

## Проектування технологічних процесів у виробництві.

### 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>Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій</i>
Статус дисципліни	<i>Нормативна</i>
Форма навчання	<i>Денна, змішана</i>
Рік підготовки, семестр	<i>I курс / осінній семестр</i>
Обсяг дисципліни	<i>150 год/ 5 кредитів ЄКТС</i>
Семестровий контроль/ контрольні заходи	<i>екзамен</i>
Розклад занять	<i>Згідно <a href="http://www.rozklad.kpi.ua">www.rozklad.kpi.ua</a></i>
Мова викладання	<i>Українська</i>
Інформація про керівника курсу / викладачів	<p>Лектор: д.т.н., професор, Головка Леонід Федорович <a href="mailto:leongolovko@gmail.com">leongolovko@gmail.com</a>+380 6795332 18</p> <p>д.т.н., професор, Котляров Валерій Павлович <a href="mailto:kotlyarovv@ukr.net">kotlyarovv@ukr.net</a>, +380 99 385 6117</p> <p>Практичні: к.т.н., доцент, Блощицин Михайло Сергійович <a href="mailto:m.bloshchytsyn@gmail.com">m.bloshchytsyn@gmail.com</a>+380 950840784</p> <p>старший викладач Козирєв Олексій Сергійович <a href="mailto:akozyrev@ukr.net">akozyrev@ukr.net</a> +380 68 071 005</p> <p>Лабораторні: к.т.н., доцент, Блощицин Михайло Сергійович <a href="mailto:m.bloshchytsyn@gmail.com">m.bloshchytsyn@gmail.com</a>+380 950840784</p> <p>старший викладач Козирєв Олексій Сергійович <a href="mailto:akozyrev@ukr.net">akozyrev@ukr.net</a> +380 68 071 0051</p>
Розміщення курсу	<i>Електронний кампус та GSuite в ПДН «Сікорський» <a href="https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&amp;show&amp;irid=238229">https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&amp;show&amp;irid=238229</a></i>

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

Перша частина освітнього компоненту «**Проектування технологічних процесів у виробництві**» подовжує загальну технологічну підготовку фахівців з урахуванням специфіки реалізації технологічних операцій лазерної поверхневої обробки та лазерної розмірної обробки, 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 проектування, 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, нетрадиційних методів, які відносяться до класу нетрадиційних методів обробки.

Навчальна дисципліна «**Проектування технологічних процесів у виробництві**» входить до циклу дисциплін професійної та практичної підготовки, тобто спеціальних, які забезпечують підготовку за напрямом «131 Прикладна механіка», спеціалізації «Лазерна техніка та процеси фізико-технічної обробки матеріалів». Він є важливою ланкою єдиної логічної системи фундаментальної, загально-інженерної і спеціальної підготовки фахівців в галузі обробки матеріалів для машинобудування. Подовжує загальну технологічну підготовку фахівців з урахуванням специфіки побудови технологічних операцій фізико-технічної обробки матеріалів, що пов'язано із особливостями інструменту та їх результатів.

**Мета курсу:** сформувати у студентів комплекс знань про фізичну сутність процесів лазерної поверхневої обробки та лазерної розмірної обробки їх можливості, методи проектування відповідних технологічних процесів й обладнання, оцінки їх економічної ефективності.

**Предмет курсу:** процеси лазерної поверхневої та розмірної обробки, як технологічні системи, основу яких становлять фізико-хімічні процеси, що відбуваються в поверхневому шарі матеріалу при дії лазерного випромінення. Встановлення зв'язків між параметрами лазерного випромінення, властивостями матеріалу, що обробляється, і умовами їх взаємодії, обумовлює можливість управління термічними процесами, як наслідок, результатами обробки (глибиною зміцненого шару, його мікроструктурою, твердістю, зносостійкістю, розмірами та формами порожнин та ін.).

### **Навіщо це потрібно студенту?**

Освітній компонент «Проектування технологічних процесів у виробництві. Процеси лазерної поверхневої обробки та Лазерна розмірна обробка» є одним із найважливіших, що формує необхідні знання і навички проектно-конструкторської діяльності майбутнього інженера-технолога в області лазерних технологій, що є базовим умінням для здійснення професійної діяльності.

Вивчення освітнього компонента передбачає формування та розвиток у студентів компетентностей, передбачених освітньою програмою «*Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій*», яка розроблена з урахуванням Стандарту вищої

освіти України: перший (бакалаврський) рівень, галузь знань 13 – Механічна інженерія, спеціальність 131 – Прикладна механіка. Затверджено і введено в дію наказом Міністерства освіти і науки України від 20.06.2019 р. № 865.

## **Загальні компетентності**

**ЗК1** Здатність виявляти, ставити та вирішувати інженерно-технічні та науково прикладні проблеми.

**ЗК2** Здатність використовувати інформаційні та комунікаційні технології.

**ЗК3** Здатність генерувати нові ідеї (креативність).

## **Фахові компетентності:**

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

**ФК2** Здатність описати, класифікувати та змоделювати широке коло технічних об'єктів та процесів, що ґрунтується на глибокому знанні та розумінні теорій та практик механічної інженерії, а також знаннях суміжних наук.

**ФК8** Здатність розробляти спеціальні способи та засоби лазерної розмірної та поверхневої обробки.

**ФК9** Здатність застосування нових сучасних методів розроблення технологічних процесів для виготовлення виробів та об'єктів з визначенням раціональних технологічних режимів роботи устаткування.

**ФК10** 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.

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

**ФК12** Здатність визначати показники рівня технологічності конструкцій, застосовувати методи техніко-економічного аналізу параметрів технологічних процесів і надавати оцінку технологічності конструкції.

**ФК13** 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.

**ФК20** Здатність створювати інноваційні рішення технічних проблем в галузі зварювання, лазерних та споріднених технологій.

**Результати навчання освітнього компонента** деталізують такі програмні результати навчання, передбачені освітньою програмою «*Інжиніринг зварювання, лазерних та споріднених технологій*»:

**ПРН1** Застосовувати спеціалізовані концептуальні знання новітніх методів та методик проектування, аналізу і дослідження конструкцій, машин та/або процесів в галузі машинобудування та суміжних галузях знань.

**ПРН2** Розробляти і ставити на виробництво нові види продукції, зокрема виконувати дослідно-конструкторські роботи та/або розробляти технологічне забезпечення процесу їх виготовлення.

**ПРН3** Застосовувати системи автоматизації для виконання досліджень, проектно-конструкторських робіт, технологічної підготовки та інженерного аналізу в машинобудуванні.

**ПРН4** Використовувати сучасні методи оптимізації параметрів технічних систем засобами системного аналізу, математичного та комп'ютерного моделювання, зокрема, за умов неповної та суперечливої інформації;

**ПРН11** Розробляти управлінські та/або технологічні рішення за невизначених умов та вимог, оцінювати і порівнювати альтернативи, аналізувати ризики, прогнозувати можливі наслідки.

**ПРН14** Використовувати спеціальні способи та засоби лазерної обробки для досягнення оптимальних результатів

**ПРН15** 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

**ПРН16** Застосовувати знання основних положень і правил розроблення обґрунтувань для технологічної документації щодо конструкцій, виготовлених за допомогою зварювання, лазерних та споріднених технологій.

**ПРН17** Застосовувати сучасні методичні засади для визначення технологічності конструкцій та шляхів раціоналізації технологічних процесів зварювального виробництва і процесів розмірної та поверхневої лазерної обробки.

**ПРН18** Використовувати знання основ визначення техніко-економічної оцінки варіантів технологічних процесів виробництва для підвищення його ефективності.

## **2. Пререквізити та постреквізити освітнього компоненту (місце в структурно-логічній схемі навчання за відповідною освітньою програмою)**

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 різномірним керуванням»**; **«Статистичні і ймовірнісні методи в наукових дослідженнях»**; **«Наукова робота за темою магістерської дисертації. Частина 1. Основи наукових досліджень»**;

### **3. Зміст освітнього компоненту**

#### **Вступ.**

Розділ 1. Модифікування поверхневих шарів матеріалів лазерним опроміненням.

*Тема 1.1. Особливості структурно-фазових перетворень у залізо - вуглецевих сплавах*

*Тема 1.2. Структурно-фазові перетворення в кольорових сплавах.*

*Тема 1.3. Лазерне гартування із рідинної фази, аморфізація.*

Розділ 2. Лазерне поверхнєве мікролегування, наплавлення та спікання.

*Тема 2.1. Лазерне поверхнєве мікролегування*

*Тема 2.2 Лазерне наплавлення та спікання*

Розділ 3. Вплив лазерної обробки на якісні та експлуатаційні характеристики поверхневих шарів матеріалів.

*Тема 3.1. Фізико-механічні властивості матеріалів після лазерного зміцнення*

Розділ 4. Технологічні процеси лазерної поверхневої обробки.

*Тема 4.1. Технологічні схеми лазерної поверхневої обробки*

*Тема 4.2. Технологічні процеси лазерної поверхневої обробки*

Розділ 5. Технологічне обладнання для лазерної поверхневої обробки.

*Тема 5.1. Принципи організації лазерних технологічних комплексів для лазерної поверхневої обробки. Організація виробничих дільниць лазерної поверхневої обробки*

Розділ 6. Технічне оснащення технологічних операцій (ТО) лазерної розмірної обробки

Тема 6.1. Вибір типу, складу, компонування лазерної технологічної установки (ЛТУ) Порівняння технологічних та техніко-економічних показників, виявлення переваг та недоліків лазерної розмірної обробки (ЛРО)

Тема 6.2. Урахування характеру поглинання променевої енергії поверхнею заготовки при обранні випромінювача ЛТУ

Тема 6.3. Склад ідеалізованої схеми ЛТУ

Тема 6.4. Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ

Розділ 7. Методи налаштування лазерної технологічної установки :

Тема 7.1. Юстирування резонатора лазера.

Тема 7.2. Центрування оптичної системи ЛТУ.

Тема 7.3. Методика налаштування технологічного режиму з параметричним впливом на характеристики лазерного променя

Розділ 8. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення ТО ЛРО

Тема 8.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин:

Тема 8.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин

Тема 8.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів

Тема 8.4. Автоматизація та адаптивна організація ТО ЛРО

Розділ 9. Точність розмірних результатів ТО ЛРО

Тема 9.1. Структура та склад сумарної похибки ТО ЛРО

Тема 9.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО Формування та перетворення каустики пучка випромінювання..

Тема 9.3. Аналіз складу сумарної похибки операції обробки порожнин лазерним променем.

Тема 9.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції

**Тема 9.5. Використання штучних нейронних мереж (ШНМ) для прогнозування, визначення та корегування розмірну точність ТО ЛРО.**

#### 4. Навчальні матеріали та ресурси

##### Базова

1. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / Л.Ф. Головка, С.О. Лук'яненко // Монографія, К.: Вістка, 2009. - 296 с.
2. Комп'ютерне моделювання в лазерних технологіях / Л.Ф. Головка, С.О.Лук'яненко, І.Ю. Михайлова, В.А. Третяк // Монографія, К.: ВПП «Текст». 2015. - 236 с.
3. Котляров В.П. Технологія лазерної обробки (операції розмірної обробки). Ніжин: НДУ ім. М. Гоголя, - 2010. – 308 с. Доступ: НТБ НТУУ «КПІ», сайт кафедри <http://lftt.kpi.ua/ua/>, Moodle <https://do.ipk.kpi.ua/course/view.php?id=4376/CAMPUS:https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=227811>
4. 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/123456789/119927CAMPUS:https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&sd=12944&cm=56466&rcms=214290&ssm=cm&tree_list=) або : [http://ela.kpi.ua/handle/123456789/119927CAMPUS:https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&sd=12944&cm=56466&rcms=214290&ssm=cm&tree\\_list=](http://ela.kpi.ua/handle/123456789/119927CAMPUS:https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&sd=12944&cm=56466&rcms=214290&ssm=cm&tree_list=)
5. 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
6. Котляров В.П. Інженерія оптимізації температурних джерел в лазерній прецизійній обробці / В.П. Котляров // Вісник НТУУ «КПІ» серія «Машинобудування» - 2023.- №2 – том 7; 2023, С. 243–256 Доступ: CAMPUS:
7. Медведев В.С. Нейронные сети. Matlab 6 / В.С.Медведев, В.Г. Потемкин. - Диалог-МИФИ. - 2002. - 496с.

##### Додаткова

1. Виготовлення біметалів з використанням ливарного процесу і лазерної обробки / Л.Ф. Головка, С.С. Салій, В.В. Романенко, М.С. Блощицин, О.Д. Кагльак, О.А. Савченко, - Київ: НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського», 2022.- 208с.
2. Головка Л.Ф., Блощицин М.С. електронна версія конспекту лекцій до дисципліни «Технологія лазерної поверхневої обробки»; гриф механіко-машинобудівного інституту; протокол Вченої Ради ММІ № 2; дата отримання грифу 25.09.2017.
3. Головка Л.Ф., Блощицин М.С. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт по курсу «Технологія лазерної поверхневої обробки»; гриф механіко-машинобудівного інституту; протокол Вченої Ради ММІ № 11; дата отримання грифу 26.06.2017.
4. Головка Л.Ф., Блощицин М.С. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт по курсу «Процеси лазерної поверхневої обробки»; гриф механіко-машинобудівного інституту; протокол Вченої Ради ММІ № 11; дата отримання грифу 26.06.2017.
5. Котляров В.П., Сінюченко В.В.Засоби надання гнучкості інструменту з лазерного променя. Наукові вісті НТУУ (КПІ).-2018.-№3. С. 70-83 Доступ:CAMPUS: <https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=224307>
6. 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.,

<https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=224309>

7. Особливості використання лазерної технології в умовах сучасного стану промисловості України. Наукові вісті НТУУ (КПІ).-2017.-№1. С. 94-105 Доступ: CAMPUS^

<https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=224309>

8. Котляров В.П., Дубнюк В.Л. Ворончак Т.П. Застосування штучних нейронних мереж для прогнозування якісних показників операцій лазерної обробки. - Вісник НТУУ «КПІ» серія «Машинобудування» - 2015.- №.-3 (75) С. 104-114 Доступ: CAMPUS: <https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=224329>

## Навчальний контент

### 5. Методика опанування навчальної дисципліни (освітнього компонента)

В межах вивчення кредитного модуля впродовж семестру заплановано проведення лекційних та практичних занять, а також навчальним планом передбачено виконання курсової роботи як окремого кредитного модуля.

Під час вивчення матеріалу застосовуються такі основні методи колективного та індивідуального активного навчання: проблемно-пошуковий, пояснювально-ілюстративний, репродуктивний, інтерактивний, практичний та дослідницький під час проведення лекційних та практичних занять, а також метод самостійної роботи.

Означені методи використовуються в контексті застосування таких навчальних технологій:

- 1) особистісно-орієнтовані технології, засновані на активних формах і методах навчання: колективні дискусії, інтерактивне спілкування тощо.
- 2) інформаційно-комунікаційні технології, що забезпечують проблемно-дослідницький характер процесу навчання та активізацію самостійної роботи студентів, доповнення традиційних навчальних занять засобами взаємодії на основі мережевих комунікаційних можливостей (онлайн-лекції, онлайн-лабораторні під час змішаного або дистанційного навчання).

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	Практ.	СРС
<b>Розділ 1. Модифікування поверхневих шарів матеріалів лазерним опроміненням</b>				
<i>Тема 1.1. Особливості структурно-фазових перетворень у залізо - вуглецевих сплавах</i>	8	2	2	4
<i>Тема 1.2. Структурно-фазові перетворення в у кольорових сплавах.</i>	8	2	2	4
<i>Тема 1.3. Лазерне гартування із рідинної фази, аморфізація.</i>	5	2	2	1
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>21</b>	<b>6</b>	<b>6</b>	<b>9</b>
<b>Розділ 2. Лазерне поверхнєве мікролегування, наплавлення та спікання</b>				
<i>Тема 2.1. Лазерне поверхнєве мікролегування</i>	7	2	2	3
<i>Тема 2.2 Лазерне наплавлення та спікання</i>	8	2	2	4
<i>Модульна контрольна робота №1</i>	0.5	-	-	0.5
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>15.5</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>7.5</b>
<b>Розділ 3. Вплив лазерної обробки на якісні та експлуатаційні характеристики поверхневих шарів матеріалів</b>				
<i>Тема 3.1. Фізико-механічні властивості матеріалів після лазерного зміцнення</i>	8	2	2	4

Модульна контрольна робота №2	0,5	-	-	0,5
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>8,5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>4,5</b>
<b>Розділ 4. Технологічні процеси лазерної поверхневої обробки</b>				
Тема 4.1. Технологічні схеми лазерної поверхневої обробки	5	2	2	1
Тема 4.2. Технологічні процеси лазерної поверхневої обробки	5	2	2	1
<b>Разом за розділом 4</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>4</b>	<b>2</b>
<b>Розділ 5. Технологічне обладнання для лазерної поверхневої обробки</b>				
Тема 5.1. Принципи організації лазерних технологічних комплексів для лазерної поверхневої обробки. Організація виробничих дільниць лазерної поверхневої обробки	5	2	2	1
<b>Разом за розділом 5</b>	<b>5</b>	<b>2</b>	<b>2</b>	<b>1</b>
<b>Розділ 6. Технічне оснащення технологічних операцій (ТО) лазерної розмірної обробки (ЛРО)</b>				
Тема 6.1. Вибір типу, складу, компонування лазерної технологічної установки (ЛТУ)	4	2	-	2
Тема 6.2. Урахування характеру поглинання променевої енергії поверхнею заготовки при обранні випромінювача ЛТУ	2	2	-	-
Тема 6.3. Склад ідеалізованої схеми ЛТУ	2	2	-	-
Тема 6.4. Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ	4	2	-	2
Тема 6.5. Приклади конструкцій та елементний склад ЛТУ	4	2	-	2
<b>Разом за розділом 6</b>	<b>16</b>	<b>10</b>	<b>-</b>	<b>6</b>
<b>Розділ 7. Методи налаштування лазерної технологічної установки</b>				
Тема 7.1. Юстирування резонатора лазера	4	1	-	3
Тема 7.2. Центрування оптичної системи ЛТУ	4	1	-	3
Тема 7.3. Методика налаштування технологічного режиму з параметричним впливом на характеристики лазерного променя	4	2	-	2
<b>Разом за розділом 7</b>	<b>12</b>	<b>4</b>	<b>-</b>	<b>8</b>
<b>Модульна контрольна робота 3</b>	<b>0.5</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>
<b>Розділ 8. Заходи та пристрої для додаткового вдосконалення ТО ЛРО</b>				
Тема 8.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин	4	2	-	2
Тема 8.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин	3	2	-	1
Тема 8.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів	3	2	-	1
Тема 8.4. Автоматизація та адаптивна організація ТО ЛРО	3	2	-	1
<b>Разом за розділом 8</b>	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>-</b>	<b>5</b>
<b>Розділ 9. Точність розмірних результатів ТО ЛРО</b>				
Тема 9.1. Структура та склад сумарної похибки ТО ЛРО	3	2	-	1
Тема 9.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО	9	8	-	1
Тема 9.3. Аналіз складу сумарної похибки операції обробки порожнин лазерним променем	3	2	-	1
Тема 9.4. Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції	2	1	-	1
Тема 9.5. Використання штучних нейронних мереж (ШНМ) для прогнозування, визначення та корегування розмірну точність ТО ЛРО.	1	1	-	-
<b>Разом за розділом 9</b>	<b>18</b>	<b>14</b>	<b>-</b>	<b>4</b>
<b>Модульна контрольна робота 4</b>	<b>0.5</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>0.5</b>
<i>Екзамен</i>	<b>30</b>	<b>-</b>	<b>-</b>	<b>30</b>
<b>Всього годин</b>	<b>150</b>	<b>54</b>	<b>18</b>	<b>78</b>



## 5.1. Лекційні заняття

Таблиця 2. Теми занять

Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
<p><b>Тема 1.1. Особливості структурно-фазових перетворень у залізо - вуглецевих сплавах. Структурно-фазові перетворення у залізо-вуглецевих сплавах при лазерному нагріванні – охолодженні. Кришталева побудова.</b></p> <p>Література: основна [1], стор. 147-157; 168-170; [2], стор. 3-35; додаткова – [4], стор. 70-77, 92-96.</p> <p><u>Завдання на СРС:</u> Виконати аналіз лазерної поверхневої обробки, як технологічної системи з визначенням всіх факторів і параметрів процесу, їх наслідково-причинних зв'язків</p> <p>Надати розгорнуту характеристику кожному фактору (параметрам лазерного променя, параметрам умов обробки, параметрам оброблюємої деталі та іншим), визначити керуючі фактори (параметри) системи при лазерній обробці залізо-вуглецевих сплавів</p> <p>Література: базова [3]</p>
<p><b>Тема 1.2. Структурно-фазові перетворення в у кольорових сплавах. Структурно-фазові перетворення в у кольорових сплавах на основі алюмінію, основі міді та титану</b></p> <p>Література: основна - [1], стор. 157-162; [2], стор. 76-82; додаткова [5], стор. 38-56.</p> <p><u>Завдання на СРС:</u> Надати розгорнуту характеристику кожному фактору (параметрам лазерного променя, параметрам умов обробки, параметрам оброблюємої деталі та іншим), визначити керуючі фактори (параметри) системи при лазерній обробці кольорових сплавів на основі алюмінію</p> <p>Література: додаткова [1]</p>
<p><b>Тема 1.3. Лазерне гартування із рідинної фази, аморфізація. Лазерне гартування із рідинної фази.</b></p> <p>Література: основна [1], стор. 162-168; [2], стор. 82.</p> <p><u>Завдання на СРС:</u> Вибрати технологічну схему лазерного поверхневого зміцнення, скласти її і обґрунтувати.</p> <p>Література: додаткова [2]</p>
<p><b>Тема 2.1. Лазерне поверхнєве мікро легування Лазерне поверхнєве мікро легування. Лазерне наплавлення та спікання.</b></p> <p>Література: (базова) основна - [1], стор. 170-181; додаткова [6], стор. 105-107, 137-139, 145-146, 166-168.</p> <p><u>Завдання на СРС:</u> Вибрати технологічну схему лазерного поверхневого мікро легування, скласти її і обґрунтувати. Література: базова [7]</p> <p>Вибрати технологічну схему лазерного наплавлення та спікання порошкового матеріалу, скласти її і обґрунтувати. Література: базова [3]</p>
<p><b>Тема 2.2 Лазерне наплавлення та спікання Фізико-механічні властивості матеріалів після лазерного зміцнення. Триботехнічні характеристики зміцнених вуглецевих, легованих та високолегованих сталей після лазерної обробки, основні фактори та параметри</b></p> <p>Література: основна [1], стор. 185-220; [2], стор. 72-79.83-85</p> <p><u>Завдання на СРС:</u> Визначити зміну параметрів поверхневого шару після реалізації лазерного термічного зміцнення Література додаткова [2]</p> <p>Визначити способи дослідження трібо технічних характеристик зміцнених вуглецевих, легованих та високолегованих сталей Література додаткова [4]</p>
<p><b>Тема 3.1. Фізико-механічні властивості матеріалів після лазерного зміцнення Фізико-механічні властивості наплавлених покриттів: зносостійкість, залишкові напружки, міцність зчеплення покриттів з основою.</b></p> <p>Література: основна [1], стор 220-227; [2], стор. 74-79.</p> <p><u>Завдання на СРС:</u> Визначити способи дослідження властивостей наплавлених шарів, навести їх особливості</p> <p>Література додаткова [3]</p>
<p><b>Тема 4.1. Технологічні схеми лазерної поверхневої обробки Лазерне термічне зміцнення, термоциклювання, відпуск, відпалювання. Методика вибору режимів лазерної обробки та побудова технологічних процесів: лазерного наплавлення, спікання та нанесення покриттів</b></p> <p>Література: основна - [1], стор. 243-249; [2], стор. 53-56; додаткова [6], стор. 116-124.</p> <p><u>Завдання СРС:</u> Визначити особливості лазерного термічного зміцнення, термоциклювання, відпуску, відпалювання. Які особливості побудови технологічних процесів лазерного наплавлення, спікання, та нанесення покриттів? Які особливості реалізації процесу обробки?</p>

Література додаткова [3]
<p><b>Тема 4.2. Технологічні процеси лазерної поверхневої обробки</b>  <b>Процеси лазерного зміцнення, легування та відновлення деталей різного призначення. Застосування лазерного випромінювання для пошарового вирощування трьохвимірних виробів, спікання композиційних матеріалів.</b>  Література: основна – [1], стор. 250-258.258-267.  Завдання на СРС:  Ранжувати ряд факторів процесу лазерного зміцнення та наплавлення/відновлення деталей різного призначення по їх впливу на показник відтворюваності розмірів та геометрії деталей. Які особливості?  Ранжувати ряд факторів процесу лазерного 3D наплавлення по їх впливу на показник відтворюваності розмірів та геометрії деталей. Які особливості спікання композиційних матеріалів лазерним випромінюванням, які виникають при цьому напруження, як з ними боротися.  Література додаткова [2], [4]</p>
<p><b>Тема 5.1. Принципи організації лазерних технологічних комплексів для лазерної поверхневої обробки. Організація виробничих дільниць лазерної поверхневої обробки</b>  Література: основна – [1], стор. 258-267.  Завдання на СРС:  Скласти структурну схему та розробити компоновку лазерного технологічного комплексу. Вибрати необхідні елементи технологічного комплексу, розробити фокусуючу систему та дозатор для лазерного наплавлення.  Література додаткова [2]</p>
<p><b>Тема 6.1 Вибір типу, складу, компонування лазерної технологічної установки (ЛТУ)</b>  Структурна схема ЛТУ, призначення та склад випромінювача та супутніх вузлів, технологічного блоку та технологічного модулю. Розширення можливостей ЛТУ універсального призначення.  Література базова: [1] стор. 152-157; [2] През. 2, сд. № 3-4;.  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  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.  Завдання на СРС 3: Проаналізувати приклади оптичної комплектації різних за призначенням ЛТУ. Дайте пропозиції до вдосконаленням схем за комплектністю та за її реалізацією, використовуючи патентний пошук за сьома державами (США, Великобританія, Японія, РФ, Франція, Швейцарія, ФРН).  Література додаткова – [1], [2]</p>
<p><b>Тема 6.2. Урахування характеру поглинання променевої енергії поверхню заготовки при обранні випромінювача ЛТУ</b>  Література базова: - [1] стор. 147-151; [2] През. 1, сл. № 15-28; [3] стор. 134 -146.  Завдання на СРС 1: Встановити технологічні критерії вибору лазерного технологічного устаткування. Як впливає характер поглинання променистої енергії на вибір типу випромінювача? Обґрунтувати вплив характеру поглинання променистої енергії на якісні показники ЛРО різних матеріалів.  Завдання на СРС 2: Чим відрізняються лазери з активною речовиною на іоні неодиму (<math>Nd^{+3}</math>) на базі скляної та кристалєвої матриці за режимом випромінювання? Знайдіть пояснення цьому явищу, аналізуючи ізоляційні властивості матриць із різних за структурою діелектриків. Подовжити порівняння лазерів волоконних та дискових.  Література додаткова: [3]</p>
<p><b>Тема 6.3. Склад ідеалізованої схеми ЛТУ</b>  Література базова: [1] стор. 152-157; 168-170; [2] През. 2, сл. № 3-24;  Завдання на СРС 3: Проаналізуйте методи доопрацювання конструкцій лазерів на кристалічних елементах з метою поліпшення їх технологічних здібностей.  Завдання на СРС 4: Які методи використовують для формування імпульсного режиму генерації? Які види модуляторів застосовуються для цієї ж мети?  Завдання на СРС 5: Розробити або вдосконалити схеми механічних модуляторів добротності резонатора лазера.  Завдання на СРС 6: На якому принципі побудовані модулятори для керування тонкою часовою структурою імпульсу випромінювання? Створіть свої пропозиції конструкцій (схем) модуляторів добротності.  Література додаткова – [1], [3]</p>
<p><b>Тема 6.4. Сучасні засади утворення складу та компоновки ЛТУ</b>  Адаптивна організація технологічної операції. Послідовність переходів у технологічній операції з різними формами адаптивної організації.  Література базова - [1] стор. 158-162; 80 82; [2] През. 2 сл. № 3-10.  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</p>

корекції технологічної операції? Які засоби впливу на режим обробки? Чи можлива адаптивізація операції за декількома критеріями одночасно?

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.

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

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 ІІВ для оформлення авторського права.

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.

*Література додаткова:* [3]

#### **Тема 6.5. Приклади конструкцій та елементний склад ЛТУ**

Елементна база ЛТУ з адаптивною організацією операції. Схеми пристроїв з пневматичними засобами вимірювання поточного розміру обробки та керування умовами опромінювання заготовки.

*Література: базова* - [1] стор. 162-168; [2] През. 3, сл. № 11-44.

Завдання на СРС: Перерахуйте типи датчиків вимірювачів, які здатні вимірювати розмір обробки безпосередньо під час обробки? Наведіть схеми їх використання.

Організація технологічної операції лазерної обробки отворів з контролем дійсного його розміру за допомогою пневматичних датчиків тиску або розходу. Який технологічні фактори використовується як керуючі для рішення різноманітних технологічних завдань? Наведіть схеми обробки:

- заготовки з одним отвором, яка має форму, доступну для герметизації внутрішньої порожнини;
- заготовки простої форми з одним отвором ;
- заготовки довільної форми з багатьма отворами.

*Література додаткова:* [1], [3]

#### **Тема 7.1. Юстирування резонатора лазера**

Юстирування резонатора лазера. Додаткова апаратура, методика та порядок дій. Центрування оптичної системи.

*Література: базова* - [2] През. 4, сл. № 3-6;

Завдання на СРС : Порівняти точність юстирування резонатора та центрування ОС за запропонованою методикою та з допомогою коліматора.

*Література додаткова:*

#### **Тема 7.2. 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;

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.

*Література додаткова:*

#### **Тема 7.3. 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

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?

*Література додаткова:* [1] стор. 38-56.

#### **Тема 8.1. Підвищення ефективності ТО ЛРО порожнин:**

Аналіз структури ТОС для визначення напрямків вдосконалення технологічної операції ЛРО:

- Засоби стабілізації поглинання випромінювання поверхнею заготовки.
- Підвищення ефективності операцій.

*Література: базова* - [3] стор...

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?

Завдання на СРС 5: Класифікація засобів та способів додаткового вдосконалення технологічної операції за метою, яка досягається.

Завдання на СРС 6: 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).

*Література додаткова:* патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, Н01S, С21D

### **Тема 8.2. Методи підвищення якості ТО ЛРО порожнин**

Вдосконалення технологічних засобів та оснащення операцій:

- Методи підвищення якості результатів лазерної розмірної обробки.

- Режимне вдосконалення процесу розмірної обробки та різки.

**Література:** базова - [1] стор. 203-220; [2] През. 6, сл. № 4-20.

Завдання на СРС 1: 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).

Завдання на СРС 2: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу створення умов для реалізації додаткового очищення порожнини отвору діянням додаткових видів енергії з метою підвищення якості результатів технологічної операції (критерій якості - за вибором студента).

Завдання на СРС 3: 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.

Завдання на СРС 4: Розробити конструкцію пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу контурного вирізання порожнин з простим за формою попереком (круглої, багатогранної форми, подовжнього пазу) у випадку недостатності енергетичних властивостей

Завдання на СРС 5: 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.

Завдання на СРС 6: 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..

Завдання на СРС 7: Розробити конструкцію пристрою (модулятора добротності резонатора) для керування часою 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).

Завдання на СРС 8: 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).

Завдання на СРС 9: 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.

Завдання на СРС 10: Розробити конструкцію дзеркального пристрою для реалізації відомого або оригінального (на думку студента) методу доопрацювання обробленої порожнини зворотнім діянням 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.

Завдання на СРС 11: Розробити конструкцію пристрою для реалізації електролазерного методу формування отвору з можливістю оперативного (автоматизованого) змінення діелектричної прокладки та додаткового електроду.

*Література додаткова:* [2] та патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, Н01S, С21D

### **Тема 8.3. Методи підвищення якості лазерного розмірного вирізання пазів**

Вдосконалення методів відносного позиціонування пучка випромінювання та заготовки: Метод подвійного зображення

**Література:** базова - [1] стор. 221-227; [2] През №6, сл. № 21-34.

Завдання на СРС 1: Визначити або створити методику зазначення режимів лазерного розкряювання крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням

відомих рекомендацій.

Завдання на СРС 2: Визначити або створити методику зазначення режимів лазерного скрайбування крихких листів (зі скла, напівпровідників, діелектриків, тощо) з урахуванням рекомендацій або оригінальних.

Завдання на СРС 3: Розробити пристрій для швидкого змінення умов опромінення для формування якісного тупикового різь (пазу).

Завдання на СРС 4: Розробити схему або конструкцію оптичної силової системи для сканування каустики пучка випромінювання вздовж передньої крайки різь (по товщині заготовки) для підвищення прямолінійності стінок вирізаємих виробів.

Завдання на СРС 5: Розробити конструкцію оптичної системи для керування направленням лінійної поляризації променя в операціях контурного вирізання розмірних пазів.

Завдання на СРС 6: Розробити пристрій для комбінованої електро лазерної обробки кільцевих пазів.

Завдання на СРС 7: Розробити систему швидкісного чередування при подачі активного (кисень) та неактивного газів із заданою частотою співвісно з віссю лазерного променя.

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.

*Література додаткова:* [7] та патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ» за класами МПК В23К, H01S, C21D

#### **Тема 8.4. Автоматизація та адаптивна організація ТО ЛРО**

Автоматизація операцій лазерної обробки:

- Налагодження положення лінзи та заготовки,
- Автоматизація контрольних операцій.

*Література:* базова [1] стор. 228-239; [2] През №7, сл. № 5-46.

Завдання на СРС 1: Розробити методику проектування емкісного позиціонера та конструкцію вузла оптичної системи з підтримкою заданих умов опромінення протягом виконання технологічної операції. Забезпечити можливість його використання для лазерного розрізання листів із діелектриків.

Завдання на СРС 2: Розробити проект модернізації оптичної системи ЛТУ для її використання в операції газу 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.

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)

Завдання на СРС 4: Розробити проект модернізації оптичної системи СОК-1 для використання методу подвійного зображення при візуальному налагодженні положення заготовки 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 заготовки 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 заготовки 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 заготовки в каустиці лазерного променя в разі непрозорості резонатора робочого лазера для променя додаткового джерела.

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

Завдання на СРС 9: Розробити конструкцію різьака для оптичної системи з непрозорим для видимого випромінювання оптичним елементом (дзеркала або дзеркального об'єктиву) та використанням візуального методу налагодження положення заготовки 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 заготовки 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 заготовки 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 заготовки 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 позиціонування оптичного елемента ЛТУ та поверхні заготовки 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 заготовках на базі системи контролю напрямку виходу робочого струменя технологічного газу із різку з тильної сторони заготовки двома пневматичними датчиками. Уточнити значення координат розташування пари пневматичних датчиків під заготовкою та її залежність від розмірних та теплофізичних параметрів заготовки та її матеріалу.

*Література додаткова:*[1, 3] патентна інформація з архівів НТБ НТУУ «КПІ»за класами МПК В23К, H01S, C21D

### **Тема 9.1 .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; *додаткова*[3]

**Завдання на СРС 1:**

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?

*Література додаткова* [4] стор.

### **Тема 9.2.1. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО**

Особливість 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.

**Завдання на СРС 1:** 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?

*Література додаткова:* [4] стор

### **Тема 9.2.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО**

9.2.1. Джерела нестабільностей інструмента – пучка лазерного випромінювання.

**Література: базова** – [1] стор. 249-258, [2] През. №8, сл. № 12-23

**Завдання на СРС 1:** Проаналізуйте 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.

**Завдання на СРС 2:** 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.

**Завдання на СРС 2:** 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?

Завдання на СРС 3: 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.

Завдання на СРС 4: 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?

Завдання на СРС 5: 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.

Завдання на СРС 6: 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/см<sup>2</sup> у передній частині, та  $6 \cdot 10^5$  – у задній. Які засоби боротьби з цим джерелом похибки можете запропонувати?

Завдання на СРС 7: Поясніть 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 (пори́г генерації  $P_n = 500$  Вт).

*Література додаткова:* [4] стор.

### **Тема 9.2.2. Розрахунково-аналітичний метод прогнозування точності ТО ЛРО**

#### **9.2.3. Похибки технологічних прийомів.**

*Література:* базова – [1], стор. 258-266; [2], През. №3, сл. № 24-36, [4]

Завдання на СРС 1: 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.

Завдання на СРС 2: Наведіть приклади розрахунків помилок позиціонування пучка випромінювання та заготовки. Які з них є систематичними та за яких умов вони можуть бути скороченими або усунутими? Проаналізуйте детально похибки візуального виконання цієї операції, доведіть, що вони є об'єктивними наслідками проявлення хвильової та корпускулярної теорії світла.

Завдання на СРС 3: Запропонуйте методи підвищення якості настройки за допомогою використання аналогових або автоматизованих схем. Які вимоги можна висунути до якості поверхонь заготовки щоб зменшити похибку настройки.

Завдання на СРС 4: Похибки які з'являються під час налагодження режиму випромінювання. Від чого залежить точність настройки і як впливають параметри використаних приладів на якість виконання переходу?

Завдання на СРС 5: 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?

Завдання на СРС 6: Проаналізуйте 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

#### **9.2.3. Нестабільність заготовки.**

*Література:* базова – [1], стор. 266-269; [2], През. №3, сл. № 37, 38, [4]

Завдання на СРС 1: 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?

Завдання на СРС 2: Чи значуще впливають коливання рівня поглинання променистої енергії поверхнею заготовки на результати прошивки отворів? Запропонуйте ефективні методи стабілізації оптичних властивостей поверхні.

Завдання на СРС 3: Які висновки можна зробити щодо впливу неоднорідності структури та складу матеріалу на його здатність до обробки та що рекомендувати для оптимальної організації операції?

*Література додаткова:* [4] стор

### **Тема 9.3. Аналіз складу сумарної похибки операції обробки порожнин лазерним променем.**

Коефіцієнти трансформації перетворюючої системи. Визначення їх величин та значень.

*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]

### **Тема 9.4.1 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] стор.

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
- режими обробки розраховуються за схемою №2 Steffen'a.

Література додаткова: [4] стор.

**Тема 9.4.2** *Формування цільових функцій для задач оптимізації режиму обробки при нормуванні показників точності операції*

Методи скорочення та виключення початкових нестабільностей процесу обробки. Визначення напрямків впливу на останній за допомогою кількісної структури сумарної похибки.

Література: базова [1] стор. 271-277; [2] През. №3, сл. № 18; [4]

Завдання на СРС 1: Визначити шляхи впливу на сумарну похибку на основі аналізу її кількісної структури:

- 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.

Література додаткова: [4] стор.

**Тема 9.5.** *Використання штучних нейронних мереж (ШНМ) для прогнозування, визначення та корегування розміру точність ТО ЛРО.*

Аналіз можливості використання штучного інтелекту для прогнозування точності розмірних показників операцій розмірної обробки та перетворення її у прецизійну. Планується само налагодження об'єкту керування шляхом досягнення критеріальних рівнів розмірів порожнин (попереку та довжини, а далі також якості попереку та повздожньої форми) впливом на вагові коефіцієнти нейронів тим самим корегуючи режимом опромінення.

Література базова [7] сторh 96 – 108

Завдання на СРС: Порівняти можливості, складності структури та цінності різноманітних багат шарових перцептронів при використанні в аналізі точності ТО ЛРО.

Література додаткова: [8]

## 5.2. Практичні заняття

Основні завдання циклу практичних занять полягають у набутті вмінь практичного закріплення головних тем освітнього компоненту, які вивчено теоретично. В зв'язку з тим, що його головним завданням є надання знань та умінь прогнозування результатів та проектування технологічної операції, то всі лабораторні роботи пов'язано з цією діяльністю фахівця.



Таблиця 3. Перелік практичних занять

Назва теми заняття	Кількість ауд. годин
<b>Практичне заняття 1.</b> Розрахунок режимів лазерного зміцнення на максимальну глибину <b>Література [2, с.5-9], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-8 [2, с.8]	2
<b>Практичне заняття 2.</b> Розрахунок режимів лазерного термічного зміцнення на задану глибину <b>Література [2, с.9-18], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-11 [2, с.17]	2
<b>Практичне заняття 3.</b> Розрахунок режимів лазерного наплавлення <b>Література [2, с.19-27], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.25,27]	2
<b>Практичне заняття 4.</b> Розрахунок режимів обробки при лазерному загартуванні скануючим лазерним пучком <b>Література [2, с.27-35], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.35]	2
<b>Практичне заняття 5.</b> Розрахунок системи фокусування лазерного випромінювання <b>Література [2, с.35-40], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.40]	2
<b>Практичне заняття 6.</b> Розрахунок режимів лазерного зварювання <b>Література [2, с.40-49], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-8 [2, с.49]	2
<b>Практичне заняття 7.</b> Механізм газолазерного різання матеріалів лазерним випромінюванням <b>Література [2, с.50-57], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.57]	2
<b>Практичне заняття 8.</b> Розрахунок комбінованого та гібридного зварювання. <b>Література [2, с.57-63], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.62]	2
<b>Практичне заняття 9.</b> Розрахунок комбінованого та гібридного наплавлення. <b>Література [2, с.57-63], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.62]	2

### 5.3. Лабораторні заняття

Лабораторні заняття не передбачено робочим навчальним планом та програмою освітнього компоненту.

### Самостійна робота студента

Самостійна робота (78 год) полягає у підготовці до лекційних (27 год) та практичних занять (5 год) РГР (10 год) шляхом праці з рекомендованою додатковою літературою, в патентному відділі бібліотеці НТБ КПІ імені Ігоря Сікорського для підготовки відповідей на контрольні запитання на лекціях, на питання модульної контрольної роботи, які задаються при атестації студентів і під час підготовки до екзамену (30 год).

Завдання на СРС з прив'язкою до тем лекційних завдань і з відповідним посиланням на додаткову та доступну літературу наведені в табл. 2.

## 4. Політика викладання та засвоєння освітнього компоненту

### Правила відвідування занять

Відвідування лекцій, лабораторних занять, а також відсутність на них, не оцінюється. Однак, студентам рекомендується відвідувати заняття, оскільки на них викладається теоретичний матеріал та розвиваються навички, необхідні для виконання семестрового індивідуального завдання.

Для студентів, які беруть на себе відповідальність за організацію і планування свого часу для навчання, є можливість опанувати дисципліну у змішаному режимі: ознайомлення з теоретичним матеріалом лекцій і розв'язування практичних завдань – самостійно, за

необхідності проведення консультацій викладачем згідно графіку консультацій і відведеного на них часу, у відповідності до педагогічного навантаження викладача. Лабораторні роботи виконуються у груповому режимі під керівництвом відповідального викладача.

### **Правила поведінки на заняттях.**

Правила поведінки на заняттях регламентуються етичними нормами: всі учасники освітнього процесу в університеті повинні дотримуватись вимог чинного законодавства України, Статуту і Правил внутрішнього розпорядку КПІ ім. Ігоря Сікорського, загальноприйнятих моральних принципів, підтримувати атмосферу доброзичливості, відповідальності, порядності й толерантності, дбайливо ставитися до університетського майна.

Під час аудиторних занять студенти повинні дотримуватись діючих правил охорони праці, безпеки життєдіяльності і правил пожежної безпеки, а в разі навчання за дистанційною формою виконувати вимоги щодо безпеки та захисту здоров'я під час роботи з екранними пристроями.

### **Правила призначення заохочувальних та штрафних балів**

Студенти зобов'язані дотримуватися термінів виконання усіх видів робіт, передбачених курсом.

Порушення термінів виконання певного виду робіт враховується згідно рейтингової системи оцінювання. **Під час дії воєнного стану штрафні бали не нараховуються.**

### **Пропущені контрольні заходи:**

Якщо контрольні заходи пропущені з поважних причин (хвороба або вагомі життєві обставини), студенту надається можливість додатково скласти контрольне завдання протягом найближчого тижня. В разі порушення термінів виконання завдання з неповажних причин, студент не допускається до складання екзамену в основну сесію.

**Політика щодо академічної доброчесності** докладно описана у Кодексі Честі КПІ ім. Ігоря Сікорського (<https://kpi.ua/code>) і передбачає повну відповідальність студента за те, що всі виконані ним завдання відповідають принципам академічної доброчесності.

## **1 Види контролю та рейтингова система оцінювання результатів навчання (PCO)**

### **Поточний контроль.**

За кожною лекцією студент виконує письмову самостійну роботу – надає відповіді на контрольні питання. Перед виконанням лабораторної роботи студенти проходять експрес-опитування для встановлення рівня теоретичної підготовки до виконання роботи, наявності бланків протоколів.

### **Календарний контроль.**

Проводиться двічі на семестр як моніторинг поточного стану виконання вимог силабусу.

## **Семестровий контроль.**

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

## **Рейтингова система оцінювання та критерії нарахування вагових балів:**

### **1. Лекції.**

Оцінюється самостійна робота студента, яка полягає у представленні відповідей на контрольні питання.

Ваговий бал – 1 за кожен вірну відповідь на питання. До кожної лекції передбачено 10 контрольних питань.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за відповіді на контрольні питання до всіх лекцій (27 занять):  $10 \times 27 = 270$  балів.

Термін представлення відповідей – впродовж тижня після відповідної лекції.

### **4. Практичні роботи.**

Ваговий бал – 5.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за відпрацювання і захист всіх практичних робіт (9 занять):  $5 \times 9 = 45$  балів.

Вхідний контроль оцінюється в 1 бал, який нараховується за правильну відповідь студента на питання.

Виконання практичної роботи оцінюється в 1 бал, який нараховується за роботу студента з вимірювальними приладами.

Захист практичної роботи оцінюється в 3 бали, які нараховуються за правильні відповіді на три питання вартістю в 1 бал кожне, поставлені під час захисту роботи студентом.

### **4. Виконання модульної контрольної роботи МКР (до 5 балів):**

- повна, змістовна та аргументована відповідь – **5 бали** (одна МКР) тобто  $4 \times 5$  (для двох атестацій);
- відповідь з несуттєвими помилками ( $< 3$ ) – **3 бали** (одна МКР) або  $4 \times 3$  (дві атестації);
- неправильна відповідь – **0 балів**

### **4. Виконання розрахунково-графічної роботи (РГР):**

- творчо виконана робота – **25 балів**;
- роботу виконано з незначними недоліками – **16-20 балів**;
- роботу виконано з певними помилками – **12 балів**;
- роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) – **0 балів**.
- примітка: За кожний тиждень запізнення з поданням РГР на перевірку нараховується **штрафний  $r_{ш}$  -1 бал** (усього не більше – **3 балів**).

**Під час дії воєнного стану штрафні бали не нараховуються.**

Підрахунок максимальної кількості балів за контрольні заходи, які формують стартовий рейтинг, наведений у табл. 4:

**Таблиця 4. Розрахунки рейтингу за результатами опитування студентів, виконаної МКР та РГР, а також праці на практичних заняттях.**

Складові стартового рейтингу $R_c$	Кількість занять у семестрі	Вагові бали за контрольні заходи	Сума вагових балів за контрольні заходи
Відповідь на контрольні запитання до кожної лекції	27	10	270
Модульна контрольна робота	4	5	20
Розрахунково-графічна робота	1	25	25
Відпрацювання навичок на практичних заняттях	9	5	45
<b>РАЗОМ:</b>			<b>360</b>
Приведений до стартової шкали: 60 % від сумарного рейтингу 100 балів за кредитний модуль:			360/6=60

Штрафні та заохочувальні бали:

- Штрафні бали нараховуються за порушення термінів виконання певного виду робіт:
  - відповіді на контрольні запитання для лекції, представлені із запізненням більше ніж 1 тиждень після лекції «- 5 балів»;
  - **недопуск до лабораторної роботи** у зв'язку з незадовільним вхідним контролем «-1 бал», який враховується при наступній спробі відпрацювання лабораторної роботи;

**Штрафні бали не нараховуються на період дії воєнного стану.**

- Заохочувальні бали нараховуються за розв'язок студентом спеціального індивідуального творчого завдання з дисципліни або участь у конференціях з публікацією матеріалів доповідей за тематикою кредитного модуля «+1...6 балів».

**Розмір шкали рейтингу кредитного модуля:  $R_D = R_C + R_E = 60+40=100$  балів, де стартова шкала  $R_C=60$  балів, екзаменаційна шкала  $R_E=40$  балів.**

**Умови позитивної проміжної атестації – календарного контролю.**

Для отримання «зараховано» з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент повинен набрати не менше ніж 50 балів, що становить 8,33 б. у перерахунку до стартової шкали ( за умови, якщо на початок 8 тижня згідно з календарним планом контрольних заходів « ідеальний студент» має отримати 100 балів, що становить 16,66 б. у перерахунку до стартової шкали).

Для отримання «зараховано» з другої проміжної атестації (14 тиждень) студент повинен набрати не менше ніж 100 балів, що становить 16,66 б. у перерахунку до стартової шкали ( за умови, якщо на початок 14 тижня згідно з календарним планом

контрольних заходів « ідеальний студент» має отримати 200 балів, що становить 33,33 б. у перерахунку до стартової шкали).

#### Умови допуску до екзамену.

1. Виконана та захищена РГР.
2. Відпрацьовані усі лабораторні роботи.
3. Стартовий рейтинг  $R_c \geq 180$  ( у перерахунку до стартової шкали  $\geq 30$  балів). Відпрацювання кожного пропущеного заняття (лабораторна робота) може бути замінено складанням на тесту для отримання оцінки «зараховано» за відповідне заняття.

#### Критерії екзаменаційного оцінювання.

Заліковий білет складається з 2 завдань: 2 теоретичні питання.

Правильна відповідь на кожне теоретичне питання оцінюється в 20 балів

**Бали  $R_E$  за відповідь на екзамені розраховується у такий спосіб:**

$$R_E = (R_1 + R_2) = (20 + 20) = 40,$$

де  $R_1$  - бали за відповідь на перше теоретичне питання,  $R_2$  - бали за відповідь на друге теоретичне питання

**Максимальна кількість балів, які можна отримати за складання екзамену - 40 б.**

Шкала оцінювання теоретичних питань
$R_1(R_2) = 0$ - відповідь відсутня
$R_1(R_2) = 4$ - відсутні логічні кроки, є фрагменти необхідних формул, формулювання
$R_1(R_2) = 8$ - наведено декілька логічних кроків, деякі формули, формулювання
$R_1(R_2) = 12$ - неповна відповідь
$R_1(R_2) = 16$ - відповідь вірна і повна, але містить 1-2 неточності
$R_1(R_2) = 20$ - відповідь вірна і повна

Сума стартових балів та балів за екзамен переводиться у рейтингову оцінку згідно з таблицею 2.

**Екзамен в умовах дистанційного навчання проводиться або через складання тесту on-line в системі дистанційного навчання <https://classroom.google.com> або в режимі відео зв'язку, використовуючи платформу ZOOM.**

Тест складається з 20 питань, які випадковим способом обираються з бази питань. Кожне питання оцінюється в 2 бали.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за складання тесту 20 x 2 б.=40 б. Правильних відповідей на питання може бути більше однієї, що програмно враховано при нарахуванні балів.

Тест зараховується, якщо студент набрав не менше від 60% від максимальної кількості балів, що становить не менше 24 балів.

Сума стартових балів та балів за заліковий тест, або написання відповідей на заліковий білет, переводиться у рейтингову оцінку згідно з таблицею 2:

В режимі відео зв'язку, використовуючи платформу ZOOM, студент/ка обов'язково знаходяться з ввімкненим відео «тягне білет», називаючи номер. Викладач передає/надає/показує на екрані вміст названого білету. Студент й викладач не вимикаючи відео починають спілкуватися по питанням з білету, якщо студент готовий одразу відповідати. Якщо студент одразу не готовий відповідати, викладач надає певний час на написання відповідей не вимикаючи відео – щоб бути впевненим що студент не списує чи використовує якісь сторонні інформаційні засоби.

**Таблиця 2. Переведення суми стартових і залікових балів у рейтингову оцінку з кредитного модуля RD:**

$RD=R_c + R_E$	Традиційна оцінка
95...100	відмінно
85...94	дуже добре
75...84	добре
65...74	задовільно
60...64	достатньо
< 60	незадовільно
$R_c < 30$ або не виконані інші умови допуску до <b>екзамену</b>	не допущений

#### **Додаткова інформація з освітнього компоненту.**

- *перелік питань, які виносяться до календарного контролю, наведено в Додатку 1* силлабусу  
<https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=238231>
- *на письмовий або усний екзамен **off-line** виносяться питання, які викладено у Додатку 2* до силлабусу  
<https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=238232>
- *екзамен в умовах **on-line** проводиться у тестовому режимі* (тести викладено в Додатку 3 силлабусу ЛПО) *за методикою оцінювання, яку наведено у п.6 розділу 8*  
<https://campus.kpi.ua/tutor/index.php?mode=mob&show&irid=238233>

#### **Робочу програму освітнього компоненту (силлабусу):**

**Складено:** професор, д.т.н., професор ГоловкаЛеонідФедорович,

професор, д.т.н., професор КотляровВалерійПавлович

доцент, к.т.н., Блощин Михайло Сергійович

старший викладач, Козирев Олексій Сергійович

**Ухвалено оновлений силлабус:** кафедрою ЛТФТ (Протокол №14 від 12.06.2024 р.)

**Погоджено** Методичною комісією інституту НН ІМЗ ім Є.О. Патона

(протокол № 12/24 від 28.06.2024 р.)