

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

Кафедра технології виробництва літальних апаратів (№ 104)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Голова НМК 1

Сергій НИЖНИК

(підпис)

(ініціали та прізвище)

« 29 » 08 2023 р.

**СИЛАБУС ВИБІРКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ
«ТЕХНОЛОГІЇ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА
АВІАЦІЙНИХ ДЕТАЛЕЙ»**
(назва навчальної дисципліни)

Галузь знань: 13 «Механічна інженерія»
(шифр і найменування галузі знань)

Спеціальність: 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка».
(код і найменування спеціальності)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: перший (бакалаврський)

Вводиться в дію з 2023-2024 н. р.

Харків 2023 рік

Силабус «Технології адитивного виробництва авіаційних деталей»
(назва дисципліни)
для студентів за спеціальністю «Авіаційна та ракетно-космічна техніка»

Розробник: _____ Сікульський В.Т., проф., д. т. н., доц.
(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь та вчене звання)


(підпис)

Погоджено з представником здобувачів освіти:

(підпис)

(ініціали та прізвище)

Силабус розглянуто на засіданні кафедри 104
(назва кафедри)

Протокол № 1 від « 19 » серпня 2023 р.

Завідувач кафедри к.т.н., доцент _____
(науковий ступінь та вчене звання)



(підпис)

_____ К.В. Майорова
(ініціали та прізвище)

ОПИС НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ

Лектор – Сікульський Валерій Терентійович, професор кафедри 104,
Д. Т. Н., доцент



З 1980 року викладає в університеті наступні дисципліни:

- технологія виробництва літаків і вертольотів;
- технологія виробництва авіаційної техніки;
- теоретичні основи технології літакобудування;
- виробництво деталей АТ розмірною обробкою.

Напрями наукових досліджень: формоутворення деталей АТ локальним деформуванням, технологія адитивного виробництва деталей АТ, теоретичні основи технології літакобудування.

Семестр в якому викладається дисципліна – 8;

Загальна кількість кредитів ЄКТС – 5, загальна кількість годин – 150;

Заплановані види навчальної діяльності – лекції, лабораторні роботи, поточний та підсумковий контроль у формі модульних робіт, екзамен;

Дисципліна може вивчатися за наступними формами здобуття освіти – денна, дистанційна, дуальна;

Пререквізити – Умовою для вивчення дисципліни є успішна атестація здобувача освіти за дисциплінами: теоретичні основи технології літакобудування; технології конструкційних матеріалів;

Кореквізити – технологія виробництва авіаційної техніки; виробнича практика.

Мета: вивчення навчальної дисципліни «Технології адитивного виробництва авіаційних деталей» полягає в формуванні системи знань, способів діяльності та творчих здібностей з основних теоретичних положень про виробництво деталей адитивним методом, матеріали та

відповідне технологічне обладнання, а також засвоєння вмінь які б дозволяли на практиці реалізувати ці знання.

Завданням навчальної дисципліни є вивчення матеріалів для адитивного виробництва (АВ) та їх ефективного використання, фізичної сутності процесу АВ, різних видів АВ, обладнання для АВ, конструкцій пристосувань та основ їх конструювання, а також засвоєння методики розрахунку і призначення раціональних режимів АВ.

Очікувані результати навчання

Після опанування дисципліни здобувач набуде наступні компетентності:

- здатність аналізу матеріалів для АВ, конструкцій та процесів АВ на основі законів, теорій та методів математики, природничих наук;
- здатність робити оцінки параметрів працездатності матеріалів, конструкцій і устаткування в експлуатаційних умовах та знаходити відповідні рішення для забезпечення заданого рівня надійності процесів АВ;
- здатність проводити технологічну і техніко-економічну оцінку ефективності використання технологій АВ;
- здатність класифікувати процеси, що відносяться до АВ та формулювати вимоги до основних їх параметрів, що ґрунтується на глибокому знанні теоретичних та практичних аспектів процесів формування деталей та конструкцій методами АВ;
- здатність здійснювати оптимальний вибір технологічного обладнання, комплектацію технічних пристосувань, мати базові уявлення про правила експлуатації обладнання;
- здатність застосовувати поняттєве-категоріальний апарат, загальну методологію та методи організації інженерної діяльності, аналізувати потреби та можливості автоматизації виробництва.

Очікується, що після опанування дисципліни студентом будуть досягнуті наступні результати навчання і він буде:

- знати матеріали, які застосовують для виготовлення деталей та конструкцій методами АВ;
- знати фізичні основи основних методів АВ;
- знати принципи вибору баз для формування деталей методами АВ;
- знати процес проектування послідовності формування деталей методами АВ;
- знати процес термічних процесів під час АВ;
- знати процеси фінішної обробки деталей після АВ;
- знати основні недоліки та переваги основних методів АВ;
- знати основні особливості деталей аерокосмічної техніки, виготовлених методами АВ;

- знати можливі методи підвищення продуктивності АВ;
- вміти обирати деталі та конструкції, придатні для виготовлення на устаткуванні для АВ;
- вміти вибирати основне технологічне обладнання для виготовлення необхідної партії запуску деталей;
- оцінювати техніко-економічну ефективність виробництва;
- здійснювати оптимальний вибір обладнання, пристосувань та матеріалів для АВ;
- вільно спілкуватися з професійних питань усно і письмово державною мовою, включати знання спеціальної термінології та навички міжособистісного спілкування.

Мова викладання

Українська.

Зміст навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовний модуль 1.

Основні поняття та визначення АТ.

ТЕМА 1. Вступ до навчальної дисципліни «Технології адитивного виробництва авіаційних деталей»

Форма занять: лекція, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 2 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Основні історичні етапи розвитку АТ. Основні поняття та визначення АТ.

ТЕМА 2. 3D CAD моделювання і створення електронного пошарового образу (моделі) виробу.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.*
- *Лабораторна робота: Вивчення програмування XYZware.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): принтер Da Vinci 2.0A Duo.*

Поняття з технологічності виробу і деталі. Види адитивних технологій. Переваги і недоліки АТ. Перспективи розвитку АТ. Електронні моделі виробу.

ТЕМА 3. FDM (Fused Deposition Modeling) – моделювання оплавленням.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.*
- *Лабораторна робота: «Изучение работы 3D принтера Da Vinci 2.0A Duo».*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): принтер Da Vinci 2.0A Duo.*

ТЕМА 4. CJP (ColorJet printing) – повнокольоровий друк з принципом склеювання порошку або фотополімера.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

ТЕМА 5. SLS (Selective Laser Sintering) – технологія лазерного зп'якання.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): електронні ресурси.*

ТЕМА 6. 3DW (Three Dimensional Welding) – тривимірна наплавка (зварювання), DMD (Direct Metal Deposition) – пряме нанесення металу.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*

- Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.
 - Лабораторна робота: «Вивчення технології та обладнання для аргано-дугового наплавлення».
 - Лабораторна робота: «Дослідження методів дозування металу при адитивному наплавленні».
 - Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): обладнання лабораторії зварювання кафедри.
- ТЕМА 7. (Layer Laminate Manufacturing) – спосіб моделювання нашаровуванням.
- Форма занять: лекція, самостійна робота.
 - Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.
 - Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): електронні ресурси.
- ТЕМА 8. SLA (Stereolithography Apparatus) – лазерна стереолітографія.
- Форма занять: лекція, самостійна робота.
 - Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.
 - Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): електронні ресурси.
- ТЕМА 9. Матеріали, що використовуються у АТ.
- Форма занять: лекція, самостійна робота.
 - Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.
 - Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): електронні ресурси.
- **Модульний контроль 1** Форма занять: написання модульної роботи в аудиторії (за рішенням лектора допускається проведення у дистанційній формі).
- Обсяг аудиторного навантаження: 2 години
- Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.

Змістовний модуль 2. Основні характеристики адитивного виробництва

ТЕМА 10. Особливості базування і вибір орієнтації виробу в процесі його пошарового вирощування.

- Форма занять: лекція, самостійна робота.
- Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.
- Лабораторна робота: «Проектування технологічного процесу адитивного виробництва».
- Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): комплект деталей для індивідуальних завдань.

ТЕМА 11. Інструментальне оснащення і виробництво оснащення і виробів – Rapid Tooling і Rapid Manufacturing.

- Форма занять: лекція, самостійна робота.

- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): електронні ресурси.*

ТЕМА 12. Методи прямого виготовлення.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

ТЕМА 13. Методи непрямого виготовлення.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

ТЕМА 14. Економічність інтегрованих генеративних технологій.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): електронні ресурси.*

Порівняння традиційних і адитивних технологій.

ТЕМА 15. Потенціал і перспективи розвитку адитивних технологій.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
- *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.*
- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): електронні ресурси.*
- *Структура ринку адитивних технологій.*

ТЕМА 16. Основні приклади використання АТ в авіабудуванні і космонавтиці.

- *Форма занять: лекція, самостійна робота.*
 - *Обсяг аудиторного навантаження: 1-2 годин.*
- Лабораторна робота: «Дослідження характеристик ошпорованих деталей з алюмінієвих сплавів».*

- *Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): обладнання лабораторії зварювання кафедри, електронні ресурси.*

Виготовлення оболонкових конструкцій. Друк деталей силових частин авіаційних конструкцій. Виготовлення деталей двигунів. Особливості виготовлення конструкцій ракетно-космічної техніки.

- **Модульний контроль 2** *Форма занять: написання модульної роботи в аудиторії (за рішенням лектора допускається проведення у дистанційній формі).*

- *Обсяг аудиторного навантаження: 2 години*
- Обов'язкові предмети та засоби (обладнання, устаткування, матеріали, інструменти): відсутні.*

Індивідуальні завдання

Відсутні

Методи контролю

Проведення поточного контролю, модульного контролю, підсумкового контролю у вигляді іспиту.

Розподіл балів, які отримують студенти

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
Активність роботи на лекціях	0...1	5	0...5
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	0...4	5	0...20
Модульний контроль	0...25	1	0...25
Змістовний модуль 2			
Робота на лекціях	0...1	5	0...5
Виконання і захист лабораторних (практичних) робіт	0...4	5	0...20
Модульний контроль	0...25	1	0...25
Усього за семестр			0...100

Прийнята шкала оцінювання

Сума балів за всі види навчальної діяльності	Оцінка за національною шкалою	
	для екзамену, курсового проекту (роботи), практики	для заліку
90-100	відмінно	зараховано
75-89	добре	
60-74	задовільно	
01-59	незадовільно з можливістю повторного складання	не зараховано з можливістю повторного складання

13. Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру.

Задовільно (60-74) - мати мінімум знань і умінь для забезпечення програмних результатів навчання. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи.

Добре (75-89) - знати основні теми дисципліни. Достатньо знати основні процеси, характерні для різання металів (деформації, стружкоутворення, наростоутворення, основні моделі зносу ріжучого інструменту, процеси теплоутворення та тепловідведення в зоні різання, порядок розрахунку елементів режимів різання, основні види різання металів). Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи.

Відмінно (90-100) – мати знання, що дозволять самостійно, вільно та обґрунтовано відповідати на будь які питання щодо процесів при різанні металів, вміти розраховувати та призначати режими різання, мати уявлення щодо оснащення різальних верстатів. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи.

Методичне забезпечення та інформаційні ресурси

Підручники, навчальні посібники, навчально-методичні посібники, конспекти лекцій, методичні рекомендації з проведення лабораторних робіт тощо, які видані в Університеті знаходяться за посиланням:

<https://learn.ztu.edu.ua/mod/url/view.php?id=100588>

<https://core.ac.uk/download/pdf/159820009.pdf>

- Сторінка дисципліни знаходиться за посиланням:
<https://mentor.khai.edu/course/view.php?id=2331>

Рекомендована література

Базова

1. Зленко М. А. Аддитивные технологии в машиностроении / М.В. Нагайцев, В.М. Довбыш // пособие для инженеров. – М. ГНЦ РФ ФГУП «НАМИ» 2015. 220 с.
2. Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технология адитивного производства. М., Техносфера, 2016. – 657 с.
3. On productivity of laser additive manufacturing (англ.)// Journal of Materials Processing Technology. — 2018-11-01. — Vol. 261. — P. 213–232.
4. Интегрированные генеративные технологии: учеб. пособие И73 [для студ. выс. учеб. заведений] / А. И. Грабченко, Ю. Н. Внуков, В. Л. Доброскок [и др.]; под ред. А. И. Грабченко. – Харьков: НТУ «ХПИ», 2011. – 416 с.

5. Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker. Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. Second Edition. Springer, 2015. – 498 с.
6. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления. Монография / Под редакцией д-ра техн. наук Л. Л. Товажнянского, д-ра техн. наук А. И. Грабченко. – Харьков: ОАО "Модель Вселенной", 2005. – 224 с.
7. Аргонодуговая наплавка с прецизионным капельным дозированием электродного металла/ А. К. Горлов, Е. П. Рогачев, С. Н. Лашко. – Х.: Нац. Аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «Харьк. авиац. ин-т», 2015. – 100 с.
8. Технологія виготовлення деталей літальних апаратів з видаленням припуску [Текст]: підручник/ В.С. Кривцов [та ін]. – Х.: ХАІ, 2010. – 224 с.
9. Проектирование специальных станочных приспособлений. В.В. Воронько, Ю.В. Дьяченко, С.Д. Проскурин, В.Т. Сикульский. – Учебное пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «ХАИ». 2006. – 66 с.
10. Программирование обработки на станках с ЧПУ / Ю.А. Боборыкин, Ю.В. Дьяченко, А.В. Пьянков. – Учеб. пособие для курсового и дипломного проектирования. – Х.: Гос. аэрокосм. ун-т "Харьк. авиац. ин-т. 2000. – 100 с.
11. Проектирование постпроцессоров для оборудования гибких производственных систем / Ю.В. Дьяченко, В. Е. Зайцев, А. А. Павленко, А.В. Пьянков. – Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2001. – 100 с.
12. Гибкие производственные системы в авиастроении / В.С. Кривцов, С.Г. Васильченко, Ю.В. Дьяченко, В.Е. Зайцев. – Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харьк. авиац. ин-т», 2001. – 98 с.
13. Использование контрольно-измерительных систем в технологической подготовке авиационного производства. Учеб. пособие / Дьяченко Ю.В., Коллеров В.В. – Х.: Харьк. авиац. ин-т, 1988. – 58 с.

Допоміжна

1. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов / Пекарш А.И., Тарасов Ю.М., Кривов Г.А., Воробьев Ю.А. и др. – М.: Аграф-пресс, 2006. – 304 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. / Под ред. Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 1986. Т.1 – 656 с.
3. Справочник технолога-машиностроителя. / Под ред. Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 1986. Т.2 – 496 с.
4. Кривов Г.А. Технология самолетостроительного производства. Киев: КВЦ, 1997. – 459 с.
5. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.