

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

Кафедра технології виробництва літальних апаратів (№ 104)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Гарант освітньої програми



(підпис)

Ігор БИЧКОВ
(ініціали та прізвище)

« 29 » 08 2023 р.

**РОБОЧА ПРОГРАМА ОБОВ'ЯЗКОВОЇ
НАВЧАЛЬНОЇ ДИСЦИПЛІНИ**

«ОСНОВИ АДИТИВНОГО ВИРОБНИЦТВА»

(назва навчальної дисципліни)

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

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

Освітня програма: Технології виробництва і ремонту літальних апаратів
(найменування освітньої програми)

Форма навчання: денна

Рівень вищої освіти: другий (магістерський)

Харків 2023 рік

Розробник: Сікульський В. Т., професор каф. 104., д.т.н., доцент

(прізвище та ініціали, посада, науковий ступінь і вчене звання)

(підпис)



Робочу програму розглянуто на засіданні кафедри Технології виробництва літальних апаратів

(назва кафедри)

Протокол № _1_ від « _29_ » __серпня__ 2023 р.

Завідувач кафедри к. т. н., доцент

(науковий ступінь і вчене звання)



(підпис)

Катерина МАЙОРОВА

(ініціали та прізвище)

1. Опис навчальної дисципліни

Найменування показника	Галузь знань, спеціальність, освітня програма, рівень вищої освіти	Характеристика навчальної дисципліни (денна форма навчання)
Кількість кредитів 6	Галузь знань 13 «Механічна інженерія» (шифр і найменування) Спеціальність 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» (код і найменування) Освітня програма Технології виробництва і ремонту літальних апаратів (найменування) Рівень вищої освіти: другий (магістерський)	обов'язкова
Кількість модулів – 2		Навчальний рік
Кількість змістовних модулів – 2		2023/2024
Індивідуальне завдання _____ (назва)		Семестр 3 - 180
Загальна кількість годин – 116/ 180		Лекції* годин
		32
Кількість тижневих годин для денної форми навчання: аудиторних – 4 самостійної роботи студента – 7,25		Практичні, семінарські*
		-
		Лабораторні*
		32
		Самостійна робота
		116
		Вид контролю
		модульний контроль, іспит

Співвідношення кількості годин аудиторних занять до самостійної роботи становить:
64/116

*Аудиторне навантаження може бути зменшене або збільшене на одну годину залежно від розкладу занять.

2. Мета та завдання навчальної дисципліни

Мета вивчення: надання знань про сутність технологічних процесів виготовлення деталей літака та вертольоту методами адитивного виробництва; монолітних деталей – без видалення припуску; про системні підходи комплексної технології складання літаків та вертольотів; формування навиків розрахунку основних параметрів цих процесів виготовлення деталей та складання типових конструкцій окремих вузлів, відсіків, секцій і агрегатів; навчання методам раціонального проектування адитивних технологій та засобів технологічного оснащення; засвоєння методів проектування типових операцій з оформлення відповідної технологічної документації.

Завдання: технологічні процеси сучасних способів адитивного виробництва деталей формозмінювальними операціями, а також спеціальні способи формування деталей, напрямки інтенсифікації існуючих технологічних процесів; сучасні методи та засоби технологічного оснащення для виготовлення деталей авіаційної техніки адитивними процесами (АП). Сучасні методи та засоби технологічного оснащення для виготовлення монолітних деталей літака та вертольоту адитивними процесами без видалення припуску.

Згідно з вимогами освітньо-професійної програми студенти повинні досягти таких **компетентностей:**

ФК2. Здатність розробляти методичні і нормативні документи, що стосуються технологічної підготовки виробництва елементів та об'єктів авіаційної техніки, елементів технологічних систем виробництва та ремонту, можливостей обладнання та оснащення для виробництва деталей, підборок, агрегатів, об'єкта в цілому.

Програмні результати навчання:

ПРН3. Вміння критично осмислювати проблеми виробництва авіаційної та ракетно-космічної техніки, у тому числі на межі із суміжними галузями, інженерними науками, фізикою, хімією, екологією, економікою. на всіх етапах їх життєвого циклу.

ПРН12. Вміння обгрунтовано призначати клас матеріалів для елементів та систем авіаційної та ракетно-космічної техніки, мати навички вибору методів модифікації їх властивостей.

ПРН16. Вміння застосовувати сучасні методи та засоби конструкторсько-технологічної підготовки виробництва, у тому числі гнучкого комп'ютерного виробництва, складання і випробування елементів і систем систем авіаційної та ракетно-космічної техніки для сучасного обладнання з числовим програмним керуванням.

Пререквізити - Теоретична механіка, Опір матеріалів, Будівельна механіка, Інженерна графіка, Технологія конструкційних матеріалів, Авіаційне матеріалознавство, Деталі машин, Основи взаємозамінності, Збирально-монтажні роботи у літакобудуванні, Інтегровані технології проектування, Проектування підприємств авіаційного виробництва.

Кореквізити - Науково-прикладні питання технології виробництва літальних апаратів, Технологічні системи забезпечення життєвого циклу виробів авіаційно-космічної галузі

3. Програма навчальної дисципліни

Модуль 1.

Змістовний модуль 1. Основні поняття та визначення АТ.

ТЕМА 1. Основні поняття та визначення АТ. Структура ринку адитивних технологій.

Види адитивних технологій. Переваги і недоліки АТ. Перспективи розвитку АТ.

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

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

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

ТЕМА 5. SLS (Selective Laser Sintering) – технологія лазерного запікання.

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

ТЕМА 7. (Layer Laminate Manufacturing) – спосіб моделювання нашаровуванням.

ТЕМА 8. SLA (Stereo Lithographics Apparatus) – лазерна стереолітографія.

ТЕМА 9. Матеріали, що використовуються у АТ.

Модульний контроль 1

Змістовний модуль 2. Основні характеристики адитивного виробництва

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

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

ТЕМА 12. Методи прямого виготовлення.

ТЕМА 13. Методи непрямого виготовлення.

ТЕМА 14. Економічність інтегрованих генеративних технологій.

ТЕМА 15. Потенціал і перспективи розвитку адитивних технологій.

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

Модульний контроль 2

4. Структура навчальної дисципліни «Основи адитивного виробництва»

Прийняті скорочення (розрахунково-графічна робота – РГР, розрахункова робота – РР, контрольна робота – РК, реферат – Р, курсова робота – КР, курсовий проект – КП, лабораторна робота – ЛР, лабораторне заняття – ЛЗ, практичне заняття – ПЗ, семінар – С).

Назви змістових модулів і тем	Кількість годин				
	Усього	У тому числі			
		л	п	лаб.	с. р.
1	2	3	4	5	6
Змістовий модуль 1. Загальна характеристика ЗШВ.					
ТЕМА 1. Основні поняття та визначення АТ. Структура ринку адитивних технологій. Види адитивних технологій. Переваги і недоліки АТ. Перспективи розвитку АТ.	8	2	-	-	6
ТЕМА 2. 3D CAD моделювання і створення електронного пошарового образу (моделі) виробу. Поняття з технологічності виробу і деталі.	10	2	-	4	4
ТЕМА 3. FDM (Fused Deposition Modeling) – моделювання оплавленням.	12	2		4	6
ТЕМА 4. CJP (ColorJet printing) – повнокольоровий друк з принципом склеювання порошку або фотополімера.	14	2	-	4	8
ТЕМА 5. SLS (Selective Laser Sintering) – технологія лазерного запікання.	10	2	-	-	8

ТЕМА 6. 3DW (Three Dimensional Welding) – тривимірна наплавка (зварювання), DMD (Direct Metal Deposition) – пряме нанесення металу.	12	2	-	4	6
ТЕМА 7. (Layer Laminate Manufacturing) – спосіб моделювання нашаровуванням.	14	2	-	4	8
ТЕМА 8. SLA (Stereo Lithographics Apparatus) – лазерна стереолітографія.	14	2	-	4	8
ТЕМА 9. Матеріали, що використовуються у АТ.	10	2	-	-	8
Разом за змістовим модулем 1	104	18	0	24	62
Змістовий модуль 2. Основні характеристики адитивного виробництва					
ТЕМА 10. Особливості базування і вибір орієнтації виробу в процесі його пошарового вирощування.	14	2	-	4	8
ТЕМА 11. Інструментальне оснащення і виробництво оснащення і виробів – Rapid Tooling і Rapid Manufacturing	8	2	-	-	6
ТЕМА 12. Методи прямого виготовлення.	14	2	-	4	8
ТЕМА 13. Методи непрямого виготовлення.	10	2	-	-	8
ТЕМА 14. Економічність інтегрованих генеративних технологій.	10	2	-	-	8
ТЕМА 15. Потенціал і перспективи розвитку адитивних технологій.	10	2			8
ТЕМА 16. Основні приклади використання АТ в авіабудуванні і космонавтиці.	10	2		-	8
Разом за змістовим модулем 2	76	14	-	8	54
Разом з дисципліни	180	32	-	32	116

5. Теми семінарських занять

№ п/п	Назва теми	Кількість годин
1		
2		
	Разом	

6. Теми практичних занять. Модуль 1.

№ з/п	Назва теми	Кільк. годин
1	2	3
1		
2		
	Разом	

7. Теми лабораторних занять.

№ з/п	Назва теми	Кільк. годин
1	2	3
1	Изучение работы 3D принтера Da Vinci 2.0A Duo	4
2	Вивчення програмування XYZware.	6

3	Дослідження характеристик ошипованих деталей з алюмінієвих сплавів	4
4	Проектування технологічного процесу адитивного виробництва	4
5	Вивчення технології та обладнання для аргоно-дугового наплавлення	6
6	Дослідження методів дозування металу при адитивному напавленні	8
	Разом	32

8. Самостійна робота

ТЕМА 1. Технологічні особливості складання, монтажу, випробувань у адитивному виробництві.

1. Особливості складальних одиниць авіатехніки: жорсткість; габарити; багатодетальність; геометрія обводів, контурів, стиків; вимоги до точності виготовлення.
2. Різниця конструкційних матеріалів в складі складальних одиниць.
3. Особливості засобів, які використовуються у АП.

ТЕМА 2. Організаційна та технологічна структура АТ на авіапідприємстві.

1. Характеристика агрегатно-складальних цехів
2. Структура та призначення цехів і підрозділів допоміжного і обслуговального виробництва; їх типові технології і об'єкти виробництва.
3. Засоб механізації і автоматизації на адитивних етапах виробництва літаків і вертольотів.

ТЕМА 3. Технологічні методи забезпечення якості складально-монтажного виробництва.

1. Технологічні методи забезпечення надійності літаків; нормалізація і стандартизація проектних і технологічних операцій АП.
2. Методи забезпечення експлуатаційної довговічності складених літаків і вертольотів.
3. Вплив на якість виробництв взаємозамінності елементів конструкції.

ТЕМА 4. Економічна ефективність складальних техпроцесів з використанням АП.

1. Зниження витрат на матеріали, заробітну платню робітників, експлуатацію обладнання, складальних пристроїв, та на спецінструменти.
2. Зниження об'ємів капітальних вкладів та термінів окупності капітальних витрат.
3. Вплив сучасних методів менеджменту в складальному виробництві з використанням АП.

ТЕМА 5. Сутність і зміст робіт при технологічній підготовці серійного складального виробництва.

1. Методи і графіки послідовної та паралельно-послідовної підготовки виробництва.
2. Шляхи удосконалення та скорочення термінів і витрат на технологічну підготовку виробництва у складальному секторі.

ТЕМА 6. Технологічність конструкцій літаків та вертольотів з використанням АП.

1. Якісна та кількісна оцінки технологічності.
2. Вирішення задач технологічності на різних етапах проектування виробів, при підготовці виробництва та етапі складання виробів.
3. Вплив технологічності конструкції при різних типах виробництва на собівартість виробів.

ТЕМА 7. Схеми членування літаків та вертольотів на складові одиниці.

1. Методика визначення оптимальної чисельності панелей.
2. Ув'язка схеми членування з силовою схемою конструкції літака (вертольота) та бортовими системами обладнання.

ТЕМА 8. Схеми складання літаків (вертольотів) та їх складових одиниць.

1. Критерії використання послідовної, паралельної, та паралельно – послідовної схем складання.
2. Вплив схем складання на організаційні форми складання і на показники ефективності технології складально-монтажних робіт.
3. Приклади розробки різних схем складання.

ТЕМА 9. Методи складання та складальні бази в авіабудівництві.

1. Порівняльні техніко-економічні характеристики методів складання по точності і рівню взаємозамінності, по продуктивності та умовам праці, по розмірам виробничої площі та термінам підготовки виробництва, по об'ємам капіталовкладень.

2. Методи складання з повною, обмеженою взаємозамінністю; селективний метод складання; складання по методу підгонки.

3. Принципи базування: єдності баз, постійності баз, збігу баз.

4. Схеми базування і послідовність установчих операцій при складанні конструкцій.

ТЕМА 10. Загальні принципи забезпечення заданої точності виготовлення, складання виробів та точності ув'язки розмірів між собою.

1. Характеристики поля розсіяння розміру та розрахунки випадкових погрешностей замикаючої ланки розмірного ланцюга.

2. Точність ув'язки розмірів при методах: зв'язаного створення форм і розмірів, незалежного створення форм і розмірів виробів, метода на основі принципу компенсації.

ТЕМА 11. Особливості базування і вибір орієнтації виробу в процесі його пошарового вирощування.

ТЕМА 12. Методи прямого виготовлення.

ТЕМА 13. Методи непрямого виготовлення.

ТЕМА 14. Економічність інтегрованих генеративних технологій.

ТЕМА 15. Потенціал і перспективи розвитку адитивних технологій.

ТЕМА 16. Використання АП в авіабудуванні і космонавтиці.

ТЕМА 17. Характеристики технологій вузлового та панельного складання в літако- та вертольотобудуванні з використанням АП.

1. Послідовність виконання складальних операцій та вимоги до оснащення.

2. Техпроцес складання панельованих конструкцій; схеми складання послідовність виконання складальних операцій.

3. Організаційні форми агрегатного складання; поточне складання агрегатів, відсіків, секцій.

4. Виконання робіт по взаємозамінності стиків агрегатів та відсіків в розділочних стендах.

5. Забезпечення герметичності при складанні агрегатів, відсіків.

6. Методи і засоби контролю аеродинамічних обводів, контурів, роз'ємів та загальної якості складальних робіт при складанні агрегатів, відсіків, секцій.

9. Індивідуальні завдання

Індивідуальна робота передбачає поглиблене вивчення студентом питань, що розглядаються на лекційних та практичних заняттях, виконання РГР.

Тематика РГР – Розробка технологічного процесу адитивного виробництва деталі та проектування пристосування.

Тематика РГР – Розробка технологічного процесу розмірної обробки деталі, виготовленої методом АВ і проектування спеціального верстатного пристрою.

10. Методи навчання

Лекції є інформаційно-словесними з використанням електронних дидактичних демонстраційних матеріалів (презентацій). Застосовуються на лекції такі методи, як бесіда та евристична бесіда, під час яких використовується чітка система, заздалегідь визначених запитань, які сприяють активному засвоєнню студентами системи фактів, нових понять та закономірностей.

Підготовка до лекції передбачає опрацювання матеріалу попередньої лекції за конспектом, підручником [1, 2], системою дистанційного навчання [9].

Практичні заняття починаються з пояснення з використанням електронних дидактичних демонстраційних матеріалів (презентації). Далі виконуються тренувальні вправи за певним зразком. Обов'язковим елементом практичного заняття є графічна робота.

Підготовка до практичних занять передбачає опрацювання лекційного матеріалу та виконання тесту для самоконтролю в [9].

Розрахунково-графічна робота являє собою комплексну практичну роботу, яка складається із розрахунку параметрів технологічного процесу, вибору типу обладнання та виконання креслення пристосування. Для РГР використовуються методичні вказівки [6].

Опрацювання розділів програми, які не розглядаються під час лекцій, передбачає підготовку студентами конспекту відповідних тематичних питань. Для цього використовуються підручники [4, 5], мережеві інтернет-ресурси [7, 8, 10].

Підготовка до модульного контролю передбачає опрацювання теоретичних питань, перелік яких розміщений та виконання тестів для самоконтролю [9].

11.Методи контролю

Модульний контроль, іспит.

12. Критерії оцінювання та розподіл балів, які отримують студенти

Розподіл балів, які отримують студенти (кількісні критерії оцінювання)

Складові навчальної роботи	Бали за одне заняття (завдання)	Кількість занять (завдань)	Сумарна кількість балів
Змістовний модуль 1			
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
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

Семестровий контроль (іспит/залік) проводиться у разі відмови студента від балів поточного тестування й за наявності допуску до іспиту/заліку. Під час складання семестрового іспиту/заліку студент має можливість отримати

Білет для іспиту/заліку складається з трьох питань, максимальна кількість балів за перше питання -30 балів, друге -30 балів, третє -20 балів (сума – 100 балів).

Критерії оцінювання роботи студента протягом семестру (Приклад 1).

Задовільно (60-74). Мати мінімум знань та умінь. Відпрацювати та захистити всі лабораторні роботи та домашні завдання. Вміти самостійно давати характеристику основному складу операцій сучасних технологічних способів виготовлення деталей. Вміти складати технічну документацію на пристосування для обробки та збирання виробів.

Добре (75 - 89). Твердо знати мінімум знань, виконати усі завдання. Показати вміння виконувати та захищати всі лабораторні роботи в обумовлений викладачем строк з обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах. Вміти проектувати засоби технологічного оснащення з урахуванням технічних вимог до деталі та виробничих умов. Вміти правильно вибирати способи вироблення заготовки в залежності від умов виробництва і конструкції деталі.

– **Відмінно (90 - 100).** Повно знати основний та додатковий матеріал. Знати усі теми. Орієнтуватися у підручниках та посібниках. Досконально знати усі технології, які

використовуються при проектуванні АТ. Вміти використовувати склад стандартів, довідників і методичної літератури, що регламентують проектування техпроцесів, інструмента, штампів та підбір обладнання.

Безпомилково виконувати та захищати всі лабораторні роботи в обумовлений викладачем строк з докладним обґрунтуванням рішень та заходів, які запропоновано у роботах.

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. 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.
2. 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.
3. Ian Gibson, David Rosen & Brent Stucker. Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing, 2d ed., Springer Science, Business Media New York 2010, 2015.
4. 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.

!4. Рекомендована література

Базова

1. Гибсон Я., Розен Д., Стакер Б. Технология адитивного производства. М., Техносфера, 2016. – 657 с.
2. On productivity of laser additive manufacturing (англ.) // Journal of Materials Processing Technology. — 2018-11-01. — Vol. 261. — P. 213–232.
3. Ian Gibson, David Rosen, Brent Stucker. Additive Manufacturing Technologies. 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing. Second Edition. Springer, 2015. – 498 с.
4. Технологія виготовлення деталей літальних апаратів з видаленням припуску [Текст]: підручник/ В.С. Кривцов [та ін]. – Х.: ХАІ, 2010. – 224 с.
5. 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.
6. 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.
7. 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.
8. 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. Справочник технолога-машиностроителя. / Под ред. Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 1986. Т.1 – 656 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя. / Под ред. Косиловой А.Г., Мещерякова Р.К. – М.: Машиностроение, 1986. Т.2 – 496 с.
3. Кривов Г.А. Технология самолетостроительного производства. Киев: КВШ, 1997. – 459 с.
4. Современные технологии авиастроения. / Коллектив авторов. Под ред. А.Г. Братухина, Ю.Л. Иванова. – М.: Машиностроение, 1999. – 832 с.
5. Системы автоматизированного проектирования технологических процессов, приспособлений и режущих инструментов. / Под ред. Корчака С.Н. – М.: Машиностроение, 1988. – 352 с.
6. Гжиров Р.И., Серебrenицкий П.П. Программирование обработки на станках с ЧПУ. Справочник. – Л.: Машиностроение, 1990. – 588 с.

15. Інформаційні ресурси

- 1.Електронна бібліотека каф.104: //DOMIK/SHARED/Методические материалы
- 2.Система дистанційного навчання «Ментор».