняйте поняття точності та похибки обробки, за яким критерієм доцільніше досліджувати технологічний процес? Наведіть підстави використання аналітичних методів дослідження точності технологічної операції. Чому для прогнозування очікуваної точності не використовують математичні моделі процесу обробки? Принцип суперпозиції для побудови моделі точності технологічної операції. Перетворююча система як підстава для побудови постульованої моделі. Навести склад перетворюючої системи, яка повинна замінити Технологічну Систему, що Обробляє (ТОС). Які складові частини ТОС приймають участь у формуванні похибки обробки. Яким чином початкові нестабільності процесу відбиваються у коливанні вихідних його показників? Наведіть розмірність коефіцієнтів трансформації моделі точності процесу лазерної розмірної обробки. За яких умов допустима лінеаризація моделі точності та для чого це робиться? Числові характеристики показника точності за умови його нормального розподілу. На який підставі результати обробки вважаються випадковими нормально розподіленими величинами? Наведіть підстави використання аналітичних методів дослідження точності технологічної операції. Чому для прогнозування очікуваної точності не використовують математичні моделі процесу обробки? <i>Література додаткова</i> [4]</p>
14	<p>Тема 4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО Особливості показників точності елементів, які одержано лазерною обробкою. Обробка на “налагоджених” станках та з адаптивною організацією операції. Розрахунково-аналітичний метод прогнозного визначення рівня точності. Моделювання процесу обробки для визначення сумарної похибки обробки. Представлення ТОС у вигляді системи, що перетворює. Література: базова – [1] стор. 244-249, [2] През. №8, сл. № 9-37. <u>Завдання на СРС 1:</u> Наведіть класифікацію сумарної похибки обробки отвору пучком лазерного випромінювання. Коливання яких загальних параметрів процесу є базовим для її побудови? До якого рівня треба деталізувати елементарні похибки, щоб мати змогу спростити вигляд моделі точності обробки? <i>Література додаткова:</i> [4]</p>
14	<p>Тема 4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО 4.2.1. Джерела нестабільностей інструмента – пучка лазерного випромінювання. Література: базова – [1] стор. 249-258, [2] През. №8, сл. № 12-23 <u>Завдання на СРС 1:</u> Проаналізуйте структуру складових частин похибки, яку вносять коливання параметрів пучка випромінювання. Визначте джерела нестабільностей параметрів інструмента для найбільш пристосованого для розмірної обробки отворів лазера на твердому тілі. <u>Завдання на СРС 2:</u> Обґрунтуйте необхідність імпульсного режиму опромінювання для розмірної обробки з випаруванням матеріалу заготовки: докажите необхідність високого рівня густини потужності для цього механізму руйнування та переривів для евакуації продуктів ерозії з порожнини отвору, що обробляється. <u>Завдання на СРС 2:</u> Розрахуйте похибку імпульсної енергії випромінювання твердотільного лазера на гранаті, яку визиває коливання напруги накачки 20 В за її середнім значенням $U = 1850$ В та рівнем енергії $E = 2$ Дж (ємність формуючої лінії накачки $C = 300$ мкФ). Яку похибку також потрібно враховувати для кристалічних матриць активних середовищ. Розрахуйте її величину для випадку нагріву матриці гранату до середньої температури $T = 550$ С з її коливанням у інтервалі $\Delta T = 50$ С? <u>Завдання на СРС 3:</u> Проаналізуйте причини коливання загальної тривалості імпульсу випромінювання. Розрахуйте її чисельну характеристику для випромінювача на неодимовому склі, який працює з рівнем енергії $E = 2,5$ Дж (накачування до $U = 1675 \pm 10$ В на ємності 150 мкФ) та тривалості накачки $\tau = 1,0$ мс, що визначає тривалість імпульсу $\tau = 300$ мкс. <u>Завдання на СРС 4:</u> Як впливає на похибку розмірів отворів після лазерної обробки макроструктура імпульсу випромінювання? Які вимоги до переднього фронту імпульсу</p>

	<p>ставляться у зв'язку з необхідністю енергійного початку процесу обробки; наскільки ці вимоги виконуються у реальних макроструктурах імпульсів?</p> <p><u>Завдання на СРС 5:</u> За яким законом повинна змінюватись потужність випромінювання у серединній частині імпульсу за умови підтримання енергійного характеру руйнування матеріалу заготовки? Запропонуйте засоби або способи керування інтенсивністю випромінювання на цій частині імпульсу.</p> <p><u>Завдання на СРС 6:</u> Обґрунтуйте характер впливу подовженого спаду інтенсивності у кінцевій частині імпульсу на якість обробки. За якою розрахунковою схемою можна передбачити похибку з цієї причини? Визначте її величину для випадку опромінювання зразка із сталі 45 імпульсом випромінювання тривалістю 500 мкс із задньою частиною 100 мкс за умови концентрації енергії у зону діаметром 0,01 мм до інтенсивності $5 \cdot 10^7$ Вт/см² у передній частині, та $6 \cdot 10^5$ – у задній. Які засоби боротьби з цим джерелом похибки можете запропонувати?</p> <p><u>Завдання на СРС 7:</u> Поясніть причини нестабільності кута розходження пучка випромінювання. Розрахуйте її числову характеристику для випромінювача на гранаті Ø6 мм та довжиною $l = 100$ мм з полу конфокальним резонатором ($L = 500$ мм та $R_{100\%} = 1000$ мм), який збуджується накачкою потужністю $P_n = 2000 \pm 20$ Вт (поріг генерації $P_n = 500$ Вт).</p> <p><i>Література додаткова:</i> [4]</p>
15	<p>Тема 4.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО 4.2.2. Похибки технологічних прийомів. Література: базова – [1], стор. 258-266; [2], През. №3, с. № 24-36, [4]</p> <p><u>Завдання на СРС 1:</u> Систематизуйте технологічні прийоми, які виконуються перед та під час технологічної операції. Яку роль відіграють суб'єктивні властивості оператора під час настройки відносного положення заготовки та інструменту, режиму обробки та розташування заготовки у робочій зоні? Чим можна скоротити перелік помилок оператора? Новітні методи виконання деяких технологічних прийомів.</p> <p><u>Завдання на СРС 2:</u> Наведіть приклади розрахунків помилок позиціонування пучка випромінювання та заготовки. Які з них є систематичними та за яких умов вони можуть бути скорочені або усунуті? Проаналізуйте детально похибки візуального виконання цієї операції, доведіть, що вони є об'єктивними наслідками проявлення хвильової та корпускулярної теорії світла.</p> <p><u>Завдання на СРС 3:</u> Запропонуйте методи підвищення якості настройки за допомогою використання аналогових або автоматизованих схем. Які вимоги можна висунути до якості поверхонь заготовки щоб зменшити похибку настройки.</p> <p><u>Завдання на СРС 4:</u> Похибки які з'являються під час налагодження режиму випромінювання. Від чого залежить точність настройки і як впливають параметри використаних приладів на якість виконання переходу?</p> <p><u>Завдання на СРС 5:</u> Наведіть джерела систематичного дрейфу рівня настройки енергетичних та інших параметрів пучка випромінювання. За яких умов можна цю систематичну похибку не враховувати під час прогнозних розрахунків?</p> <p><u>Завдання на СРС 6:</u> Проаналізуйте можливі похибки у положенні заготовки під час її розташування у робочій зоні. До яких наслідків ведуть окрему види похибок? Чи можна визначити їх випадкові характеристики експериментальними методами? Пропонується вивести розрахункову залежність для урахування неточності положення заготовки у робочій позиції та зробити оціночний розрахунок очікуваної похибки відносного положення заготовки за багато кратним повторенням переходу</p> <p>4.2.3. Нестабільність заготовки. Література: базова – [1], стор. 266-269; [2], През. №3, с. № 37, 38, [4]</p> <p><u>Завдання на СРС 1:</u> Які властивості заготовки коливаються та впливають на відтворюваність розмірних результатів обробки? Чи можна врахувати їх вплив під час проектування технологічної операції? Через які механізми впливає неточність товщини заготовки на нестабільність отворів після лазерної обробки? Які об'єктивні висновки можна зробити о якості попередньої операції що до впливу її похибок на якість лазерної обробки?</p> <p><u>Завдання на СРС 2:</u> Чи значуще впливають коливання рівня поглинання променевої енергії поверхнею заготовки на результати прошивки отворів? Запропонуйте ефективні методи стабілізації оптичних властивостей поверхні.</p> <p><u>Завдання на СРС 3:</u> Які висновки можна зробити щодо впливу неоднорідності структури та складу матеріалу на його здатність до обробки та що рекомендувати для оптимальної організації операції?</p> <p><i>Література додаткова:</i> [4]</p>
16	<p>Тема 4.3. Аналіз складу сумарної похибки операції обробки порожнин лазерним променем. Коефіцієнти трансформації перетворюючої системи. Визначення їх величин та значень.</p>

	Література: базова – [1] стор. 269-272; [2] През. №8, сл. № 39-41; [4] Завдання на СРС 1: Яким чином знаходяться коефіцієнти трансформації перетворюючої системи, яка заміняє ТОС під час аналізу точності обробки? Доведіть, що аналітичні методи більш доцільні для цього. За якою метою величини коефіцієнтів можуть бути врахованими на етапі оптимізації технологічної операції? Література базова: [4]
17	Тема 4.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції Приклад розрахунку сумарної похибки технологічної операції. Кількісний аналіз та структура сумарної похибки. Визначення напрямків підвищення точності обробки. Література: базова [1] стор. 272-277; [2] През. №8, сл. № 42-48; [4] Завдання на СРС 1: Виконати детальний аналіз структури сумарної похибки розмірів лазерної обробки отворів. Які складові частини перевершують інші? Приведіть приклади - яким чином можна знизити вплив початкових нестабільностей на величину похибки. Які конструктивні рішення одержують за допомогою аналізу структури похибки? Розрахуйте складові частини сумарної похибки для такого варіанту обробки: - заготовка – сталь 18Х2Н4ВА, завтовшки $\delta = 2+0,15$ мм; - отвір – $\varnothing 0,25 \pm 0,01$ мм - режим обробки розраховуються за схемою №2 Steffen'a. - Література додаткова: [4]
18	Тема 4.5. ШНМ – аналіз можливості передвщення точності ЛРО ШНМ. Що заважає використанню останньої? Література додаткова [4]

5.2. Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять полягають у набутті вмінь визначати відповіді на питання, які стають в нагоді під час практичного використання ЛРО. Обговоренню підлягають найбільш критичні випадки, які виникають в різних технологічних задачах

№ зан	Назва теми заняття
1	<i>Тема 1.1.</i> Класифікація ЛТУ за призначенням, компоновці та технологічним можливостям. <i>Тема 1.2.</i> Врахування частотних властивостей лазерного випромінювання на ефективність використання ЛТУ.
2	<i>Тема 1.3.</i> Функціональний склад установки при можливості виконання технологічних вимог до його діяння на заготовку. <i>Тема 1.4.</i> Ідеалізовані за складом ЛТУ та їх порівняння з реальними її можливостями. Приклади оригінальних конструкцій ЛТУ та її складових.
3	<i>Тема 2.1.</i> Вимоги до технологічного стану складових ЛТУ: лазера, технологічного блоку, оптичних систем. Їх взаємна орієнтація (юстирування резонатор лазера) з використанням коліматорів або джерел направлено лазерного світла видимого діапазону. <i>Тема 2.2.</i> Центрування зовнішніх елементів відносно осі лазерного променя. Налаштування столу для розташування заготовки під час обробки.
4	<i>Тема 2.3.</i> Чинники ускладненого налагодження технологічного регламенту операції. залежність головних характеристик променя від рівня накачування активного середовища. Яким чином можна керувати кожною характеристикою променя, маючи лише один шлях впливу на роботу випромінювача. На чому базується методика параметричним керуванням лазерним променем?
5	<i>Тема 3.1.</i> Що визначає ефективність ТО ЛРО? Поетапне підвищення ефективності використання енергії випромінювання технологічними та організаційними шляхами. Вплив технологічної схеми операції на її енергоємність. <i>Тема 3.2.</i> Методи досягнення заданого рівня якості результатів ЛРО порожнин: форми попереку, повздовжньої форми та відтворюваності розмірних результатів отворів та лунок.
6	<i>Тема 3.3.</i> Способи обробки надглибоких мікро отворів

7	<i>Тема 3.4.</i> Методи досягнення заданого рівня якості результатів ЛРО порожнин: форми попереку, повздовжньої форми та відтворюваності розмірних результатів пазів та щілин. Початок операції та її закінчення з позицій якості пазів та різів.
7	<i>Тема 3.5.</i> Що спонукає широке впровадження методів та засобів автоматизації переходів технологічної операції за умови використання лазерного променя в якості формоутворюючого інструмент. Адаптивна форма організації технологічної операції. Які її види застосовуються при ЛРО та до яких результатів вони здатні.
8	<i>Тема 4.2.</i> Що таке перетворююча система у випадку процесу ЛРО? Яким чином можна досягти поняття відповідальності кожного учасника технологічної операції (або ТОС) за її якісними та кількісними показниками?
8	<i>Тема 4.3.</i> Аналіз складу сумарної похибки ЛРО. Яка користь та кому приносить знання структури похибки? Які практичні висновки можна зробити за результатами її аналізу?.
9	<i>Тема 4.4.</i> Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції. <i>Тема 4.5.</i> Використання штучних нейронних мереж для прогнозування та керування точністю ЛРО

5.3.Лабораторні заняття

Основні завдання циклу лабораторних занять.

Цикл лабораторних робіт має ціллю практичного закріплення головних тем освітнього компоненту, які вивчено теоретично. В зв'язку з тим, що головним завданням дисципліни є надання знань та вмінь реалізації експерименту або технологічної операції, то всі лабораторні роботи пов'язано з цією діяльністю фахівця: виконування доексплуатаційної діагностики та налагодження

№ з/п	Назва лабораторної роботи	Кількість аудит. годин
1	<i>Лабораторна робота № 1.</i> Юстирування резонаторів технологічних лазерів. Методика, обладнання, алгоритм Література: базова – [3], лаб. роб. №1	6 + 6 СРС
2	<i>Лабораторна робота № 2.</i> Вимірювання параметрів ручка випромінювання. Методика процедури, вимірювальна апаратура, методика статистичної обробки експериментальних даних, алгоритм Література: базова – [3], лаб. роб. №2	4 + 4 СРС
3	<i>Лабораторна робота № 3.</i> Опанування методиками параметричного керування характеристиками інструмента – пучка лазерного випромінювання Література: базова – [3], лаб. роб. №3	8 + 4 СРС

6. Самостійна робота

№ з/п	Назва теми, що виноситься на самостійне опрацювання	Кількість годин СРС
1	Розділ 1. Технологічні основи вибору лазерного технологічного обладнання. Завдання 1 на СРС: Визначати технологічні критерії вибору лазерного технологічного устаткування. Як впливає характер поглинання променистої енергії на вибір типу випромінювача? Чим відрізняються лазери з активною речовиною іон неодиму (Nd ³⁺) на базі скляної та кришталевої матриці за режимом випромінювання. Завдання 2 на СРС: Обґрунтуйте склад оптичної системи ЛТУ? Які захисні елементи використовують для захисту персоналу, обслуговуючого ЛТУ, від небезпечного діяння лазерного випромінювання та продуктів лазерної ерозії? Що входить до складу технологічного модуля ЛТУ? Його призначення. Які засоби впливу на режим роботи випромінювача ЛТУ дозволяють впливати на	11

	<p>розмірні та якісні показники технологічної операції ЛРО? Наведіть схему ідеалізованої ЛТУ для ЛРО. Які оригінальні пристрої необхідно використовувати для керування процесом обробки якісних порожнин?</p> <p>Завдання 3 на СРС: Які переваги у випромінювачів різних типів? Проаналізуйте особливості обробки на налагоджених станках та за адаптивною схемою організації операції. Наведіть умови їх ефективного використання.</p> <p>Перерахуйте типи датчиків вимірювачів, які здатні вимірювати розмір обробки безпосередньо під час обробки? Наведіть схеми їх використання</p> <p>Завдання 4 на СРС: Визначити принципи функціонування адаптивних форм організації технологічної операції. Послідовність переходів у технологічній операції з різними формами адаптивної організації. Елементна база ЛТУ з адаптивною організацією операції. Схеми пристроїв з пневматичними засобами вимірювання поточного розміру обробки та керування умовами опромінювання заготовки.</p> <p>Література <i>базова</i>: - [1], стор. 147-151, 157 - 162;</p>	
2	<p>Розділ 2. Методи налаштування лазерної технологічної установки</p> <p>Завдання 1 на СРС: Які три методи впливу на енергетичні параметри пучка випромінювання можна використати при налаштуванні технологічного режиму? Визначити - який з них має параметричний характер впливу на пучок? Що таке аналогові засоби налагодження положення заготовки у каустиці пучка?. Визначити недоліки та порівняти з характеристиками налагодження за подвійним зображенням.</p> <p>Завдання 2 на СРС: Які схеми формуючих ліній накачки лазерів дозволяють впливати на тривалість імпульсу випромінювання?</p> <p>Чим визначається розбіжності пучка лазерного випромінювання? Які резонаторні та поза резонаторні пристрої використовуються?</p> <p>Література: <i>базова</i> - [1], стор. 170-181</p>	14
3	<p>Розділ 3. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення ТО ЛРО</p> <p>Завдання 1 на СРС: Класифікація засобів та способів додаткового вдосконалення технологічної операції за метою, яка досягається.</p> <p>Завдання 2 на СРС: Наведіть відомі або розробіть оригінальні приклади схем або конструкцій засобів підвищення якості та продуктивності лазерної обробки отворів.</p> <p>Завдання 3 на СРС: Наведіть відомі або розробіть оригінальні приклади схем або конструкцій засобів автоматизації позиціонування заготовки у промені та контролю результатів обробки</p> <p>Завдання 4 на СРС: Ознайомитися з принципами нелінійної оптики. Визначити умови створення багато фотонного поглинання в діелектриках.</p> <p>Завдання на СРС 5: Явище само концентрації високо інтенсивних променів в діелектриках: припущення механізму цього явища.</p> <p>Література: <i>базова</i> - [1], стор. 185-239</p> <p>Література <i>додаткова</i>: [5]</p>	9
4	<p>Розділ 4. Точність розмірних результатів ТО ЛРО</p> <p>Завдання 1 на СРС: Визначте загально технологічне поняття точності обробки. Яку точність обслуговує технологія обробки. Перерахувати комплекс показників, за якими оцінюється загальна точність обробки. Навести приклади виробів з різними наборами показників точності. Порівняйте поняття точності та похибки обробки, за яким критерієм доцільніше досліджувати технологічний процес?</p> <p>Наведіть підстави використання аналітичних методів дослідження точності технологічної операції. Чому для прогнозування очікуваної точності не використовують математичні моделі процесу обробки?</p> <p>Принцип суперпозиції для побудови моделі точності технологічної операції. Перетворююча система як підстава для побудови постульованої моделі. Навести склад перетворюючої системи, яка повинна замінити Технологічну Систему, що Обробляє (ТОС).</p> <p>Які складові частини ТОС приймають участь у формуванні похибки обробки. Яким чином початкові нестабільності процесу відбиваються у коливанні вихідних його показників? Наведіть розмірність коефіцієнтів трансформації моделі точності процесу лазерної розмірної обробки. За яких умов допустима лінеаризація моделі точності та для чого це робиться? Числові характеристики показника точності за умови його нормального розподілу. На якій підставі результати обробки вважаються випадковими нормально розподіленими величинами?</p>	6

Завдання 2 на СРС: Навести класифікацію сумарної похибки обробки отвору пучком лазерного випромінювання. Коливання яких загальних параметрів процесу є базовим для її побудови? До якого рівня треба деталізувати елементарні похибки, щоб мати змогу спростити вигляд моделі точності обробки?

Завдання 3 на СРС : Проаналізувати структуру складових частин похибки, яку вносять коливання параметрів пучка випромінювання. Визначте джерела нестабільностей параметрів інструменту для найбільш пристосованого для розмірної обробки отворів лазера на твердому тілі.

Обґрунтувати необхідність імпульсного режиму опромінювання для розмірної обробки з випаруванням матеріалу заготовки: доведіть необхідність високого рівня густини потужності для цього механізму руйнування та переривів для евакуації продуктів ерозії з порожнини отвору, що обробляється. Розрахувати похибку імпульсної енергії випромінювання твердотільного лазера на гранаті, яку визиває коливання напруги накачки 20 В за її середнім значенням $U = 1850$ В та рівнем енергії $E = 2$ Дж (ємність формуючої лінії накачки $C = 300$ мкФ).

Яку похибку також потрібно враховувати для кристалічних матриць активних середовищ. Розрахуйте її величину для випадку нагріву матриці гранату до середньої температури $T = 55^{\circ}\text{C}$ з її коливанням у інтервалі $\Delta T = 5^{\circ}\text{C}$. Проаналізувати причини коливання загальної тривалості імпульсу випромінювання. Розрахуйте її чисельну характеристику для випромінювача на неодимовому склі, який працює з рівнем енергії $E = 2,5$ Дж (накачування до $U = 1675 \pm 10$ В на ємності 150 мкФ) та тривалості накачки $\tau = 1,0$ мс, що визначає тривалість імпульсу $\tau = 300$ мкс.

Як впливає на похибку розмірів отворів після лазерної обробки макроструктура імпульсу випромінювання? Які вимоги до переднього фронту імпульсу ставляться у зв'язку з необхідністю енергійного початку процесу обробки; наскільки ці вимоги виконуються у реальних макроструктурах імпульсів?

За яким законом повинна змінюватись потужність випромінювання у серединній частині імпульсу за умови підтримання енергійного характеру руйнування матеріалу заготовки? Запропонуйте засоби або способи керування інтенсивністю випромінювання на цій частині імпульсу.

Обґрунтувати характер впливу подовженого спаду інтенсивності у кінцевій частині імпульсу на якість обробки. За якою розрахунковою схемою можна передбачити похибку з цієї причини? Визначте її величину для випадку опромінювання зразка із сталі 45 імпульсом випромінювання тривалістю 500 мкс із задньою частиною 100 мкс за умови концентрації енергії у зону діаметром 0,01 мм до інтенсивності $5 \cdot 10^7$ Вт/см² у передній частині, та $6 \cdot 10^3$ – у задній. Які засоби боротьби з цим джерелом похибки можете запропонувати?

Пояснити причини нестабільності кута розходження пучка випромінювання. Розрахуйте її числову характеристику для випромінювача на гранаті $\varnothing 6$ мм та довжиною $l = 100$ мм з полу конфокальним резонатором ($L = 500$ мм та $R_{100\%} = 1000$ мм), який збуджується накачкою потужністю $P_n = 2000 \pm 20$ Вт (поріг генерації $P_n = 500$ Вт).

Завдання 4 на СРС: Систематизувати технологічні прийоми, які виконуються перед та під час технологічної операції. Яку роль відіграють суб'єктивні властивості оператора під час настройки відносного положення заготовки та інструменту, режиму обробки та розташування заготовки у робочій зоні? Чим можна скоротити перелік помилок оператора? Новітні методи виконання деяких технологічних прийомів.

Навести приклади розрахунків помилок позиціонування пучка випромінювання та заготовки. Які з них є систематичними та за яких умов вони можуть бути скороченими або усунутими? Проаналізувати детально похибки візуального виконання цієї операції, доведіть, що вони є об'єктивними наслідками проявлення хвильової та корпускулярної теорії світла.

Запропонувати методи підвищення якості настройки за допомогою використання аналогових або автоматизованих схем. Які вимоги можна висунути до якості поверхонь заготовки щоб зменшити похибку настройки. Похибки які з'являються під час налагодження режиму випромінювання. Від чого залежить точність настройки і як впливають параметри використаних приладів на якість виконання переходу?

Навести джерела систематичного дрейфу рівня настройки енергетичних та інших параметрів пучка випромінювання. За яких умов можна цю систематичну похибку не враховувати під час прогнозних розрахунків?

<p>Проаналізувати можливі похибки у положенні заготовки під час її розташування у робочій зоні. До яких наслідків ведуть окремі види похибок? Чи можна визначити їх випадкові характеристики експериментальними методами? Пропонується вивести розрахункову залежність для урахування неточності положення заготовки у робочій позиції та зробити оціночний розрахунок очікуваної похибки відносного положення заготовки за багато кратним повторенням переходу.</p> <p>Які властивості заготовки коливаються та впливають на відтворюваність розмірних результатів обробки? Чи можна врахувати їх вплив під час проектування технологічної операції? Через які механізми впливає неточність товщини заготовки на нестабільність отворів після лазерної обробки? Які об'єктивні висновки можна зробити о якості попередньої операції що до впливу її похибок на якість лазерної обробки?</p> <p>Чи значуще впливають коливання рівня поглинання променистої енергії поверхнею заготовки на результати прошивки отворів? Запропонувати ефективні методи стабілізації оптичних властивостей поверхні.</p> <p>Які висновки можна зробити щодо впливу неоднорідності структури та складу матеріалу на його здатність до обробки та що рекомендувати для оптимальної організації операції?</p> <p><u>Завдання 5 на СРС:</u> Яким чином знаходяться коефіцієнти трансформації перетворюючої системи, яка заміняє ТОС під час аналізу точності обробки? Доказати, що аналітичні методи більш доцільні для цього. За якою метою величини коефіцієнтів можуть бути врахованими на етапі оптимізації технологічної операції?</p> <p><u>Завдання 6 на СРС:</u> Проаналізувати структуру сумарної похибки розмірів лазерної обробки отворів. Які складові частини перевершують інші? Привести приклади - яким чином можна знизити вплив початкових нестабільностей на величину похибки. Які конструктивні рішення одержують за допомогою аналізу структури похибки? Розрахуйте складові частини сумарної похибки для такого варіанту обробки:</p> <ul style="list-style-type: none"> - заготовка – сталь 18Х2Н4ВА, завтовшки $\delta = 2+0,15$ мм; - отвір – $\varnothing 0,25 \pm 0,01$ мм <p>режими обробки розраховуються за схемою №2 Steffen'a.</p> <p><u>Завдання 7 на СРС:</u> Визначити шляхи впливу на сумарну похибку на основі аналізу її кількісної структури:</p> <ul style="list-style-type: none"> - вдосконалення технологічного обладнання; - використання методів параметричного впливу на пучок випромінювання; - вдосконалення методів налагодження технологічної схеми опромінювання; - підвищення вимог до якості заготовки (розмірних та до матеріалу); - використання засобів покращання теплових властивостей матеріалу заготовки; - використання адаптивних форм організації технологічної операції <p>Література: <i>базова</i>- [4]</p>

7. Політика викладання та засвоєння освітнього компоненту

Викладання освітнього компоненту базується на загально прийнятих нормах та за традиційними правилами, які спонукають студентів бути зацікавленими в отриманні знань з дисциплін, що визначають їх професійні компетенцію та придатність. Серед цих правил важливим **правилом відвідування** усіх видів занять, як умови тісного контакту з викладачами для безпосереднього засвоєння їх знань, перейняття досвіду творчого життя, культури та принципів гідного поведіння, вигляду та відношенням до собі рівних та послідовників (або противників). Не завжди кількість відвідувань занять пропорційні якості засвоєння матеріалів дисципліни, більш визначальним є **активність, цікавість, творчість** при виконанні завдань, рішенні тривіальних задач, що проявляється в пошуку та знаходженні оригінальних рішень системного виду та прикладного характеру. Тому у заслугу студенту повинна ставитися не тупа відсідка за партою на заняттях, а творча непосидливість, активна праця над заданими даними та при пошуку нетрадиційних відповідей та рішень. Велика кількість пропозицій, вимога частих та глибоких пояснень під час засвоєння матеріалу лекцій, на практичних заняттях та при виконанні лабораторних робіт на відповідному обладнанні більш цінні та корисні, ніж вивчені заздалегідь тривіальні основи загально відомих знань, цитування абзаців підручників, конспектів лекцій, тобто повинні оцінюватися викладачами більшою відзнакою.

Що стосується правил пристойної поведінки на заняттях, зокрема, підтримання зв'язку із зовнішнім середовищем, то не **заборона використання відповідних гаджетів** може привести до корисного результату, а зацікавлення студента такою якістю викладання матеріалу, що б йому не було цікаво відволікатися на інші справи. До того ж повинна привести культура використання засобів зв'язку їх наставниками, тобто викладачами, які зобов'язані особистим прикладом, не вимикаючи гаджети, пересікати любі можливості зовнішнього втручання у процес навчання будь ким. Такий підхід дозволяє широко залучати до творчого процесу навчання можливості, **бази даних інтернету**, засобів обчислювальної техніки та наглядних матеріалів та пристроїв.

Деякі види навчання, такі як **лабораторні роботи**, мають суттєву відмінність від інших видів занять тим, що потребують прискіпливого приготування до них за межами навчального закладу. Тому крім присутності та активної поведінки студентів в лабораторіях, повинна вимагатися готовність відповідного рівня до мети роботи, наявність у студента вихідних даних, бланків відповідності та витратних матеріалів. Порядок, умови захисту лабораторних робіт та відповідна його оцінка повинні враховувати особливості виду занять та знайти відбиття в рейтинговій системі оцінювання (PCO).

Подібний підхід повинне мати оцінювання якості виконання **індивідуальних робіт** (домашньої контрольної, розрахунково-графічної та курсової роботи або курсового проекту). По-перше, в змісті роботи необхідно визначити її відповідність завданню. По друге, рівень завершеності відповіді, в третіх, оригінальність обраної методики розробленого способу або схеми, складу та конструкції створеного засобу, при чому найвищий бал повинен надаватися об'єктам з оформленими заявками на документ інтелектуальної власності (патент). Дуже важливою складовою оцінюючого балу роботи повинна бути оцінка лексики, переконливості та якості захисту своєї розробки, в тому числі, відстоюючи обрану позицію.

Визначні за змістом, якістю рішень та оформленням відповідних текстових та графічних матеріалів роботи (індивідуальні та лабораторні), а також ті, що гірші за усіма показниками можуть оцінюватися додатковими **заохочувальними або штрафними** балами, що також повинно відбиватися в PCO.

Інші правила та етапи засвоєння освітнього компоненту, включаючи проведення перевірку на **плагіат**, дотримання **академічної доброчесності**, а також досягнення позитивного результату при різних видах контролю повинні відповідати нормативним документам **Університету** та не суперечити законодавству **України**

8. Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання

Поточний контроль.

За темою лекційних занять, проводяться **експрес опитування** за пройденими раніше темами, які спонукають до підготовки для кращого розуміння матеріалу, що викладається, та до **опитування за темою** лекції або дотичних питань.

Календарний контроль.

Для контролю поточного стану виконання вимог **силлабусу** двічі на семестр за графіком навчального процесу Університету або Інституту проводяться атестації студентів за модульними контрольними роботами, тема яких викладена в Додатку 1 до силлабусу, а система оцінювання наведена в PCO освітнього компоненту.

Семестровий контроль.

В якості контролю знань, опанованих студентами за семестр викладання освітнього компоненту, навчальним планом передбачено складання екзамену, умови допуску до якого та принцип оцінювання викладено в PCO освітнього компоненту.

Рейтингова система оцінювання результатів навчання студентів

Розподіл навчального часу за видами занять і завдань освітнього компоненту згідно з робочим навчальним планом кредитного модуля.

I. Семестр	Всього (кредит/годин)	Розподіл годин за видами занять						Кількість МКР	Вид інд. завд.	Семестрова атестація	
		Лекції	Практичні заняття	Семінари	Лабораторні роботи	Комп'ютерні й практикум	СРС				
							Всього				На виконання індивід. завдання
2	5/150	36	18	–	18	-	78	-	1	-	екзамен

1. Рейтинг студента з освітнього компоненту розраховується виходячи із 100-бальної шкали, з них **52 бали складає стартова шкала**. Стартовий рейтинг (протягом семестру) складається з балів, що студент отримує за:

- виконання лабораторних робіт (**3 роботи × 14**);
- модульна контрольна робота (**1 робота × 10** або **2 роботи × 5**)

2. Критерії нарахування балів:

2.1. Виконання кожної лабораторної роботи (до 14 балів):

• підготовка до лабораторної роботи

- планування виконано безпомилково (обрано оптимальну методику) і в строк – **4 бали**;
- підготовку виконано з деякими помилками (не більше 3) за умови виправлення помилок до наступного заняття – **3 бали**;
- підготовку виконано з помилками (більше 3), або її не виправлено до наступного заняття – **1 бал**;
- підготовча робота не виконана – **0 балів**.

• виконання експериментальних дій

- тарування вимірювальної техніки, побудова таріровочних залежностей; реалізація експериментальних дій; одержання експлуатаційних характеристик технологічного лазера - **6 балів**;
- помилки в отриманих результатах, їх виправлення до наступного заняття – **4 бали**;
- експерименти не виконано або їх результати статистично не опрацьовані ена – **0 балів**.

• оформлення звіту з лабораторної роботи та його захист

- звіт представлено в строк (на останньому занятті лабораторної роботи) без суттєвих помилок (орфографічні не враховуються) та захищений – **4 бали**;
- є певні змістовні неточності або недоліки у підготовці та захисту звіту – **2 бали**;
- робота не виконана або звіт не захищено – **0 балів**.

2.2. Модульна контрольна робота МКР (до 10 балів):

- повна, змістовна та аргументована відповідь – **10 балів** (одна МКР) або **2 × 5** (для двох МКР);
- відповідь з несуттєвими помилками (< 3) – **8 балів** (одна МКР) або **2 × 4** (дві МКР);
- неправильна відповідь – **0 балів**

3. Умовою **позитивної першої атестації** (на 8 тижні) є отримання не менше **11 балів** та виконання першої лабораторної роботи (на час атестації).

4. Умовою **позитивної другої атестації** (на 14 тижні) – отримання не менше **22 балів**, виконання другої роботи (на час атестації).

5. Умовою допуску до екзамену є зарахування всіх лабораторних робіт та стартовий рейтинг **гс** не менше **26 балів**.

6. **На екзамені** студенти виконують *письмову контрольну роботу* або дають *усну відповідь*. Кожне завдання містить два теоретичних запитання (завдання) і одне практичне. Кожне завдання складено з Переліку запитань до екзамену з кредитного модулю. Кожне запитання оцінюється у **16 балів** за такими критеріями:

- «**відмінно**», повна відповідь, не менше **90%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до рівня «умінь», (повне, безпомилкове розв’язування завдання) – **16-15 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) – **14-12 балів**;
- «**задовільно**», неповна відповідь, не менше **60%** потрібної інформації, що виконана згідно з вимогами до «стереотипного» рівня та деякі помилки (завдання виконане з певними недоліками) – **11-10 балів**;
- «**незадовільно**», відповідь не відповідає умовам до «задовільно» – **0 балів**.

7. Розрахунок шкали семестрового рейтингу:

$$r_C = (\sum r_K + \sum r_3 + \sum r_{III}) = 14 \times 3 + 10 + (\sum r_3 + \sum r_{III}) = 52 \text{ бали}$$

$$RD = r_C + r_E = (\sum r_K + \sum r_3 + \sum r_{III}) + r_E = 100 \text{ балів}$$

8. Студенти, що з поважних причин мають пропуски лекційних, лабораторних занять допускаються до здавання робіт лише за наявності медичної довідки.

9. Сума стартових балів та балів за екзаменаційну контрольну роботу переводиться до екзаменаційної 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 $r_C \leq 26$ балів Є не зараховані лабораторні роботи	Не допущено

Склав: професор Валерій Котляров



Оновлення ссиллабусу ухвалено на засіданні кафедри ЛТФТТ

Протокол № 14 від 12.06..2024 р.

Завідувач кафедри _____ Олексій Кагляк

Додаткова інформація з освітнього компоненту.

- *перелік питань, які виносяться до календарного контролю, наведено в Додатку 1 ссиллабусу*
- *на письмовий або усний екзамен **off-line** виносяться питання, які викладено у Додатку 2 до ссиллабусу*
- *екзамен в умовах **on-line** проводиться у тестовому режимі (тести викладено в Додатку 3 ссиллабусу ЛРО) за методикою оцінювання, яку наведено у п.6 розділу 8*

Робочу програму освітнього компоненту (силлабусу):

Складено: професор, д.т.н., професор Котляров Валерій Павлович

Ухвалено ссиллабусу: кафедрою ЛТ та ФТТ (протокол № 05 від 17.11..2023 р.)

Погоджено Методичною комісією НН_ІМЗ ім Є.О. Патона

(протокол № 05/23 від 11.12 .2023 р.)