



**Променеві засоби зварювання**  
**Робоча програма навчальної дисципліни (Силабус)**

Добавлено примечание ([T1]): ваша назва кредитного модуля або дисципліни

<b>Реквізити навчальної дисципліни</b>	
<b>Рівень вищої освіти</b>	<i>Перший (бакалаврський)</i>
<b>Галузь знань</b>	<i>13 Механічна інженерія</i>
<b>Спеціальність</b>	<i>131 Прикладна механіка</i>
<b>Освітня програма</b>	<i>Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки матеріалів</i>
<b>Статус дисципліни</b>	<i>Вибіркова</i>
<b>Форма навчання</b>	<i>денна/змішана</i>
<b>Рік підготовки, семестр</b>	<i>IV курс, 7 семестр</i>
<b>Обсяг дисципліни</b>	<i>120 год/4 кредитів ЄКТС<sup>^</sup> : лекційні заняття – 36 год, практичні заняття – 18, лабораторні заняття – 9 год, самостійна робота – 57 год</i>
<b>Семестровий контроль/ контрольні заходи</b>	<i>залік / МКР, РГР</i>
<b>Розклад занять</b>	<i>згідно <a href="http://www.rozklad.kpi.ua">www.rozklad.kpi.ua</a></i>
<b>Мова викладання</b>	<i>Українська</i>
<b>Інформація про керівника курсу / викладачів</b>	<i>Лектор: к.т.н., Блощизин Михайло Сергійович <a href="mailto:m.bloshchytsyn@kpi.ua">m.bloshchytsyn@kpi.ua</a> <a href="mailto:m.bloshchytsyn@gmail.com">m.bloshchytsyn@gmail.com</a> Лабораторні: к.т.н., Блощизин Михайло Сергійович <a href="mailto:m.bloshchytsyn@gmail.com">m.bloshchytsyn@gmail.com</a></i>
<b>Розміщення курсу</b>	<i>Електронний кампус та GSuite в ПДН «Сікорський»</i>
<b>Програма навчальної дисципліни</b>	

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

У кредитному модулі “Променеві засоби зварювання” продовжує загальну технологічну підготовку фахівців з урахуванням специфіки побудови технологічних операцій лазерної розмірної обробки, що пов'язано із особливостями інструменту та їх результатів. Особливість технологічних операцій лазерної обробки полягає в тому, що фахівець має справу з не матеріальним, часто-густо не видимим інструментом у вигляді згустку потужної електромагнітної енергії, який набуває експлуатаційних (режимних) властивостей лише під час виконання операції, тому процедури її проектування та практичної реалізації докорінно відрізняються від подібних завдань не тільки з механічної обробки різанням, а й для інших, нетрадиційних методів, які відносяться до класу електрофізико хімічних видів обробки.

**Мета курсу:** викладання навчальної дисципліни є надання студентам можливість оволодіння алгоритмом створення технологічної операції лазерної розмірної (або прецизійної) обробки, що включає до себе таку послідовність дій для стандартних виробничих ситуацій, методології розрахункових і експериментальних методів визначення параметрів променевими засобами зварювання, суті основних принципів та методів.

**Предмет курсу:** вивчення дисципліни зосереджено на опануванні основних понять та визначень теорії зварювальних процесів, теплового стану, засвоєнні математичного

апарату для використання інженерних методів розрахунку параметрів зварювання променевими засобами.

### **Навіщо це потрібно студенту?**

Кредитний модуль «Променеві засоби зварювання» є одним з основних, що формують навички проектно-конструкторської діяльності майбутнього інженера-технолога в області зварювання та споріднених технологій, що є важливим умінням для здійснення професійної діяльності.

Вивчення освітнього компонента передбачає підсилення та розвиток у студентів компетентностей, передбачених освітньою програмою «Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки матеріалів», 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.

### **Фахові компетентності:**

ФК4. Здатність здійснювати оптимальний вибір технологічного обладнання, комплектацію технічних комплексів, мати базові уявлення про правила їх експлуатації  
ФК7. Здатність застосовувати комп'ютеризовані системи проектування (CAD), виробництва (CAM), інженерних досліджень (CAE) та спеціалізоване прикладне програмне забезпечення для вирішення інженерних завдань з прикладної механіки  
ФК15. Здатність обирати оптимальні типові технологічні процеси при виготовленні виробів та конструкцій

**Результати навчання освітнього компонента** деталізують такі програмні результати навчання, передбачені освітньою програмою «Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки матеріалів»:

РН9. Знати та розуміти суміжні галузі (механіку рідин і газів, теплотехніку, електротехніку, електроніку) і вміти виявляти міждисциплінарні зв'язки прикладної механіки на рівні, необхідному для виконання інших вимог освітньої програми

РН12. Навички практичного використання комп'ютеризованих систем проектування (CAD), підготовки виробництва (CAM) та інженерних досліджень (CAE)

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

Навчальна дисципліна є вибірковою компонентою освітньої програми «Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки матеріалів» і належить до циклу професійної підготовки. Для вивчення даного кредитного модуля необхідне успішне засвоєння навчального матеріалу, з таких дисциплін і кредитних модулів, як «Вища математика», «Лінійна алгебра і аналітична геометрія», «Теоретична механіка», «Теоретичні основи теплотехніки», «Механіка матеріалів і конструкцій - 1. Опір матеріалів», Електрофізичні та електрохімічні методи обробки матеріалів"ПО-7; "Фізика лазерів"ПВ-1; "Фізика взаємодії концентрованих потоків енергії з речовиною"ПВ-4; "Основи наукових досліджень та технічної творчості"ПВ-8; "Технологія машинобудування" ПО-13.

Знання, які одержано під час вивчення освітнього компоненту, забезпечують опанування наступних курсів за навчальними планами підготовки бакалаврів: "Математичне моделювання об'єктів та систем" ПВ-11; "Проектування та експлуатація лазерного технологічного обладнання" ПВ-10 ; "Проектування оптично-механічних вузлів" ПВ-10; "Основи розрахунку та конструювання вузлів лазерного технологічного

обладнання"ПВ-10; "Оптимізація технологічних об'єктів та систем"ПВ-12, а також в переддипломній практиці та дипломному проектуванні.

### **3. Зміст навчальної дисципліни**

#### **Розділ 1. Плазмові технології зварювання**

Тема 1.1. Фізична сутність зварювання Електрична зварювальна дуга. Загальні положення

Тема 1.2. Фізичні процеси у катодній області дуги, у стовбурі дуги

Тема 1.3. Статичні характеристики окремих областей дуги. Магнітогідродинамічні явища у зварювальній дузі

Тема 1.4. Нагрів та плавлення присадкового металу. Теплова ефективність процесу проплавлення

Тема 1.5. Плазмове зварювання. Повітряно-плазмове різання. Загальна характеристика плазмового зварювального процесу

#### **Розділ 2. Електронно-променеве зварювання:**

Тема 2.1. Загальна характеристика електронно-променевої технології зварювання.

Електронні гармати. Основні поняття та границі їх застосування

Тема 2.2. Генератори з найменшим діаметром пучка, що обумовлено розподілом електронів по тепловим швидкостям та просторовим зарядом

Тема 2.3. Технічне виконання електронних гармат. Основні параметри та класифікація. Проведення пучків. Перетворення параметрів пучків

Тема 2.4. Особливості технології електронно-променевого зварювання. Процес зварювання

#### **Розділ 3. Лазерне, комбіноване та гібридне зварювання**

Тема 3.1. Методи лазерного зварювання та їх фізичні особливості

Тема 3.2. Основні елементи обладнання для лазерного зварювання. Фокусуючі системи для лазерного зварювання

Тема 3.3. Розробка технології лазерного зварювання. Основні параметри режимів

Тема 3.4. Лазерне зварювання металів з глибоким проплавленням

Тема 3.5. Застосування лазерного та гібридно-лазерного методів зварювання

Тема 3.6. Лазерно-дугове зварювання. Основні енергетичні характеристики процесу лазерно-дугового зварювання

Тема 3.7. Двохпроменеве лазерне зварювання. Технологічні особливості двохпроменевого лазерного зварювання

Тема 3.8. Гібридне та комбіноване лазерно-плазмове зварювання. Принципіальні схеми гібридних та комбінованих лазерно-плазмових горілок

### **4. Навчальні матеріали та ресурси**

#### **Базова**

1. Гаращук В.П. Основи фізики лазерів. Лазери для термічних технологій: Навчальний посібник. - Київ: ІЕЗ ім. Є.О. Патона, 2005.- 244 с.
2. Котляров В.П. Технологія лазерної обробки. Ніжин: НДУ ім. М.Гоголя, - 2010. – 308с.
3. Лазерні технології та комп'ютерне моделювання / Л.Ф. Головка, С.О. Лук'яненко // Монографія, К.: Вістка, 2009. - 296 с.
4. Вакуумні іонно-плазмові технології зміцнення деталей машин триботехнічного призначення / О.Й. Мажейка, Л.Ф. Головка, А.М. Лутай, Є.К. Солових // Монографія, Кіровоград: "КОД", 2014 316 с.
5. Комп'ютерне моделювання у лазерних технологіях / Л.Ф. Головка, С.О. Лук'яненко, І.Ю. Михайлова, В.А. Третяк // Монографія, К.: ВПП «Текст». 2015. - 236 с.

#### **Додаткова**

6. Променеві засоби зварювання. Методичні вказівки до виконання лабораторних робіт до вивчення кредитного модуля для студентів спеціалізації «Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки» спеціальності 131 Прикладна механіка. Уклад. М.С. Блощин, – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 48 с. (протокол Вченої Ради MMI № 11; дата отримання грифу 26.06.2017)
7. Променеві засоби зварювання. Методичні вказівки до виконання практичних робіт до вивчення кредитного модуля для студентів спеціалізації «Лазерна техніка та комп'ютеризовані процеси фізико-технічної обробки» спеціальності 131 Прикладна механіка. Уклад. М.С. Блощин, – К.: НТУУ «КПІ», 2017. – 65 с. (протокол Вченої Ради MMI № 11; дата отримання грифу 26.06.2017)

### **Навчальний контент**

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

В межах вивчення кредитного модуля впродовж семестру заплановано проведення лекційних та лабораторних 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 табл. 1.

Таблиця 1. Структура викладання освітнього компоненту

Назви розділів і тем	Кількість годин				
	Всього	у тому числі			
		Лекції	Практичні	Лабор. роб.	СРС
1	2	3	4	5	6
<b>Вступ</b>					
<i>Огляд змісту освітнього компоненту, його структури, призначення, навчальна база та місце в системі підготовки фахівця</i>	1	1	-	-	
<b>Розділ 1. Плазмові технології</b>					
<i>Тема 1.1. Фізична сутність зварювання Електрична зварювальна дуга. Загальні положення</i>	3	1	-	-	2
<i>Тема 1.2. Фізичні процеси у катодній області дуги, у стовбурі дуги</i>	4	2	-	-	2
<i>Тема 1.3. Статичні характеристики окремих областей дуги. Магнітогідродинамічні явища у зварювальній дузі</i>	4	2	-	-	2
<i>Тема 1.4. Нагрів та плавлення присадкового металу. Теплова ефективність процесу проплавлення</i>	8	2	2	1	3
<i>Тема 1.5. Плазмове зварювання. Повітряно-плазмове різання. Загальна характеристика плазмового зварювального процесу</i>	6	2	2	1	3
<b>Контрольна модульна робота 1</b>	<b>1</b>	<b>1</b>			
<b>Разом за розділом 1</b>	<b>26</b>	<b>10</b>	<b>4</b>	<b>2</b>	<b>10</b>
<b>Розділ 2. Електронно-променеве зварювання</b>					
<i>Тема 2.1. Загальна характеристика електронно-променевої технології зварювання. Електронні гармати. Основні поняття та границі їх застосування</i>	4	2			2
<i>Тема 2.2. Генератори з найменшим діаметром пучка, що обумовлено розподілом електронів по тепловим швидкостям та просторовим зарядом</i>	4	2			2
<i>Тема 2.3. Технічне виконання електронних гармат. Основні параметри та класифікація. Проведення пучків. Перетворення параметрів пучків</i>	7	2	2	1	2
<i>Тема 2.4. Особливості технології електронно-променевого зварювання. Процес зварювання</i>	4	2			2
<b>Разом за розділом 2</b>	<b>19</b>	<b>8</b>	<b>2</b>	<b>1</b>	<b>8</b>

Додано примечание ([Т2]): ця таблиця не обов'язкова, але вона показує структуру і легше порівнювати з навчальним планом

<b>Розділ 3. Лазерне, комбіноване та гібридне зварювання</b>					
Тема 3.1. Методи лазерного зварювання та їх фізичні особливості	7	2	2		3
Тема 3.2. Основні елементи обладнання для лазерного зварювання. Фокусуючі системи для лазерного зварювання	10	2	2	2	4
Тема 3.3. Розробка технології лазерного зварювання. Основні параметри режимів	6	2	2		2
Тема 3.4. Лазерне зварювання металів з глибоким проплавленням	8	2	2	2	2
<b>Контрольна модульна робота 2</b>	<b>1</b>	<b>1</b>			
Тема 3.5. Застосування лазерного та гібридно-лазерного методів зварювання	4	2			2
Тема 3.6. Лазерно-дугове зварювання. Основні енергетичні характеристики процесу лазерно-дугового зварювання	8	2	2	2	2
Тема 3.7. Двохпроменеве лазерне зварювання. Технологічні особливості двохпроменевого лазерного зварювання	4	2			2
Тема 3.8. Гібридне та комбіноване лазерно-плазмове зварювання. Принципові схеми гібридних та комбінованих лазерно-плазмових горілок	6	2	2		2
<b>Разом за розділом 3</b>	<b>54</b>	<b>17</b>	<b>12</b>	<b>6</b>	<b>19</b>
Разом					
РГР	8				8
Залік	12				12
<b>Всього годин</b>	<b>120</b>	<b>36</b>	<b>18</b>	<b>9</b>	<b>57</b>

### 5.1 Лекційні заняття

Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
<b>Розділ 1. ПЛАЗМОВІ ТЕХНОЛОГІЇ</b>
<b>Тема 1.1. Фізична сутність зварювання Електрична зварювальна дуга. Загальні положення</b>
<b>Лекція 1. Фізична сутність зварювання.</b> Про поверхнєве тяжіння. Про енергетичний бар'єр. Труднощі з'єднання твердих тіл. Нагрівання. Осадження. Три основні фізичні прикмети класифікації зварювання. <b>Джерела зварювального нагріву.</b> Температури, які необхідні для виконання зварювальних з'єднань. Перетворення різних видів енергії у теплову. Типові значення коефіцієнта корисної дії та питомі енерговитрати при зварюванні. <b>Електрична зварювальна дуга.</b> Загальні положення. Відмінності дугового розряду від інших видів електричних розрядів. Залежність величини падіння напруги між електродами від величини струму у електричному колі дуги. Стан електричної

<p>Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)</p>
<p>зварювальної дуги. Різновиди дуги. Розподіл падіння напруги в дузі. Форми та ділянки вольт-амперних характеристик дуги. Види дуг. Енергетична ємність різних областей дуги.</p> <p><b>Література:</b> [1 §1.1-1.9]  <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>
<p><b>Тема 1.2. Фізичні процеси у катодній області дуги, у стовбурі дуги</b></p>
<p><b>Лекція 2. Фізичні процеси у катодній області дуги.</b>  Про об'ємний позитивний заряд катодної області. Катодна емісія. Термоелектронна емісія (рівняння Річардсона-Дешмана). Про ефект Шотки. Автоелектронна (електростатична) емісія (рівняння Фаулера-Нордгейма). Фотоемісія. (закон Ейнштейна). Вторинна електронна емісія. Аналіз електростатичної (теорії автоелектронної емісії Ленгмюра) С. Мак-Коуном. Аналіз висновку електростатичної емісії Ленгмюра І. Слепяном. Плівкові та оксидні, гарячі і холодні катоди.</p> <p><b>Фізичні процеси у стовбурі дуги.</b>  Головний процес, який збігає у стовбурі дуги і впливає на її властивості. Робота іонізації. Види іонізації. Іонізація зіткненням. Фотоіонізація. Термічна іонізація. Поняття про ступінь іонізації. Рівняння Саха. Метод приблизних розрахунків ступеня іонізації розігрітої плазми. Іонізація суміші газу. Ефективний потенціал іонізації. Перенесення струму у стовбурі дуги. Про дрейф заряджених часток в дузі. Густина струму у стовбурі дуги. Ефект Рамзауера-Таундсена. Про каналову модель дуги К.К. Хрінова.</p> <p><b>Література</b> [1 §2.1.1-2.1.5]  <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>
<p><b>Тема 1.3. Статичні характеристики окремих областей дуги. Магнітогідродинамічні явища у зварювальній дузі</b></p>
<p><b>Лекція 3. Статичні характеристики окремих областей дуги.</b>  Вольт-амперна характеристика стовпа дуги. Принцип мінімуму Штейнбека. Температура стовпа дуги. Спрощена форма запису вольт-амперної характеристики дуги. Про радіус стовпа дуги. Вольт-амперна характеристика катодної області. Загальна вольт-амперна характеристика вільної дуги. Рівняння Хренова- Айертона. Стиснена дуга. Принципи і способи отримання стиснутої дуги. Вольт – амперна характеристика стисненої дуги. Про температуру стовпа стисненої дуги. Баланс енергії в областях зварювальної дузі.</p> <p><b>Магнітогідродинамічні явища у зварювальній дузі.</b>  Про центрострімливий ефект і пінч ефект. Взаємодія магнітного поля дуги і зварювального контуру. Вплив на дугу зовнішнього магнітного поля. Перенесення електродного металу у дузі. Види переносу. Про силу діючу на краплю розплаву металу. Приклади рівноваги сил, діючих на краплю. Особливості переносу електродного металу при різних способах зварювання. Методи керування переносом електродного металу при вільній дузі, стиснутій дузі та універсальний метод. Особливості горіння дуги на змінному струмі.</p> <p><b>Література</b> [1 §4.1.3; 7 §2.6 1-ий спосіб]  <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>

<p>Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)</p>
<p><b>Тема 1.4. Нагрів та плавлення присадкового металу. Теплова ефективність процесу проплавлення</b></p>
<p><b>Лекція 4. Нагрів та плавлення присадкового металу.</b>  Стрижень граничної довжини з фіксованим струмовідводом. Проплавлення основного металу зварювальною дугою. Загальні положення. Параметри проплавлення при наплавленні на малому струмі. Параметри проплавлення при зварюванні плавленням за один прохід на малому струмі. Параметри проплавлення при потужних режимах наплавлення. Параметри проплавлення при зварюванні пластин за один прохід на великому струмі.  <b>Теплова ефективність процесу проплавлення</b>  Теплова ефективність процесу проплавлення при наплавленні великим струмом на масивне тіло. Теплова ефективність процесу проплавлення при зварюванні пластин на великому струмі за один прохід. Об'єм та середня температура зварювальної ванни. Тепловміст. Квазістаціонарність. Розподільний переніс теплоти. Кипіння відомого об'єму ванни.  <b>Література [1 §3.2.1-3.2.6, 3.2.8]</b>  <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>
<p><b>Тема 1.5. Плазмове зварювання. Повітряно-плазмове різання. Загальна характеристика плазмowego зварювального процесу</b></p>
<p><b>Лекція 5. Плазмове зварювання.</b>  Загальна характеристика плазмowego зварювального процесу. Плазмотрони та особливості їх живлення. Формування шву при плазмowego зварюванні. Різновиди плазмowego зварювання. Апаратура для плазмowego зварювання та розкрою. Режими плазмowego зварювання та розкрою різних матеріалів. Мікро плазмове зварювання. Типи зварних з'єднань при мікро плазмowego зварюванні. Приклади застосування плазмowych процесів.  <b>Повітряно-плазмове різання.</b>  Загальна характеристика. Тепло-електрофізичні особливості процесу. Повітря, як плазмоутворюючий, ріжучий газ. Види термохімічних (плівкових) катодів. Конфігурація формуючої системи катодно-соплової камери та завихрювача. Передача тепла плазмовой дугою в метал, що різеться. Електричні параметри системи – джерело струму-дуга. Статична та динамічна стійкість горіння дуги. Просторова стійкість дуги. Технологічна стійкість системи джерело-дуга. Схемні та конструктивні принципи будівництва плазмотронів та джерел живлення ППР. Технологічні можливості ППР. Економічний ефект ППР. Міри безпеки при експлуатації устаткування ППР. Перспективи розвитку ППР у суміжних технологічних процесах з використанням дешевих плазмоутворюючих середовищ  <b>Література [1 §3.3.3-3.3.4; 5 §4.5-4.6 ]</b>  <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>



<p>Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)</p>
<p align="center"><b>Розділ 2. ЕЛЕКТРОННО-ПРОМЕНЕВЕ ЗВАРЮВАННЯ</b></p>
<p align="center"><b>Тема 2.1. Загальна характеристика електронно-променевої технології зварювання. Електронні гармати. Основні поняття та границі їх застосування</b></p>
<p><b>Лекція 6. Загальна характеристика електронно-променевої технології зварювання.</b></p> <p>Розвиток електронно-променевих технологій зварювання. Електронні пучки у технологічних процесах. Перетворення енергії у зоні дії пучка. Основні явища. Рентгенівське випромінювання та його екранування. Емісія теплових та вторинних електронів. Відбиття електронів. Глибина проникнення електронів. Теплопровідність та випромінювання. Потужність та питома поверхнева потужність.</p> <p><b>Електронні гармати</b></p> <p>Основні поняття та границі їх застосування. Емісія електронів. Отримання вільних електронів. Катоди електронних гармат. Виконання катодів. Нагрів катодів. Термін служби катодів. Генерація пучків. Основні відомості про генератори електронних пучків. Основні параметри генераторів. Управління струмом пучка. Принципіальні схеми генераторів. Кросовер, найменший діаметр пучка та фокусна пляма</p> <p><b>Література [1 §4.1.1-4.1.2, 4.1.4-4.1.7]</b></p> <p><b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>
<p align="center"><b>Тема 2.2. Генератори з найменшим діаметром пучка, що обумовлено розподілом електронів по тепловим швидкостям та просторовим зарядом</b></p>
<p><b>Лекція 7. Генератори з найменшим діаметром пучка, що обумовлено розподілом електронів по тепловим швидкостям.</b></p> <p>Густина струму та спрямованість пучка. Трьохелектродні генератори пучків. Спеціальні типи генераторів пучків.</p> <p><b>Генератори з найменшим діаметром пучка, обумовленим просторовим зарядом</b></p> <p>Первеанс и кут виходу пучка. Інші фактори, які впливають на формування пучка. Хода пучка у заанодному просторі. Вплив самофокусування пучка. Генератори електронних пучків великої потужності.</p> <p><b>Література [1 §4.2]</b></p> <p><b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>
<p align="center"><b>Тема 2.3. Технічне виконання електронних гармат. Основні параметри та класифікація. Проведення пучків. Перетворення параметрів пучків</b></p>
<p><b>Лекція 8. Технічне виконання електронних гармат</b></p> <p>Основні параметри та класифікація. Прискорююча напруга та тиск. Принципи, функції та функціональні елементи. Енергетичний комплекс електронно-променевого зварювального устаткування. Промислові установки електронно-променевого зварювання.</p> <p><b>Проведення електронних пучків.</b></p> <p>Перетворення параметрів пучків. Магнітні лінзи. Двополюсні елементи. Багатопольові елементи. Вплив системи проведення пучка на його параметри у зоні дії пучка.</p> <p><b>Література [1 §6.1.1-6.1.2]</b></p> <p><b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>

Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
<b>Тема 2.4. Особливості технології електронно-променевого зварювання. Процес зварювання</b>
<p><b>Лекція 9. Особливості технології електронно-променевого зварювання.</b>          Процес зварювання. Утворення парового капіляра та шару розплаву. Кінцівка глибини проникнення електронів у тверду чи рідку речовину. Паровий капіляр та сили, які діють на елемент об'єму шару розплаву. Проведення процесу зварювання. Використання енергії. Параметри пучка та глибина проплавлення шву. Робочий тиск та проплавлення шву. Положення фокуса пучка та проплавлення шву. Осциляція пучка та проплавлення шву. Теплові діяння на міцевість зварного шву. Про керування процесом зварювання. Пошук шву. Положення фокуса.  <b>Література [1 §6.1.1-6.1.7]</b>  <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>
<b>РОЗДІЛ 3. Лазерне, комбіноване та гібридне зварювання</b>
<b>Тема 3.1. Методи лазерного зварювання та їх фізичні особливості</b>
<p><b>Лекція 10. Методи лазерного зварювання та їх фізичні особливості.</b>          Класифікація методів лазерного зварювання. Фізичні особливості утворення зварного з'єднання при зварюванні матеріалів малої товщини. Фізичні особливості утворення зварного з'єднання при зварюванні з глибоким проплавленням. Фізичні процеси при імпульсно-періодичному випромінюванні  <b>Література [1 §6.1.8-6.1.11]</b>  <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>
<b>Тема 3.2. Основні елементи обладнання для лазерного зварювання. Фокуруючі системи для лазерного зварювання</b>
<p><b>Лекція 11. Основні елементи обладнання для лазерного зварювання.</b>          Відхиляючі системи. Фокууюча система. Система спостереження. Оснащення. Методи вимірювання параметрів лазерного випромінювання. Лазерні гнучкі обробні системи.  <b>Фокууючі системи для лазерного зварювання.</b>          Фокууючі лінзи та дзеркала. Расходження та аберація лазерного випромінювання. Оптимізація параметрів фокууючих лінз. Розрахунок об'єктивів Кассегрена  <b>Література [1 §6.2.1-6.2.4]</b>  <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>
<b>Тема 3.3. Розробка технології лазерного зварювання. Основні параметри режимів</b>
<p><b>Лекція 12. Розробка технології лазерного зварювання.</b>          Основні параметри режимів. Лазерне зварювання матеріалів малих товщини. Параметри режимів зварювання. Енергія у імпульсі. Тривалість імпульсу. Діаметр сфокусованого променя. Розсфокусування випромінювання. Швидкість зварювання. Взаємозв'язок параметрів режиму зварювання з критеріями якості. Технологічні особливості імпульсного зварювання різних типів з'єднань.  <b>Література [1 §6.2.1-6.2.4]</b>  <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>

Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
<b>Тема 3.4. Лазерне зварювання металів з глибоким проплавленням</b>
<p><b>Лекція 13. Лазерне зварювання металів з глибоким проплавленням.</b>          Параметри фокусувальної системи. Погонна енергія і густина потужності. Вплив основних параметрів зварювання на критерії якості. Геометрія проплавлення. Діаметр сфокусованого променя та його положення відносно поверхні зварюваної деталі. Вплив конструкції фокусувальної системи на ефективність зварювання. Технологічна стійкість металу при зварюванні. Вплив допоміжних параметрів зварювання на критерії якості зварного з'єднання. Особливості проектування деталей для лазерного зварювання з глибоким проплавленням.</p> <p><b>Література [1 §6.2.1-6.2.4]</b>  <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>
<b>Тема 3.5. Застосування лазерного та гібридно-лазерного методів зварювання</b>
<p><b>Лекція 14. Застосування лазерного та гібридно-лазерного методів зварювання.</b>          Технологічні особливості лазерного зварювання. Поглинання лазерного випромінювання оброблюваною поверхнею. Термічні цикли лазерного зварювання. Процеси пороутворення при лазерному зварюванні. Гідродинамічна нестійкість ванни розплаву при високих швидкостях лазерного зварювання. Вимоги до геометрії складання зварних деталей. Вимоги до стабільності діаграми направленості лазерного випромінювання. Техніко-економічна ефективність лазерного зварювання. Лазерно-струминна обробка матеріалів. Способи введення лазерного променя в швидкоплинний потік рідини. Розрахунок температурних полів при дії лазерно-струминного потоку. Пристрій для фокусування лазерного випромінювання і його поєднання з струменем рідини</p> <p><b>Література [1 §6.2.1-6.2.4]</b>  <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>
<b>Тема 3.6. Лазерно-дугове зварювання. Основні енергетичні характеристики процесу лазерно-дугового зварювання</b>
<p><b>Лекція 15. Лазерно-дугове зварювання.</b> Основні енергетичні характеристики процесу лазерно-дугового зварювання. Електричні характеристики дуги при лазерно-дуговому зварюванні. Особливості формування геометрії шву при лазерно-дуговому зварюванні. Особливості технологічного процесу лазерно-дугового зварювання. Технологічна підготовка виробництва при лазерно-дуговому зварюванні. Техніко-економічна ефективність лазерно-дугового зварювання.</p> <p><b>Література [1 §6.2.1-6.2.4]</b>  <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання</p>
<b>Тема 3.7. Двохпроменеве лазерне зварювання. Технологічні особливості двухпроменевого лазерного зварювання</b>
<p><b>Лекція 16. Двопроменеве лазерне зварювання.</b> Технологічні особливості двухпроменевого лазерного зварювання. Зварювання двома паралельними променями. Зварювання двома послідовними променями лазера. Лазерне зварювання суперпозиційними променями. Якість лазерного випромінювання. Коефіцієнт якості променя. Діаметр сфокусованого променя. Сумарна потужність та якість випромінювання.</p>

Назва теми заняття та перелік основних питань (перелік дидактичного забезпечення, посилання на літературу та завдання на СРС)
<b>Література [1 §6.2.1-6.2.4]</b> <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання
<b>Тема 3.8. Гібридне та комбіноване лазерно-плазмове зварювання.</b> <b>Принципальні схеми гібридних та комбінованих лазерно-плазмових горілок</b>
<b>Лекція 17. Гібридне лазерно-індукційне зварювання.</b> Зменшення жорсткості зварного термічного циклу. Функціональна схема технічної реалізації способу лазерно-індукційного зварювання. Переваги лазерно-індукційного зварювання. <b>Гібридне лазерно-плазмове зварювання</b> Принципальні схеми дугових плазмових горілок гібридних та комбінованих лазерно-плазмових горілок. Переваги та недоліки плазмового зварювання. Комбінований лазерно-плазмовий процес зварювання. Зміна повного енергетичного балансу дугового розряду при сумісності з лазером. Інтегровані лазерно-дугові плазмотрони. Основні переваги лазерно-плазмового зварювання. <b>Література [1 §6.2.1-6.2.4]</b> <b>Завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання

## 5.2 Лабораторні заняття

Основні завдання циклу лабораторних 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.

Назва теми заняття	Кількість ауд. годин
<b>Лабораторна робота 1.</b> Класифікація та основні теплофізичні характеристики джерел енергії. Плазма, методи отримання, характеристики. Плазмотрони, схеми реалізації, конструкції. Визначення ефективної теплової потужності та ефективного коефіцієнту корисної дії дуги прямої та непрямої дії. <b>Література [2, с.9-18], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-11 [2, с.17]	2
<b>Лабораторна робота 2.</b> Плазмове зварювання. Загальна характеристика плазмового зварювального процесу. Визначення температури плазмового струменю. <b>Література [2, с.19-27], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.25,27]	2

Добавлено примечание ([ТЗ]): перевірте правильність розподілу кількості годин:

може бути 1 л.р. 2 год. або 4 год...і т.і, але сумарна кількість годин має відповідати НП

<b>Лабораторна робота 3.</b> Методи лазерного зварювання та їх фізичні особливості. Фокусуючі системи для лазерного зварювання. Фокусування лазерного випромінювання лінзовими та дзеркальними системами <b>Література [2, с.35-40], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.40]	2
<b>Лабораторна робота 4.</b> Комбіновані та гібридні способи зварювання. Особливості реалізації. Лазерно-дугове та лазерно-плазмове зварювання. Дослідження основних енергетичних характеристик процесу <b>Література [2, с.57-63], завдання на СРС:</b> дати відповіді на контрольні запитання 1-10 [2, с.62]	2
Захист звіту з лабораторних робіт	1

### 5.3 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 практичні роботи пов'язано з цією діяльністю фахівця.

Назва теми заняття	Кількість ауд. годин
<b>Практичне заняття 1.</b> Розрахунок плазмотронів прямої дії	2
<b>Практичне заняття 2.</b> Розрахунок плазмотронів побічної дії	2
<b>Практичне заняття 3.</b> Розрахунок електростатичної / електромагнітної фокусуючих систем комплексу зварювання електронним променем	2
<b>Практичне заняття 4.</b> Розрахунок лінзової фокусуючої системи лазерного комплексу.	2
<b>Практичне заняття 5.</b> Розрахунок дзеркальної фокусуючої системи лазерного комплексу.	2
<b>Практичне заняття 6 - 7</b> Розрахунок режимів комбінованого та гібридного способів лазерно-дугового та лазерно-плазмового зварювання.	4
<b>Практичне заняття 8.</b> Розрахунок режимів комбінованого та гібридного способів лазерно-індукційного зварювання.	2
Захист звіту з практичних робіт	2

## 6. Самостійна робота студента

Самостійна робота (57 год) студента полягає у підготовці до лекційних (8 год.), практичних занять (18), лабораторних занять (9 год.) шляхом опрацювання рекомендованої літератури і підготовці відповідей на контрольні запитання для лекцій і лабораторних занять, підготовці до модульних контрольних робіт (2), виконанні РГР (8), а також у підготовці до заліку (12 год.).

Добавлено примечание ([Т4]): розпішіть скільки СРС куди виділяєте, див. файл з рекомендаціями «ЗАУВАЖЕННЯ І ПОРАДИ»

Добавлено примечание ([Т5]): не забудьте про підготовку до заліку, РГР, МКР, ДКР

№ з/п	Назви тем і питань, що виносяться на самостійне опрацювання та посилання на навчальну літературу
1	Тема 1.1. Фізична сутність зварювання Електрична зварювальна дуга. Загальні положення Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
2	Тема 1.2. Фізичні процеси у катодній області дуги, у стовбурі дуги. Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
3	Тема 1.3. Статичні характеристики окремих областей дуги. Магнітогідродинамічні явища у зварювальній дузі Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
4	Тема 1.4. Нагрів та плавлення присадкового металу. Теплова ефективність процесу проплавлення Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
5	Тема 1.5. Плазмове зварювання. Повітряно-плазмове різання. Загальна характеристика плазмового зварювального процесу Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
6	Тема 2.1. Загальна характеристика електронно-променевої технології зварювання. Електронні гармати. Основні поняття та границі їх застосування Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
7	Тема 2.2. Генератори з найменшим діаметром пучка, що обумовлено розподілом електронів по тепловим швидкостям та просторовим зарядом Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
8	Тема 2.3. Технічне виконання електронних гармат. Основні параметри та класифікація. Проведення пучків. Перетворення параметрів пучків Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
9	Тема 2.4. Особливості технології електронно-променевого зварювання. Процес зварювання Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
10	Тема 3.1. Методи лазерного зварювання та їх фізичні особливості Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
11	Тема 3.2. Основні елементи обладнання для лазерного зварювання. Фокусуючі системи для лазерного зварювання Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
12	Тема 3.3. Розробка технології лазерного зварювання. Основні параметри режимів Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
13	Тема 3.4. Лазерне зварювання металів з глибоким проплавленням Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
14	Тема 3.5. Застосування лазерного та гібридно-лазерного методів зварювання Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]
15	Тема 3.6. Лазерно-дугове зварювання. Основні енергетичні характеристики процесу лазерно-дугового зварювання Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]

16	<i>Тема 3.7. Двохпроменеве лазерне зварювання. Технологічні особливості двохпроменевого лазерного зварювання Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]</i>
17	<i>Тема 3.8. Гібридне та комбіноване лазерно-плазмове зварювання. Принципіальні схеми гібридних та комбінованих лазерно-плазмових горілок Література: [Б.1, Б.6, Д.2, Д3]</i>

## **7. Політика навчальної дисципліни (освітнього компонента)**

### **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.

**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.

## **8. 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 PCO освітнього компоненту.

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

##### **(основа):**

#### **1. Практичні роботи.**

Ваговий бал – 4.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за розрахунок і захист всіх практичних розрахунків (9 занять):  $4 \times 9 = 36$  балів.

Виконання практичного розрахунку оцінюється в 3 бали, який нараховується за роботу студента.

Захист практичного розрахунку оцінюється в 1 бал, який нараховується за правильні відповіді на два питання вартістю в 0,5 бала кожне, поставлені під час захисту розрахунку студентом.

#### **2. Лабораторні роботи.**

Ваговий бал – 6.

Максимальна кількість балів, які можна отримати за відпрацювання і захист всіх лабораторних робіт (5 занять):  $5 \times 6 = 30$  балів.

Виконання лабораторної роботи оцінюється в 4 бали, який нараховується за роботу студента з вимірювальними приладами.

Захист лабораторної роботи оцінюється в 2 бали, які нараховуються за правильну відповідь на два питання вартістю в 1 бал, поставлене під час захисту роботи студентом.

#### **3. Виконання модульна контрольна робота МКР (до 5 балів):**

- повна, змістовна та аргументована відповідь – **5 бали** (одна МКР) тобто  $2 \times 5$  (для двох атестацій);
- відповідь з не суттєвими помилками – **3 бал** (одна МКР) або  $2 \times 3$  (дві атестації);
- неправильна відповідь – **0 балів**

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

- творчо виконана робота – **24 балів**;
- роботу виконано з незначними недоліками – **15-20 балів**;
- роботу виконано з певними помилками – **10-14 балів**;
- роботу не зараховано (завдання не виконане або є грубі помилки) – **0 балів**.

**Підрахунок максимальної кількості балів за контрольні заходи, які формують рейтинг, наведений у таблиці:**

Складові стартового рейтингу	Кількість занять	Вагові бали за контрольні заходи	Сума вагових балів за контрольні заходи
------------------------------	------------------	----------------------------------	---



$R_c$	у семестрі		
Модульна контрольна робота	2	5	10
Розрахунково-графічна робота		24	24
Відпрацювання навичок на лабораторних заняттях	5	6	30
Відпрацювання навичок на практичних заняттях	9	4	36
<b>РАЗОМ:</b>			100

Штрафні та заохочувальні бали:

1. Штрафні бали нараховуються за порушення термінів виконання певного виду робіт: **Штрафні бали не нараховуються на період дії воєнного стану.**
2. 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 «до 10%».

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

Для отримання «зараховано» з першої проміжної атестації (8 тиждень) студент повинен

- виконати практичні розрахунки (за відповідний період,  $\geq 14$  балів )
- відпрацювати та захистити лабораторні роботи (за відповідний період,  $\geq 16$  балів)
- виконати першу модульну-контрольну роботу ( $\geq 5$  балів)

Для отримання «зараховано» з другої проміжної атестації (12 тиждень) студент повинен

- виконати практичні розрахунки (за відповідний період,  $\geq 25$  балів )
- відпрацювати та захистити лабораторні роботи (за відповідний період,  $\geq 25$  балів)
- виконати першу модульну-контрольну роботу ( $\geq 5$  балів)

**Умови допуску до заліку**

1. Виконати РГР
2. Виконати дві МКР
3. Розрахувати й захистити усі практичні завдання.
4. Відпрацьовані та захищені усі лабораторні роботи.
5. Стартовий рейтинг  $R_c \geq 30$

Здобувачі, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку 60 і більше балів, отримують відповідну до набраного рейтингу оцінку без додаткових випробувань - залік «автоматом»

Зі здобувачами, які виконали всі умови допуску до заліку та мають рейтингову оцінку менше 60 балів, а також з тими здобувачами, хто бажає підвищити свою рейтингову оцінку, на останньому за розкладом занятті з дисципліни в семестрі викладач проводить семестровий контроль у вигляді залікової контрольної роботи або співбесіди.

**Якщо студент/ка хоче вищу оцінку або не згоден/а з набраними балами – пише залікову контрольну з обнуленням набраних балів**

Після виконання залікової контрольної роботи, якщо оцінка за залікову контрольну роботу більша ніж за рейтингом, здобувач отримує оцінку за результатами залікової контрольної роботи

**Критерії залікового оцінювання або оцінювання залікової контрольної роботи:**

Білет на залікову контрольну роботу складається з 4 питань.  
Правильна відповідь на кожне питання оцінюється в 25 балів

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

$$R_E = (R_1 + R_2 + R_3 + R_4) = (25 + 25 + 25 + 25) = 100,$$

де  $R_1$  - бали за відповідь на перше теоретичне питання,  $R_2$  - бали за відповідь на друге теоретичне питання,  $R_3$  - бали за відповідь на третє теоретичне питання,  $R_4$  - бали за відповідь на четверте теоретичне питання

**Максимальна кількість балів, які можна отримати за написання залікової контрольної роботи - 100 б.**

Шкала оцінювання теоретичних питань
$R_1(R_2, R_3, R_4) = 0$ - відповідь відсутня
$R_1(R_2, R_3, R_4) = 4-8$ - відсутні логічні кроки, є фрагменти необхідних формул, формулювання
$R_1(R_2, R_3, R_4) = 8-10$ - наведено декілька логічних кроків, деякі формули, формулювання
$R_1(R_2, R_3, R_4) = 10-15$ - неповна відповідь
$R_1(R_2, R_3, R_4) = 16-24$ - відповідь вірна і повна, але містить 1-2 неточності
$R_1(R_2, R_3, R_4) = 25$ - відповідь вірна і повна

**Залік 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, використовуючі платформу ZOOM.**

В режимі відеозв'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 якийсь сторонні інформаційні засоби.

**Відповідність рейтингових балів оцінкам за університетською шкалою**

Рейтингова оцінка здобувача	Університетська шкала оцінок рівня здобутих компетентностей
95...100	відмінно
85...94	дуже добре
75...84	добре
65...74	задовільно
60...64	достатньо
< 60	незадовільно
Невиконання умов допуску до семестрового контролю	не допущений

#### **9. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

Питання для самопідготовки до складання заліку: Додаток А

Перелік питань для підготовки до модульних контрольних робіт: Додаток Б

Приклад завдання на розрахунково-графічну роботу: Додаток В

#### **10. Додаткова інформація з дисципліни (освітнього компонента)**

Питання для самопідготовки до складання заліку:

**Робочу програму навчальної дисципліни (силабус):**

**Складено** к.т.н., доцентом, Блощициним Михайлом Сергійовичем

**Ухвалено** кафедрою лазерної техніки та фізико-технічних технологій (протокол №5 від 17.11.2023)

**Погоджено** Методичною комісією інституту НН ІМЗ ім. Є.О. Патона<sup>1</sup> (протокол № 05/23 від 11.12.2023)

<sup>1</sup> Методичною радою університету – для загальноуніверситетських дисциплін.

**Перелік питань, що виносяться на залік  
«Променеві засоби зварювання»**

1. Фізична сутність зварювання. Поверхневий натяг.
2. Фізична сутність зварювання. Енергетичний бар'єр. Труднощі з'єднання твердих тіл.
3. Фізична сутність зварювання. Три основні фізичні прикмети класифікації зварювання.
4. Джерела зварювального нагрівання. Температури ( $T_m$ ), які необхідні для виконання зварювальних з'єднань.
5. Джерела зварювального нагрівання. Перетворення різних видів енергії у теплову. Типові значення коефіцієнта корисної дії та питомі енерговитрати при зварюванні.
6. Електрична зварювальна дуга. Відмінності дугового розряду від інших видів електричних розрядів.
7. Електрична зварювальна дуга. Залежність величини падіння напруги між електродами від величини струму у електричному колі дуги.
8. Електрична зварювальна дуга. Стан електричної зварювальної дуги. Різновиди дуги. Розподіл падіння напруги в дузі.
9. Електрична зварювальна дуга. Форми та ділянки вольт-амперних характеристик дуги. Види дуг. Енергетична ємність різних областей дуги.
10. Фізичні процеси у катодній області дуги. Про об'ємний позитивний заряд катодної області. Катодна емісія.
11. Фізичні процеси у катодній області дуги. Термоелектронна емісія (рівняння Річардсона-Дешмана). Ефект Шотки.
12. Фізичні процеси у катодній області дуги. Автоелектронна (електростатична) емісія
13. Фізичні процеси у катодній області дуги. Фотоемісія. (закон Ейнштейна).
14. Фізичні процеси у катодній області дуги. Вторинна електронна емісія.
15. Фізичні процеси у стовбурі дуги. Головний процес, який збігає у стовбурі дуги і впливає на її властивості.
16. Фізичні процеси у стовбурі дуги. Робота іонізації. Види іонізації. Іонізація зіткненням. Фотоіонізація. Термічна іонізація.
17. Фізичні процеси у стовбурі дуги. Поняття про ступінь іонізації. Рівняння Саха. Метод приблизних розрахунків ступеня іонізації розігрітої плазми. Іонізація суміші газу.
18. Фізичні процеси у стовбурі дуги. Ефективний потенціал іонізації. Перенесення струму у стовбурі дуги. Дрейф заряджених часток в дузі.
19. Статичні характеристики окремих областей дуги. Вольт-амперна характеристика стовпа дуги.
20. Статичні характеристики окремих областей дуги. Температура стовпа дуги. Спрощена форма запису вольт-амперної характеристики дуги.
21. Статичні характеристики окремих областей дуги. Радіус стовпа дуги. Вольт-амперна характеристик катодної області.
22. Статичні характеристики окремих областей дуги. Загальна вольт-амперна характеристика вільної дуги.
23. Статичні характеристики окремих областей дуги. Стиснена дуга. Принципи і способи отримання стиснутої дуги. Вольт – амперна характеристика стисненої дуги. Температура стовпа стисненої дуги.
24. Статичні характеристики окремих областей дуги. Баланс енергії в областях зварювальної дуги.
25. Магнітогідродинамічні явища у зварювальній дузі. Центрострімливий сили і пінч ефект.
26. Магнітогідродинамічні явища у зварювальній дузі. Взаємодія магнітного поля дуги і зварювального контуру. Вплив на дугу зовнішнього магнітного поля.
27. Магнітогідродинамічні явища у зварювальній дузі. Перенесення електродного металу у дузі. Види переносу. Про силу діючу на краплю розплаву металу. Приклади рівноваги сил, діючих на краплю.

28. Магнітогідродинамічні явища у зварювальній дузі. Особливості переносу електродного металу при різних способах зварювання.
29. Магнітогідродинамічні явища у зварювальній дузі. Методи керування переносом електродного металу при вільній дузі, стиснутій дузі та універсальний метод.
30. Нагрів та плавлення присадкового металу. Стрижень граничної довжини з фіксованим струмовідводом. Проплавлення основного металу зварювальною дугою.
31. Нагрів та плавлення присадкового металу. Параметри проплавлення при наплавленні на малому струмі. Параметри проплавлення при зварюванні плавленням за один прохід на малому струмі.
32. Нагрів та плавлення присадкового металу. Параметри проплавлення при потужних режимах наплавлення. Параметри проплавлення при зварюванні пластин за один прохід на великому струмі.
33. Теплова ефективність процесу проплавлення. Теплова ефективність процесу проплавлення при наплавленні великим струмом на масивне тіло.
34. Теплова ефективність процесу проплавлення. Теплова ефективність процесу проплавлення при зварюванні пластин на великому струмі за один прохід.
35. Теплова ефективність процесу проплавлення. Об'єм та середня температура зварювальної ванни. Теплоємність.
36. Плазмове зварювання. Загальна характеристика плазмового зварювального процесу. Плазмотрони та особливості їх живлення.
37. Плазмове зварювання. Формування шву при плазмовому зварюванні. Різновиди плазмового зварювання.
38. Плазмове зварювання. Апаратура для плазмового зварювання та розкрою. Режими плазмового зварювання та розкрою різних матеріалів.
39. Плазмове зварювання. Мікро плазмове зварювання. Типи зварних з'єднань при мікро плазмовому зварюванні. Приклади застосування плазмових процесів.
40. Повітряно-плазмове різання. Загальна характеристика. Тепло-електрофізичні особливості процесу. Повітря, як плазмоутворюючий, ріжучий газ.
41. Повітряно-плазмове різання. Конфігурація формуючої системи катодно-соплової камери та завихрювача. Передача тепла плазмовою дугою в метал, що ріжеться.
42. Повітряно-плазмове різання. Електричні параметри системи – джерело струму-дуга
43. Повітряно-плазмове різання. Статична та динамічна стійкість горіння дуги. Просторова стійкість дуги. Технологічна стійкість системи джерело-дуга.
44. Повітряно-плазмове різання. Схемні та конструктивні принципи будовання плазмотронів та джерел живлення ППР. Технологічні можливості ППР.
45. Загальна характеристика електронно-променевої технології зварювання. Розвиток електронно-променевих технологій зварювання. Електронні пучки у технологічних процесах.
46. Загальна характеристика електронно-променевої технології зварювання. Перетворення енергії у зоні дії пучка. Основні явища. Рентгенівське випромінювання та його екранування.
47. Загальна характеристика електронно-променевої технології зварювання. Емісія теплових та вторинних електронів. Відбиття електронів. Глибина проникнення електронів.
48. Електронні гармати. Основні поняття та границі їх застосування. Емісія електронів. Отримання вільних електронів.
49. Електронні гармати. Катоди електронних гармат. Виконання катодів. Нагрів катодів. Термін служби катодів.
50. Електронні гармати. Генерація пучків. Основні відомості про генератори електронних пучків.
51. Електронні гармати. Основні параметри генераторів. Управління струмом пучка. Принципіальні схеми генераторів. Кросовер, найменший діаметр пучка та фокусна пляма.
52. Генератори з найменшим діаметром пучка, що обумовлено розподілом електронів по тепловим швидкостям. Густина струму та спрямованість пучка.

53. Трьохелектродні генератори пучків. Спеціальні типи генераторів пучків.
54. Генератори з найменшим діаметром пучка, обумовленим просторовим зарядом. Первеанс и кут виходу пучка. Інші фактори, які впливають на формування пучка.
55. Генератори з найменшим діаметром пучка, обумовленим просторовим зарядом. Хід пучка у заанодному просторі. Вплив самофокусування пучка.
56. Генератори електронних пучків великої потужності.
57. Технічне виконання електронних гармат. Основні параметри та класифікація.
58. Технічне виконання електронних гармат. Прискорююча напруга та тиск. Принципи, функції та функціональні елементи.
59. Технічне виконання електронних гармат. Енергетичний комплекс електронно-променевого зварювального устаткування. Промислові установки електронно-променевого зварювання.
60. Проведення пучків. Перетворення параметрів пучків. Магнітні лінзи. Двохполюсні елементи. Багатополюсні елементи. Вплив системи проведення пучка на його параметри у зоні дії пучка.
61. Особливості технології електронно-променевого зварювання. Процес зварювання. Утворення парового капіляра та шару розплаву.
62. Особливості технології електронно-променевого зварювання. Кінцівка глибини проникнення електронів у тверду чи рідку речовину.
63. Особливості технології електронно-променевого зварювання. Паровий капіляр та сили, які діють на елемент об'єму шару розплаву. Проведення процесу зварювання.
64. Особливості технології електронно-променевого зварювання. Параметри пучка та глибина проплавлення шву. Робочий тиск та проплавлення шву.
65. Особливості технології електронно-променевого зварювання. Положення фокуса пучка та проплавлення шву. Осциляція пучка та проплавлення шву.
66. Особливості технології електронно-променевого зварювання. Теплові діяння на місцевість зварного шву. Про керування процесом зварювання. Пошук шву. Положення фокуса.
67. Методи лазерного зварювання та їх фізичні особливості. Класифікація методів лазерного зварювання.
68. Методи лазерного зварювання та їх фізичні особливості. Фізичні особливості утворення зварного з'єднання при зварюванні матеріалів малої товщини.
69. Методи лазерного зварювання та їх фізичні особливості. Фізичні особливості утворення зварного з'єднання при зварюванні з глибоким проплавленням.
70. Методи лазерного зварювання та їх фізичні особливості. Фізичні процеси при імпульсно-періодичному випромінюванні.
71. Основні елементи обладнання для лазерного зварювання. Відхиляючі системи. Фокусуєча система.
72. Основні елементи обладнання для лазерного зварювання. Методи вимірювання параметрів лазерного випромінювання.
73. Фокусуєчі системи для лазерного зварювання. Фокусуєчі лінзи та дзеркала.
74. Розходження та аберація лазерного випромінювання. Оптимізація параметрів фокусуєчих лінз.
75. Розрахунок об'єктивів Кассегрена.
76. Розробка технології лазерного зварювання. Основні параметри режимів. Лазерне зварювання матеріалів малої товщини.
77. Розробка технології лазерного зварювання. Основні параметри режимів зварювання. Енергія у імпульсі. Тривалість імпульсу. Діаметр сфокусованого променя.
78. Розробка технології лазерного зварювання. Основні параметри режимів. Розсфокусування випромінювання. Швидкість зварювання.
79. Взаємозв'язок параметрів режиму зварювання з критеріями якості. Технологічні особливості імпульсного зварювання різних типів з'єднань.
80. Лазерне зварювання металів з глибоким проплавленням. Параметри фокусуєчої системи. Погонна енергія и густина потужності.

81. Лазерне зварювання металів з глибоким проплавленням. Вплив основних параметрів зварювання на критерії якості. Геометрія проплавлення.
82. Лазерне зварювання металів з глибоким проплавленням. Діаметр сфокусованого променя та його положення відносно поверхні зварюваної деталі. Вплив конструкції фокусувальної системи на ефективність зварювання.
83. Вплив допоміжних параметрів зварювання на критерії якості зварного з'єднання. Особливості проектування деталей для лазерного зварювання з глибоким проплавленням.
84. Застосування лазерного та гібридно-лазерного методів зварювання. Технологічні особливості лазерного зварювання. Поглинання лазерного випромінювання оброблюваною поверхнею.
85. Застосування лазерного та гібридно-лазерного методів зварювання. Термічні цикли лазерного зварювання. Процеси пороутворення при лазерному зварюванні.
86. Лазерно-дугове зварювання. Основні енергетичні характеристики процесу лазерно-дугового зварювання. Електричні характеристики дуги при лазерно-дуговому зварюванні.
87. Двохпроменеве лазерне зварювання. Технологічні особливості двохпроменевого лазерного зварювання. Зварювання двома паралельними променями. Зварювання двома послідовними променями лазера.
88. Гібридне лазерно-світлопроменеве зварювання. Термічні цикли при світлопроменевому зварюванні. Технологічні особливості світлопроменевого зварювання. Области використання метода світлопроменевого зварювання.
89. Гібридне лазерно-індукційне зварювання. Функціональна схема технічної реалізації способу лазерно-індукційного зварювання. Переваги лазерно-індукційного зварювання.

**Перелік тем, що виносяться на модульні контрольні роботи  
«Променеві засоби зварювання»**

**МКР №1**

**Плазмові технології зварювання**

*Тема 1.1. Фізична сутність зварювання. Електрична зварювальна дуга.*

*Тема 1.2. Фізичні процеси у катодній області дуги. Фізичні процеси у стовбурі дуги*

*Тема 1.3. Статичні характеристики окремих областей дуги. Магнітогідродинамічні явища у зварювальній дузі*

*Тема 1.4. Нагрів та плавлення присадкового металу. Теплова ефективність процесу проплавлення*

*Тема 1.5. Плазмове зварювання. Загальна характеристика плазмового зварювального процесу. Повітряно-плазмове різання. Загальна характеристика*

**МКР №2**

**Електронно-променеве зварювання**

*Тема 2.1. Загальна характеристика електронно-променевої технології зварювання. Електронні гармати. Основні поняття та границі їх застосування*

*Тема 2.2. Генератори з найменшим діаметром пучка*

*Тема 2.3. Технічне виконання електронних гармат. Основні параметри та класифікація Проведення пучків. Перетворення параметрів пучків*

*Тема 2.4. Особливості технології електронно-променевого зварювання. Процес зварювання*

**Лазерне, комбіноване та гібридне зварювання**

*Тема 3.1. Методи лазерного зварювання та їх фізичні особливості*

*Тема 3.2. Основні елементи обладнання для лазерного зварювання. Фокусуючі системи для лазерного зварювання*

*Тема 3.3. Розробка технології лазерного зварювання. Основні параметри режимів*

*Тема 3.4. Лазерне зварювання металів з глибоким проплавленням*



Перелік завдань на  
Розрахунково-графічну роботу

«Розрахунок плазмотрону побічної дії»

Вихідні данні:

1. Плазмотрон побічної дії
2. Робочий газ (таблиця 1) – по варіанту
3. Початкова температура робочого газу на вході (таблиця )  $T_1$  – по варіанту
4. Кінцева температура робочого газу на виході (таблиця )  $T_2$  – по варіанту
5. Витрати робочого газу (таблиця 2) – по варіанту
6. Тиск робочого газу на виході з плазмотрону (таблиця 3)
7. Необхідний ресурс роботи (таблиця 6)

Форма катоду – стрижень.

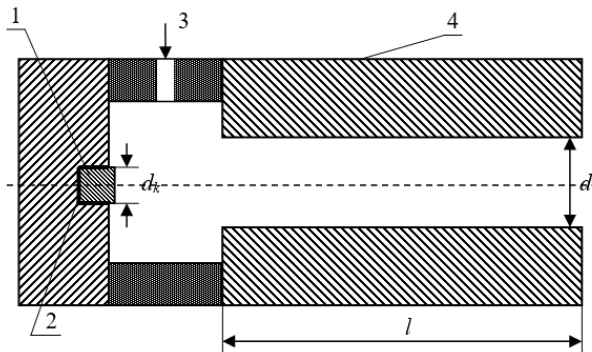
Форма аноду – циліндричний гладкий.

Стабілізація дуги – газовихрова.

Необхідно визначити наступні параметри:

- робочі значення напруги  $U$  та струму  $I$ ,
- тепловий коефіцієнт корисної дії  $\eta$ ,
- геометричні розміри електродугової камери ( $l, d$ ) та катоду, що забезпечать достатньо високий ресурс роботи системи.

Схема плазмотрону, що розраховується представлена на рисунку 1.



Рисунку 1. Схема плазмотрону: 1- катод, 2 - катодотримач, 3 - система подачі робочого газу, 4 - анод.

### «Розрахунок плазмотрону прямої дії»

#### Вихідні данні:

1. Плазмотрону прямої дії
2. Робочий газ (таблиця 1) – по завданню,
3. Початкова температура робочого газу на вході (таблиця 4)  $T_1$ , - по варіанту
4. Кінцева температура робочого газу на виході (таблиця 5)  $T_2$ , - по варіанту
5. Витрати робочого газу (таблиця 2) – по варіанту
6. Тиск робочого газу на виході з плазмотрону (таблиця 3)
7. Необхідний ресурс роботи (таблиця 6)

Форма катоду – стрижень.

Форма аноду – циліндричний гладкий.

Стабілізація дуги – газовихрова.

#### Необхідно визначити наступні параметри:

- робочі значення напруги  $U$  та струму  $I$ ,
- тепловий коефіцієнт корисної дії  $\eta$ ,
- геометричні розміри електродугової камери ( $l, d$ ) та катоду, що забезпечать достатньо високий ресурс роботи системи.

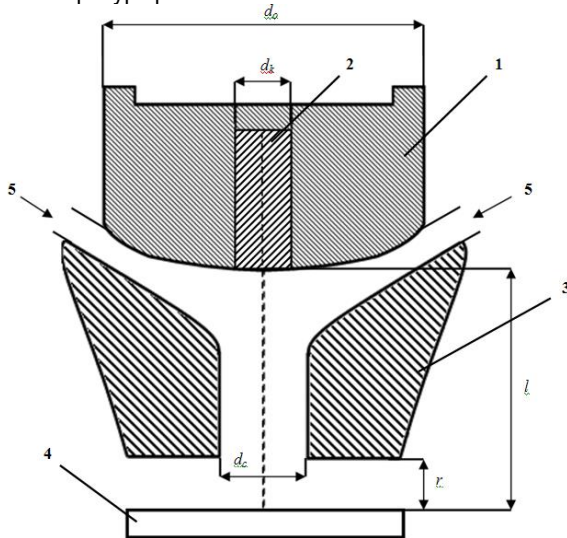


Рисунок 2. Схема плазмотрону прямої дії:

1 – мідний катодотримач; 2 – цирконієва катодна вставка; 3 – сопло; 4 – деталь (анод), що оброблюється; 5 – подача газу.

Таблиця 1. Варіанти завдання Л1

Робочий газ	Вид катода	Вид стабілізації
Повітря, Аргон, Азот	катод – термохімічний, з цирконієвою вставкою	газовихрева

Таблиця 2. Витрати газу 10<sup>-3</sup>

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	1	2	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	4	5	6	7	8	9	10	3
2	2	5	3	7	4	5	6	7	8	11
3	3	7	4	8	5	6	7	8	9	13
4	4	8	5	9	4	5	6	7	8	23

Таблиця 3. Тиск робочого газу на виході з плазмотрону x10<sup>5</sup> Па

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	1	1	2	4	5	6	7	8	9	10
1	1	2	4	5	6	7	8	9	10	3
2	2	5	3	7	4	5	6	7	8	11
3	2	6	3	8	6	5	5	3	3	2
4	8	10	7	9	5	6	4	4	4	1

Таблиця 4. Початкова температура газу, °С

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	20	30	40	50	60	70	80	90	100	120
1	120	20	30	40	50	60	70	80	90	100
2	100	120	20	30	40	50	60	70	80	90
3	90	100	120	20	30	40	50	60	70	80
4	80	90	100	120	20	30	40	50	60	70

Таблиця 5. Кінцева температура газу, x100 °С

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	10	20	40	60	80	5	20	40	60	80
1	40	60	80	5	20	40	60	80	5	20
2	30	50	70	40	60	80	40	40	60	80
3	10	30	90	50	40	100	40	90	30	30
4	20	40	50	40	20	70	50	50	70	50

Таблиця 6. Необхідний ресурс роботи плазмотрону, не менше, годин

Варіант	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
0	30	100	200	300	400	100	200	300	400	800
1	1000	200	3000	4000	1000	2000	3000	4000	8000	200
2	50	150	200	100	200	300	400	800	300	400
3	400	300	600	300	200	800	500	400	350	250
4	600	200	300	2000	500	400	600	400	260	50