

Міністерство освіти і науки України  
Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського  
«Харківський авіаційний інститут»

**ЗАТВЕРДЖУЮ**  
Проректор з наукової роботи  
В. В. Павліков  
(підпис) (ініціали та прізвище)  
«\_\_\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2020 р.

Відділ аспірантури і докторантури

**РОБОЧА ПРОГРАМА ВИБІРКОВОЇ  
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

**УСТАНОВКИ ДЛЯ ЕЛЕКТРОФІЗИЧНОЇ ОБРОБКИ,  
ЇХ НАДІЙНІСТЬ, ЕФЕКТИВНІСТЬ ТА ПРОДУКТИВНІСТЬ**  
(назва навчальної дисципліни)

Галузі знань: \_\_\_\_\_ 13 «Механічна інженерія» \_\_\_\_\_

Спеціальність \_\_\_\_\_ 132 «Матеріалознавство» \_\_\_\_\_

Освітньо-наукова програма: «Матеріалознавство»

**Форма навчання: денна**

**Рівень вищої освіти: третій (освітньо-науковий)**

**Харків 2020 рік**

**РОБОЧА ПРОГРАМА  
ВИБІРКОВОЇ НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

«Устаткування для електрофізичної обробки, їх надійність та продуктивність»  
(назва дисципліни)

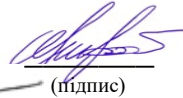
для здобувачів за спеціальністю 132 «Матеріалознавство»

освітньо-науковою програмою «Матеріалознавство»

« 20 » 06 2020 р., – 17 с.

Розробник: доцент каф. 202, к.т.н., доцент

(посада, науковий ступінь та вчене звання)



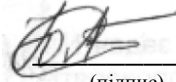
(підпис)

Широкий Ю.В.

(прізвище та ініціали)

Гарант ОНП професор, д.т.н., с.н.с.

(посада, науковий ступінь та вчене звання)



(підпис)

Сисоєв Ю.О.

(прізвище та ініціали)

Протокол № 10 від « 25 » 06 2020 р. засідання кафедри № 202

Завідувач кафедри д.т.н., професор

(посада, науковий ступінь та вчене звання)



(підпис)

О.О. Баранов

(прізвище та ініціали)

ПОГОДЖЕНО:

Завідувач відділу

аспірантури і докторантури

(наукова ступінь та вчене звання)



(підпис)

(ініціали та прізвище)

В. Б. Селевко

Голова наукового товариства

студентів, аспірантів,

докторантів і молодих вчених

(наукова ступінь та вчене звання)



(підпис)

(ініціали та прізвище)

Т. П. Старовойт

## 1. Опис навчальної дисципліни

| Найменування показників   | Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти   | Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання) |
|---|--|---|
| Кількість кредитів – 7  | <b>Галузь знань</b><br><b><u>13 «Механічна інженерія»</u></b><br><small>(шифр та найменування)</small><br><br><b>Спеціальність</b><br><b><u>132 «Матеріалознавство»</u></b><br><small>(код та найменування)</small><br><br><b>Освітньо-наукова програма</b><br><b><u>«Матеріалознавство»</u></b><br><small>(найменування)</small><br><br><b>Рівень вищої освіти:</b><br>третій (освітньо-науковий) | Вибіркова   |
| Кількість модулів – 1   |  | <b>Навчальний рік</b>                                       |
| Кількість змістовних модулів – 2  |  | 2020/2021   |
| Індивідуальне завдання<br><small>(назва)</small>  |  | <b>Семестр</b>  |
| Загальна кількість годин – 210  |  | 2-й   |
| Кількість тижневих годин для денної форми навчання:<br>аудиторних – 5<br>самостійної роботи аспіранта – 9 |  | <b>Лекції <sup>1)</sup></b>                                 |
|   |  | 48 годин  |
|   |  | <b>Практичні, семінарські<sup>1)</sup></b>                  |
|   |  | 32  |
|   | <b>Лабораторні <sup>1)</sup></b>   |   |
|   | -  |   |
| <b>Самостійна робота</b>  | 130 годин  |   |
| <b>Вид контролю</b>   | модульний контроль іспит   |   |

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить: 80/130.

<sup>1)</sup> Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину в залежності від розкладу занять.

## **2. Мета та завдання навчальної дисципліни**

### **Мета вивчення є:**

надання фундаментальних теоретичних знань та формування практичних навичок з питань створення і використання сучасних установок для електрофізичної обробки матеріалів.

### **Завдання:**

здобуття теоретичних та практичних знань щодо будови і принципів роботи сучасних установок для електрофізичної обробки матеріалів, їх використання у промислових підприємствах.

Згідно з вимогами освітньо-наукової програми процес вивчення дисципліни спрямований на формування таких професійних компетенцій:

### **Загальними:**

ЗК01. Здатність до абстрактного мислення, аналізу та синтезу

ЗК02. Здатність до пошуку, оброблення та аналізу інформації з різних джерел.

ЗК04. Здатність розробляти проекти та управляти ними.

### **Фаховими:**

СК01. Здатність виконувати оригінальні дослідження, досягати наукових результатів, які створюють нові знання у галузі матеріалознавства та дотичних до нього міждисциплінарних напрямках і можуть бути опубліковані у провідних наукових виданнях з матеріалознавства та суміжних галузей.

СК02. Здатність усно і письмово презентувати та обговорювати результати наукових досліджень та/або інноваційних розробок українською та іноземною мовами, глибоке розуміння іншомовних наукових текстів за напрямом досліджень.

СК05. Здатність виявляти, ставити та вирішувати проблеми дослідницького характеру, обґрунтовано здійснювати вибір технологій виготовлення, оброблення, випробування матеріалів і виробів для конкретних умов експлуатації, оцінювати та забезпечувати якість виконуваних досліджень.

СК06. Здатність ініціювати, розробляти і реалізовувати комплексні інноваційні проекти в сфері матеріалознавства та дотичні до нього міждисциплінарні проекти, з метою їх представлення на міжнародних конференціях, симпозіумах.

СК07. Здатність дотримуватись етики досліджень, а також правил академічної доброчесності в наукових дослідженнях та науково-педагогічній діяльності.

СК09. Здатність до продукування нових ідей і розв'язання комплексних проблем наукового пізнання, а також до застосування сучасних методологій, методів та інструментів педагогічної та наукової діяльності в матеріалознавстві та інших технічних науках.

### **Програмні результати навчання:**

ПРН01. Мати передові концептуальні та методологічні знання з матеріалознавства і на межі предметних галузей, а також дослідницькі навички, достатні для проведення наукових і прикладних досліджень на рівні останніх

світових досягнень з відповідної галузі, отримання нових знань та/або здійснення інновацій.

ПРН02. Вільно презентувати та обговорювати з фахівцями і нефахівцями результати досліджень, наукові та прикладні проблеми матеріалознавства державною та іноземною мовами, кваліфіковано відображати результати досліджень у наукових публікаціях у провідних міжнародних наукових виданнях.

ПРН03. Формулювати і перевіряти гіпотези; використовувати для обґрунтування висновків належні докази, зокрема, результати теоретичного аналізу, експериментальних досліджень і математичного та/або комп'ютерного моделювання, наявні літературні дані.

ПРН04. Розробляти та досліджувати концептуальні, математичні і комп'ютерні моделі процесів і систем, ефективно використовувати їх для отримання нових знань та/або створення інноваційних продуктів у матеріалознавстві та дотичних міждисциплінарних напрямках.

ПРН05. Планувати і виконувати експериментальні та/або теоретичні дослідження з матеріалознавства та дотичних міждисциплінарних напрямків з використанням сучасних інструментів, критично аналізувати результати власних досліджень і результати інших дослідників у контексті усього комплексу сучасних знань щодо досліджуваної проблеми.

ПРН07. Розробляти та реалізовувати наукові та/або інноваційні інженерні проекти, які дають можливість переосмислити наявне та створити нове цілісне знання та/або професійну практику і розв'язувати значущі наукові та технологічні проблеми матеріалознавства з дотриманням норм академічної етики і врахуванням соціальних, економічних, екологічних та правових аспектів.

ПРН08. Розуміти загальні принципи та методи технічних наук, а також методологію наукових досліджень, застосувати їх у власних дослідженнях у сфері матеріалознавства та у викладацькій практиці.

ПРН09. Вивчати, узагальнювати та впроваджувати в навчальний процес інновації матеріалознавства та інших технічних наук.

ПРН10. Здійснювати пошук та критичний аналіз інформації, концептуалізацію та реалізацію наукових проектів з матеріалознавства.

ПРН12. Знати сучасні підходи та засоби моделювання досліджуваних об'єктів та процесів управління, в тому числі в аерокосмічній галузі, вміти створювати нові, вдосконалювати та розвивати методи математичного і комп'ютерного моделювання складних систем, оптимізації та прийняття рішень

ПРН13. Знати сучасні методи ведення науково-дослідних робіт, інформаційні технології, методи експериментування, що застосовуються в дослідницькій практиці.

Вивчення курсу «Моделювання процесів нанесення покриттів, нанопокриттів, та одержання модифікованих зміцнюючих шарів» базується на загальних знаннях з дисципліни «ІТ в практиці наукових досліджень», «Процеси механічної та фізико-технічної обробки» та є базою для виконання досліджень й написання наукової роботи.

### **3. Програма навчальної дисципліни**

#### **Модуль 1.**

#### **Змістовний модуль 1. Основні методи і установки для електрофізичного оброблення матеріалів.**

##### **Тема 1. Вступ. Основні поняття дисципліни.**

Огляд методів зміни форми, розмірів, шорсткості і фізико-механічних властивостей деталей, які використовують електрофізичні явища.

Класифікація методів обробки за характером впливу і їх видам: електроерозійні; силові дії імпульсних магнітних полів і електрогідролічні явища; тепловий вплив, що виникає під дією потоку електронів, сфокусованого випромінювання, потоку плазми; акустичні явища, вакуумно-дугові методи оброблення та ін.

Основні технологічні схеми оброблення. Області раціонального застосування, переваги та недоліки цих методів

##### **Тема 2. Електроерозійне оброблення (ЕЕО).**

Фізична сутність методу електроерозійної обробки (ЕЕО). Переваги та недоліки електроерозійної обробки. Класифікація різновидів методу: електроіскрова, електроімпульсна, високочастотна і електроконтактна. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Вибір і управління режимами обробки. Робочі рідини, які використовуються при ЕЕО. Електроди-інструменти. Засоби технологічного оснащення: верстати, джерела живлення, обладнання для подачі і очищення робочої рідини. Надійність, ефективність та продуктивність установок ЕЕО. Типові операції ЕЕО: об'ємне копіювання, прошивка отворів, таврування, шліфування, витяг зламаних інструментів (свердел, мітчиків і т. ін.), легування металевих поверхонь.

##### **Тема 3. Електрогідроімпульсна обробка (ЕГІО).**

Фізична сутність ЕГІО. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Вибір і управління режимами обробки. Робочі рідини, які використовуються при ЕГІО. Розрядні камери. Засоби технологічного оснащення: верстати, джерела живлення. Надійність, ефективність та продуктивність установок ЕГІО.

##### **Тема 4. Індукційний нагрів (ІН).**

Теоретичні основи ІН. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Вибір і управління режимами обробки. Індуктори. Джерела живлення. Типові операції: нагрів, термічна обробка, пайка. Надійність, ефективність та продуктивність установок ІН

##### **Тема 5. Променеві методи обробки**

Електронно-променева обробка (ЕЛО). Фізична сутність ЕЛО. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Установки ЕЛО. Надійність, ефективність та продуктивність установок ЕЛО.

Лазерна обробка (ЛО). Фізична сутність ЛО. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Види оптичних квантових генераторів.

Вибір і управління режимами обробки. Типові операції ЛО: різання, зварювання, пайка, модифікування поверхні. Установки ЛО. Надійність, ефективність та продуктивність установок ЛО.

Плазмова обробка (ПО).

Фізична сутність ПО. Плазмотрони. Гази, що створюють плазму. Устаткування для ПО. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Вибір і управління режимами обробки. Процеси ПО: плавлення і рафінування металів, різання, стругання, полірування, зміна властивостей поверхні заготовки, нанесення покриттів, наплавлення. Надійність, ефективність та продуктивність установок ПО.

### **Тема 6. Магнітна обробка (МО)**

Магнітно-абразивна обробка (МАО).

Фізична сутність МАО. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Магніто-абразивні порошки. Магнітні індуктори. Устаткування для МАО. Вибір і управління режимами обробки. Процеси МАО: шліфування, полірування, хонінгування, очищення, видалення задирок і окалини.

Магнітно-імпульсна обробка (МІО).

Фізична сутність МІО. Устаткування для МІО. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Вибір і управління режимами обробки. Процеси МІО: обтиск, роздача, штампування.

Установки для МО. Надійність, ефективність та продуктивність установок МО.

### **Тема 7. Ультразвукова обробка**

Фізичні основи та класифікація різновидів ультразвукової обробки (УЗО). Концентратори і джерела живлення. Технологічне обладнання та режими обробки. Технологічні особливості різновидів процесів: абразивної обробки вільними зернами і абразивним інструментом; різання, тиску, зварювання, очищення.

Установки для УЗО. Надійність, ефективність та продуктивність установок УЗО.

### **Тема 8. Комбіновані методи обробки**

Поєднання різних методів електрофізичної і механічної обробкою різанням і тиском. Установки для комбінованої обробки. Надійність, ефективність та продуктивність таких установок.

## **Модульний контроль**

### **Змістовний модуль 2. Вакуумно-дугові методи оброблення**

#### **Тема 1. Основні фізичні процеси в установках для нанесення покриттів.**

Загальні відомості. Коротка історія розвитку вакуумно-дугових технологій. Отримання вакууму у вакуумно-дугових установках. Основні поняття фізики

вакууму. Устаткування для одержання вакууму. Устаткування для вимірювання вакууму. Технологічні вакуумні установки.

Будова покриттів. Елементи фізики твердого тіла. Типи кристалічних решіток. Їх параметри. Кристалографічні площини й індекси напрямків. Дефекти кристалічної будови. Структурні особливості вакуумно-дугових покриттів на основі нітридів перехідних металів.

Вакуумно-дуговий розряд. Процеси на катоді. Властивості й характеристики катодної плями. Ерозія катода і коефіцієнт ерозії. Процеси у міжелектродному просторі. Іони, електрони, атоми і макрочастинки матеріалу катода. Взаємодія іонів матеріалу катода з поверхнею підкладки. Мікродугові розряди і боротьба з ними.

## **Тема 2. Вакуумно-дугові випарники (плазмові джерела)**

Основні вимоги до вакуумно-дугових випарників і шляхи їх виконання. Конструкції вакуумно-дугових випарників. Системи запалювання вакуумно-дугового розряду. Випарники з ізольованим екраном. Випарники з магнітним утриманням катодної плями. Випарники з фокусуванням плазмового потоку. Комбіновані випарники. Планарні вакуумно-дугові випарники. Випарники зі щільними катодами. Протяжні випарники з радіальними потоками плазми. Протяжні випарники з біжучим електричним полем. Випарники з арковими магнітними полями.

## **Тема 3. Усунення макрочастинок з плазмового потоку. Плазмові фільтри**

Взаємодія макрочастинок з поверхнею. Проходження плазми через криволінійний плазмовід. Конструкції магнітних плазмових фільтрів. Надійність, ефективність та продуктивність плазмових фільтрів.

## **Тема 4. Вакуумно-дугові газові розряди.**

Двоступеневий вакуумно-дуговий розряд (ДВДР). Властивості ДВДР. Стиснутий вакуумно-дуговий розряд (СВДР). Особливості електродугового прискорювача електронів. Основні параметри прискорювача електронів. Застосування СВДР у вакуумно-плазмових технологіях. Застосування стиснутого розряду для нанесення покриттів іонним розпиленням.

## **Тема 5. Комбіноване оброблення поверхонь**

Нанесення вакуумно-дугових покриттів на попередньо азотовані сталі. Короткий огляд моделей азотування. Азотування сталі у тліючому розряді. Азотування в плазмі двоступеневого розряду. Нанесення покриттів на поверхню азотованої сталі. Збільшення глибини шару азотування. Установки для комбінованої обробки. Надійність, ефективність та продуктивність таких установок.

## **Тема 6. Сучасні установки оброблення поверхонь вакуумно-дуговим методом**

Вакуумна установка НТС 1000-4 АВСТМ, що забезпечена чотирма магнетронами, один з них можна перебудувувати на роботу в режимі дугового



випарника шляхом зміни індукції магнітного поля. Установки фірми PLATIT. Застосування у цих установках обертових циліндричних катодів з їх розміщенням на периферії камери. Використання віртуальних затворів (VIRTUAL SHUTTER®), які працюють без механічних елементів. Установа «Булат-9» Її переваги та недоліки. Надійність, ефективність та продуктивність розглянутих установок.

### Модульний контроль

## 4. Структура навчальної дисципліни

| Назви змістовних модулів і тем  | Кількість годин |              |    |      |       |
|---|-----------------|--------------|----|------|-------|
|   | Усього          | У тому числі |    |      |       |
|   |                 | л            | п  | лаб. | с. р. |
| 1   | 2               | 3            | 4  | 5    | 6     |
| <b>Модуль 1</b>   |                 |              |    |      |       |
| <b>Змістовний модуль 1. Основні методи і установки для електрофізичного оброблення матеріалів</b> |                 |              |    |      |       |
| Тема 1. Вступ. Основні поняття дисципліни.  | 22              | 2            | 4  | -    | 16    |
| Тема 2. Електроерозійне оброблення (ЕЕО)  | 26              | 2            | 4  |      | 16    |
| Тема 3. Електрогідроімпульсна обробка (ЕГІО)ї   | 6               | 2            | 4  |      |       |
| Тема 4. Індукційний нагрів (ІН)   | 22              | 4            |    |      | 18    |
| Тема 5. Променеві методи обробки  | 26              | 4            | 4  |      | 18    |
| Тема 6. Магнітна обробка (МО)   | 2               | 2            |    |      |       |
| Тема 7. Ультразвукова обробка   | 2               | 2            |    |      |       |
| Тема 8. Комбіновані методи обробки  | 2               | 2            |    |      |       |
| <b>Модульний контроль</b>   | 2               | 2            | -  | -    |       |
| Разом за змістовним модулем 1   | 108             | 24           | 16 |      | 68    |
| <b>Змістовний модуль 2. Вакуумно-дугові методи оброблення</b>                                     |                 |              |    |      |       |
| Тема 1. Основні фізичні процеси в установках для нанесення покриттів                              | 24              | 4            | 4  |      | 16    |
| Тема 2. Вакуумно-дугові випарники (плазмові джерела)  | 22              | 4            | 4  |      | 14    |
| Тема 3. Усунення макрочастинок з плазмового потоку. Плазмові фільтри                              | 4               | 4            |    |      |       |
| Тема 4. Вакуумно-дугові газові розряди  | 24              | 6            | 4  |      | 14    |
| Тема 5. Комбіноване оброблення поверхонь  | 2               | 2            |    |      |       |

|   |            |           |           |  |            |
|---|------------|-----------|-----------|--|------------|
| Тема 6. Сучасні установки оброблення поверхонь вакуумно-дуговим методом | 20         | 2         | 4         |  | 14         |
| <b>Модульний контроль</b>   | 2          | 2         |           |  |            |
| Разом за змістовним модулем 2   | 102        | 24        | 16        |  | 62         |
| <b>Усього годин</b>   | <b>210</b> | <b>48</b> | <b>32</b> |  | <b>130</b> |

### 5. Теми семінарських занять

| № з/п | Назва теми  | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
| 1     | Методи зміни форми, розмірів, шорсткості і фізико-механічних властивостей деталей, які використовують електрофізичні явища. Основні технологічні схеми оброблення. Области раціонального застосування, переваги та недоліки цих методів   | 4               |
| 2     | Фізична сутність методу електроерозійної обробки (ЕЕО). Переваги та недоліки електроерозійної обробки. Класифікація різновидів методу: електроіскрова, електроімпульсна, високочастотна і електроконтактна, легування металевих поверхонь. Надійність, ефективність та продуктивність установок ЕЕО.  | 4               |
| 3     | Електрогідроімпульсна обробка (ЕГІО) та обробка індукційним нагрівом (ІН). Фізична сутність ЕГІО. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Вибір і управління режимами обробки. Робочі рідини, які використовуються при ЕГІО. Розрядні камери. Засоби технологічного оснащення: верстати, джерела живлення. Надійність, ефективність та продуктивність установок ЕГІО. Теоретичні основи ІН. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Вибір і управління режимами обробки. Індуктори. Джерела живлення. Типові операції: нагрів, термічна обробка, пайка. Надійність, ефективність та продуктивність установок ІН | 4               |
| 4     | Променеві методи обробки. Електронно-променева обробка (ЕЛО). Фізична сутність ЕЛО. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Установки ЕЛО. Надійність, ефективність та продуктивність установок ЕЛО. Лазерна обробка (ЛО). Фізична сутність ЛО. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Види оптичних квантових генераторів. Вибір і управління режимами обробки. Типові операції ЛО: різання, зварювання, пайка, модифікування поверхні. Установки ЛО. Надійність, ефективність та продуктивність установок ЛО. Плазмова обробка (ПО). Фізична сутність ПО. Плазмотрони. Гази, що                              | 4               |

|   |   |   |
|---|---|---|
|   | створюють плазму Устаткування для ПО. Типові схеми обробки і основні технологічні характеристики. Вибір і управління режимами обробки. Процеси ПО: плавлення і рафінування металів, різання, стругання, полірування, зміна властивостей поверхні заготовки, нанесення покриттів, наплавлення. Надійність, ефективність та продуктивність установок ПО.  |   |
| 5 | Історія розвитку вакуумно-дугових технологій. Отримання вакууму у вакуумно-дугових установках. Основні поняття фізики вакууму. Устаткування для одержання вакууму. Устаткування для вимірювання вакууму. Технологічні вакуумні установки.<br>Будова покриттів. Елементи фізики твердого тіла. Типи кристалічних решіток. Їх параметри. Кристалографічні площини й індекси напрямків. Дефекти кристалічної будови. Структурні особливості вакуумно-дугових покриттів на основі нітридів перехідних металів.<br>Вакуумно-дуговий розряд. Процеси на катоді. Властивості й характеристики катодної плями. Ерозія катода і коефіцієнт ерозії. Процеси у міжелектродному просторі. Іони, електрони, атоми і макрочастинки матеріалу катода. Взаємодія іонів матеріалу катода з поверхнею підкладки. Мікродугові розряди і боротьба з ними. | 4 |
| 6 | Основні вимоги до вакуумно-дугових випарників і шляхи їх виконання. Конструкції вакуумно-дугових випарників. Системи запалювання вакуумно-дугового розряду. Випарники з ізольованим екраном. Випарники з магнітним утриманням катодної плями. Випарники з фокусуванням плазмового потоку. Комбіновані випарники. Планарні вакуумно-дугові випарники. Випарники зі щілинними катодами. Протяжні випарники з радіальними потоками плазми. Протяжні випарники з біжучим електричним полем. Випарники з арковими магнітними полями.   | 4 |
| 7 | Двоступеневий вакуумно-дуговий розряд (ДВДР). Властивості ДВДР. Стиснутий вакуумно-дуговий розряд (СВДР). Особливості електродугового прискорювача електронів. Основні параметри прискорювача електронів. Застосування СВДР у вакуумно-плазмових технологіях. Застосування стиснутого розряду для нанесення покриттів іонним розпиленням.   | 4 |
| 8 | Сучасні установки оброблення поверхонь вакуумно-дуговим методом. Вакуумна установка НТС 1000-4 АВСТМ, що забезпечена чотирма магнетронами, один з них можна перебудувувати на роботу в режимі дугового випарника шляхом зміни індукції магнітного поля. Установки фірми РЛАТІТ. Застосування у цих установках обертових циліндричних катодів з їх розміщенням на периферії камери. Використання віртуальних затворів (VIRTUAL SHUTTER®),  | 4 |

|  |  |    |
|--|--|----|
|  | які працюють без механічних елементів. Установа «Булат-9» її переваги та недоліки. Надійність, ефективність та продуктивність розглянутих установок. |    |
|  | <b>Разом</b>   | 32 |

### 6. Теми практичних занять

| № з/п | Назва теми     | Кількість годин |
|-------|----------------|-----------------|
| 1     | Не передбачено | -               |
| 2     |                |                 |
|       | <b>Разом</b>   | -               |

### 7. Теми лабораторних занять

| № з/п | Назва теми     | Кількість годин |
|-------|----------------|-----------------|
| 1     | Не передбачено | -               |
| 2     |                |                 |
| 3     |                |                 |
|       | <b>Разом</b>   | -               |

### 8. Самостійна робота

| № з/п | Назва теми  | Кількість годин |
|-------|---|-----------------|
| 1     | Установки електронагрівання опором. Визначення, класифікація та основи теорії установок електронагрівання опором. Установки прямого електронагрівання. Контактні установки прямого електронагрівання. Установки непрямого електронагрівання. Класифікація електричних печей опору непрямого нагрівання. Матеріали, що використовуються при виготовленні електричних печей опору непрямого нагрівання. Вогнетривкі матеріали. Теплоізоляційні матеріали. Жаротривкі матеріали. Матеріали для нагрівальних елементів. Режими роботи електричних печей опору непрямого нагрівання. | 16              |

|   |   |    |
|---|---|----|
|   | Електричний розрахунок печей опору непрямого нагрівання. Установки електронагрівання опором як приймачі електричної енергії.  |    |
| 2 | Електросвітлові установки. Головні складові частини та класифікація електросвітлових установок. Терміни та визначення основних понять стосовно електричного Освітлення. Світлотехнічні величини і прилади для їх вимірювання. Основні параметри електричних джерел світла. Конструкція, принцип дії та характеристики основних видів електричних ламп. Лампи розжарювання. Конструкція та принцип дії галогенних ламп. Люмінесцентні лампи низького тиску. Конструкція, принцип дії та характеристики компактних люмінесцентних ламп. Газорозрядні лампи високого тиску. Конструкція та принцип дії дугових ламп високого тиску. Електросвітлові установки як приймачі електричної енергії. | 16 |
| 3 | Електрофізичні установки. Визначення та класифікація електрофізичних установок. Електророзрядні установки. Електроерозійні установки. Основи теорії електроерозійної обробки металу. Генератори імпульсів установок для електроерозійної обробки. Способи формоутворення виробу та технологічні операції. Зразки установок для електроерозійної обробки. Установки для електроерозійного маркування. Електроконтактні установки. Абразивно-ерозійні установки.  | 18 |
| 4 | Променеві установки. Електронно-променеві установки. Принцип дії та типові технологічні процеси. Зразки електронно-променевих установок. Електронно-променеві установки для зварювання. Електронно-променеві установки для напилення. Плазмові установки для електрофізичної обробки. Принцип дії, класифікація та типові технологічні процеси. Зразки плазмових установок. Плазмові установки для різання. Плазмові установки для зварювання. Плазмові установки для нанесення покриттів   | 18 |
| 5 | Лазерні установки для електрофізичної обробки. Принцип дії та класифікація лазерних установок. Технологічні процеси лазерної електрофізичної обробки матеріалів. Зразки обладнання для лазерної електрофізичної обробки матеріалів. Машини для лазерного маркування. Лазерні установки для обробки  | 14 |

|   |  |            |
|---|--|------------|
|   | плоских та об'ємних заготовок. Установки для лазерного наплавлення. Лазерні установки для мікрооброблення.   |            |
| 6 | Ультразвукові установки. Джерела ультразвукових коливань. Джерела живлення ультразвукових установок. Типові процеси та операції, що виконуються на ультразвукових установках. Процеси та операції розмірної обробки матеріалів. Процеси та операції з'єднання матеріалів. Процеси ультразвукового контролю. Зразки обладнання для ультразвукової електрофізичної обробки матеріалів. Установка для ультразвукового очищення. Установка для ультразвукового імпульсного зміцнювально-чистового оброблення металів.  | 14         |
| 7 | Установки індукційного та діелектричного нагрівання. Основи теорії індукційного нагрівання. Галузі використання та класифікація установок індукційного нагрівання. Особливості конструктивного виконання та принципу дії установок індукційного нагрівання. Індукційні печі. Класифікація індукційних нагрівальних установок, їх переваги та недоліки. Технологічні процеси та операції, що виконуються з використанням індукційних нагрівальних установок. Установки діелектричного нагрівання. Основи теорії діелектричного нагрівання. Класифікація установок діелектричного нагрівання. Зразки установок індукційного та діелектричного нагрівання. Установки індукційного та діелектричного нагрівання як приймачі електричної енергії. | 14         |
| 8 | Наноструктурні покриття. Подрібнення зерен іонним бомбардуванням. Наночарові композиційні покриття. Наноконструкційні покриття. Покриття типу нк-МеN/метал. Наноконструктивні покриття типу Ме/тверда фаза. Надтверді покриття, отримані із застосуванням іонної імплантації. Покриття TiN. Покриття TiN-CrN. Покриття TiN-CrN, нанесені без іонної імплантації. Покриття TiN-CrN, нанесені з іонною імплантацією. Високоентропійні покриття   | 14         |
|   | <b>Разом</b>   | <b>130</b> |

## 9. Індивідуальні завдання

## 10. Методи навчання

Проведення аудиторних лекцій, семінарських занять, консультації, самостійна робота аспірантів за матеріалами, опублікованими кафедрою (навчальні посібники).

## 11. Методи контролю

Проведення контролю виконання семінарських занять, письмового модульного контролю, фінальний контроль – у вигляді іспиту

## 12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

12.1. Розподіл балів, які отримують аспіранти (кількісні критерії оцінювання)

| Складові навчальної роботи                          | Бали за одне заняття (завдання) | Кількість занять (завдань) | Сумарна кількість балів |
|---|---------------------------------|----------------------------|-------------------------|
| <b>Змістовний модуль 1</b>                          |                                 |                            |                         |
| Робота на лекціях                                   | 0...1                           | 16                         | 0...16                  |
| Виконання та захист семінарських занять             | 0...2                           | 8                          | 0...16                  |
| Модульний контроль                                  | 0...18                          | 1                          | 0...18                  |
| <b>Змістовний модуль 2</b>                          |                                 |                            |                         |
| Робота на лекціях                                   | 0...1                           | 16                         | 0...16                  |
| Виконання та захист лабораторних (практичних) робіт | 0...2                           | 8                          | 0...16                  |
| Модульний контроль                                  | 0...18                          | 1                          | 0...18                  |
| <b>Всього за семестр</b>                            |                                 |                            | <b>0...100</b>          |

Семестровий контроль (іспит/залік) проводиться у разі відмови аспіранта від балів поточного тестування та за наявності допуску до іспиту/заліку. При складанні семестрового іспиту/заліку аспірант має можливість отримати максимум 100 балів.

Білет для іспиту/заліку складається з трьох запитань – двох теоретичних і одне практичне. Теоретичні запитання оцінюються у 30 балів кожне, практичне у 40 балів (сума – 100 балів).

### 12.2. Якісні критерії оцінювання

Необхідний обсяг знань для одержання позитивної оцінки:

Знати принципи роботи сучасних установок модифікування поверхні виробів; вміти визначати надійність, ефективність та продуктивність установок

електрофізичного оброблення. Мати уявлення: про сучасні установки електрофізичного оброблення; про процеси, що у них відбуваються.

Необхідний обсяг умінь для одержання позитивної оцінки:

проводити аналіз предметної області; виявляти потреби користувачів і розробляти вимоги до установок електрофізичного оброблення; розробляти концептуальну, логічну і фізичну моделі таких установок; вибирати інструментальні (устаткування) засоби і технології обробки виробів; вміти створювати виробничі ділянки по обробленню виробів методами, що застосовуються в установках електрофізичного оброблення.

### 12.3 Критерії оцінювання роботи аспіранта протягом семестру

**Задовільно (60-74).** Мати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі семінарські заняття. Мати уявлення про принципи роботи установок електрофізичного оброблення, про сучасні підходи до їх розробки. Вміти аналізувати надійність, ефективність та продуктивність установок електрофізичного оброблення.

**Добре (75 - 89).** Твердо знати мінімум знань. Показати вміння виконувати та захищати всі практичні роботи в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах. Твердо знати принципи роботи установок електрофізичного оброблення, про сучасні підходи до їх розроблення. Вміти аналізувати надійність, ефективність та продуктивність установок електрофізичного оброблення.

**Відмінно (90 - 100).** Повно знати основний та додатковий матеріал. Виконати всі завдання. Знати усі теми. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Досконально знати завдання і принципи роботи установок електрофізичного оброблення, про сучасні підходи до їх розроблення. Вміти: проводити аналіз предметної області; виявляти потреби користувачів і розробляти концептуальну, логічну і фізичну моделі таких установок; вибирати інструментальні (устаткування) засоби і технології обробки виробів; вміти створювати виробничі ділянки по обробленню виробів методами, що застосовуються в установках електрофізичного оброблення.

### Шкала оцінювання: бальна і традиційна

| Сума балів | Оцінка за традиційною шкалою  |               |
|------------|-------------------------------|---------------|
|            | Іспит, диференційований залік | Залік         |
| 90 – 100   | Відмінно                      | Зараховано    |
| 75 – 89    | Добре                         |               |
| 60 – 74    | Задовільно                    |               |
| 0 – 59     | Незадовільно                  | Не зараховано |

### 13. Методичне забезпечення



1. Воробйов Ю.А., Сисоев Ю.О. Правила оформлення навчальних і науково-дослідних документів. – 4-те вид., випр. і доп. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 88 с.

[http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Vorobjov\\_Pravila.pdf](http://library.khai.edu/library/fulltexts/metod/Vorobjov_Pravila.pdf)

2. Андреев А.О. Технологія машинобудування. Основи отримання вакуумно-дугових покриттів : підручник / А. О. Андреев, В. М. Павленко, Ю. О. Сисоев. – Харків : Нац. аеро-косм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2018. – 288 с.

[http://library.khai.edu/library/fulltexts/Knigi/Andreyev\\_Tekhnolohiya\\_Mashynobuduvannya.pdf](http://library.khai.edu/library/fulltexts/Knigi/Andreyev_Tekhnolohiya_Mashynobuduvannya.pdf)

## 14. Рекомендована література

### Базова

1. Василега П. О. Електротехнологічні установки: навчальний посібник / П. О. Василега. – Суми: Видавництво СумДУ, 2010. – 548 с.
2. Николин, У. М. Електротехнологічні установки : конспект лекцій / У. М. Николин, П. М. Николин. - Івано-Франківськ : ІФНТУНГ, 2019. – 134 с.
3. Електротехнологічні установки та пристрої: метод. вказів. для викон. контр. та самостійн. роб. з навч. дисц. «Електротехнологічні установки та пристрої» для студ. за напр. 6.050701 «Електротехніка та електротехнології» / [уклад.: П. Г. Плешков, Р. В. Телюта] ; М-во освіти і науки України, Кіровоград. нац. техн. ун-т. – Кіровоград : КНТУ, 2014 – 79 с.
4. Соловей О. І. Промислові електротехнологічні установки : навч. пос. / – К.: Кондор, 2009. – 172 с.
5. Монтік П.М., Галіулін А.А. Електротехнологічні установки: навчальний посібник / Одеса: ОНАХТ, 2018. – 73 с.

### Допоміжна

1. Павленко Т. П. Електротехнологічні установки: конспект лекцій для магістріву сіх форм навчання за спеціальністю 141 –Електроенергетика, електротехніка та електромеханіка / Т. П. Павленко, О. М. Петренко, Н. П.Лукашова ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О.М. Бекетова. –Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2018. –1 30с.
2. Електротехнологічні установки та системи: Курс лекцій [Електронний ресурс] : навч. посіб. / КПІ імені Ігоря Сікорського; уклад.: В.О. Бржезицький, Я.О. Гаран, М.Ю. Лапоша, Є.О. Троценко. – Електронні текстові дані (1 файл: 1,70 Мбайт). – Київ : КПІ ім. Ігоря Сікорського, 2020. – 136 с.
3. Олійник М. Й. Електротехнологічні об'єкти та їх електропостачання: навч. посібник/ М.Й.Олійник.- Львів: Видавництво Львівської політехніки, 2016. – 344 с.
4. Электротехнологические промышленные установки. Учебник для ВУЗов / Под ред. Свенчанского А.Д. -М.: Энергоиздат, 1982- 399 с.

5. Болотов А.В, Шепель Г.А. Электротехнологические установки. Учебник для вузов по специальности "Электроснабжение промышленных предприятий". - Москва: Высшая школа, 1988. - 336 с.

## **15. Інформаційні ресурси**

<https://education.khai.edu/department/202>

<https://k202.tilda.ws/>