

МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ

Національний аерокосмічний університет ім. М. Є. Жуковського
«Харківський авіаційний інститут»

Факультет літакобудування

Кафедра технології виробництва літальних апаратів

Пояснювальна записка

ДО дипломної роботи
(тип кваліфікаційної роботи)
магістра
(освітній ступінь)

на тему «Удосконалення технології та оснащення виробництва елементів
механізації крила пасажирського літака»

ХАІ.104.1-96А.23О.134.21-9/22-1ф ПЗ

Виконав: здобувач(ка) 2 курсу групи № 1-96А
Галузь знань 13 «Механічна інженерія»
(код та найменування)

Спеціальність 134 «Авіаційна та ракетно-
космічна техніка»
(код та найменування)

Освітня програма «Технології виробництва та
ремонту літальних апаратів»
(найменування)

Морозюк Юрій Петрович

(прізвище та ініціали здобувача (ки))

Керівник: Микола БИЧКОВ
(ім'я та прізвище)

Рецензент: Сергій ІВАНОВ
(ім'я та прізвище)

Харків – 2024

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

Факультет _____ літакобудування _____
Кафедра _____ технології виробництва літальних апаратів _____
Рівень вищої освіти _____ другий (магістерський) _____
Галузь знань _____ 13 «Механічна інженерія» _____
(код та найменування)
Спеціальність _____ 134 «Авіаційна та ракетно-космічна техніка» _____
(код та найменування)
Освітня програма _____ «Технології виробництва та ремонту літальних апаратів» _____
(найменування)

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

_____ Катерина МАЙОРОВА _____
(підпис) (ім'я та прізвище)
«_____» _____ 20__ р.

З А В Д А Н Н Я
НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ

_____ Морозюк Юрій Петрович _____

(прізвище, ім'я та по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи «Удосконалення технології та оснащення виробництва елементів механізації крила пасажирського літака»

керівник кваліфікаційної роботи Бичков Микола Ігорович

(прізвище, ім'я, по батькові, науковий ступінь, вчене звання)

затверджені наказом Університету № 2054-уч від « 30 » 11 2023 року

2. Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи _____ 08 січня 2024 р. _____

3. Вихідні дані до роботи

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати)

5. Перелік графічного матеріалу (з точним зазначенням обов'язкових креслень)

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Конструкторський розділ	Бичков М.І., ст. викладач	04.12.2023	08.01.2024
Технологічний розділ	Бичков М.І., ст. викладач	04.12.2023	08.01.2024
Економічний розділ	Бичков М.І., ст. викладач	04.12.2023	08.01.2024
Спеціальний розділ	Бичков М.І., ст. викладач	04.12.2023	08.01.2024

Нормоконтроль _____ « ____ » _____ 20__ р.
(підпис) (ім'я та прізвище)

7. Дата видачі завдання « ____ » _____ 20__ р.

КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ з/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Конструкторський розділ	08.01.2024	
2	Технологічний розділ	08.01.2024	
3	Економічний розділ	08.01.2024	
4	Спеціальний розділ	08.01.2024	

Здобувач

(підпис)

Морозюк Ю.П.
(прізвище та ініціали)

Керівник кваліфікаційної роботи

(підпис)

Микола БИЧКОВ
(ім'я та прізвище)

АНОТАЦІЯ

Метою даної роботи являється удосконалення технології та оснащення виробництва елементів механізації крила пасажирського літака.

Дана робота містить:

1. Конструкторський розділ.
2. Технологічний розділ.
3. Економічний розділ.
4. Спеціальний розділ.

Конструкторський розділ, в якому було спроектовано крило літака типу Ан-74. Були проведені розрахунки конструкції крила, розроблено технічний опис і конструктивно-технологічний аналіз конструкції крила.

Технологічний розділ містить схему складання та ув'язування спроектованого крила, цикловий графік, проведене конструктивно-технологічне членування даного агрегату, проведені розрахунки для двох методів ув'язування, складені технічні умови на проектування пристрою складання крила, спроектовано конструкцію засобу механізації, складений технологічний процес на складання спроектованого крила, і на складання нервюри, а також спроектовано агрегатно-складальний цех.

Економічний розділ включає в себе аналіз ринку збуту, маркетингу, розрахунок собівартості виробу, розрахунок техніко-економічних параметрів цеху складання крила, а також визначення точки беззбитковості.

В спеціальному розділі проаналізовано розвиток адитивних технологій виробництва, їх переваги перед класичними методами і приклади їх застосування великими компаніями.

Кваліфікаційна робота містить: 126 сторінок пояснювальної записки, 35 рисунків, 17 таблиць, 26 джерел бібліографічного списку, та 8 аркушів графічної частини.

Ключові слова: крило, літак, технологічність, аналіз ринку, технологічний процес, система управління якістю, нервюра, лонжерон.

ABSTRACT

The purpose of this robot is to improve the technology and equipment for the production of wing mechanization elements of a passenger aircraft

The robot is given the ability to take revenge:

1. Design section.
2. Technological section.
3. Economic section.
4. Special section.

The design department in which the wing of the An-74 type aircraft was designed. The structure of the wing structure was deconstructed, a technical description and a structural and technological analysis of the wing structure were developed.

The technological section includes a diagram of the folding and linking of the designed fender, a cyclic schedule, the structural and technological division of this unit has been carried out, the design has been carried out for two methods of linking, the technical minds have been put together for the design of the fender folding device, the design has been designed This particular method of mechanization, storage and technological process folding of the designed wing, and for folding ribs, as well as a designed aggregate-storage workshop.

The economic section includes analysis of the sales market, marketing, product development, development of technical and economic parameters of the folding workshop, as well as the determination of the break-even point.

A special section analyzes the development of additive manufacturing technologies, their advantages over classical methods and their application by great companies.

Qualified work: 126 pages of explanatory note,
35 figures, 17 tables, 26 bibliographic lists,
and 9 arches of graphic parts.

Key words: *wing, flight, manufacturability, market analysis, technological process, quality control system, rib, spar.*

ЗМІСТ

С.

ВСТУП	8
1. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ	11
1.1 Технічний опис і конструктивно-технологічний аналіз базової конструкції крила.....	12
1.2 Розрахунки варіантів конструкції	24
1.3 Техніко-економічне обґрунтування конструктивних рішень	30
1.4 Складання технічних умов на виготовлення агрегату літака	31
1.5 Аналіз технологічності конструкції крила	32
2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ	36
2.1 Аналіз існуючого виробництва	37
2.2 Конструктивно-технологічне членування крила	37
2.3 Розробка варіантів методів складання, схем складання і схем ув'язування заготівельної і складального оснащення	39
2.4 Схема базування при складанні спроектованого крила	47
2.5 Технічні умови на проектування і конструкцію стапеля загального складання крила	48
2.6 Директивний технологічний процес монтажу стапеля	49
2.7 Порядок монтажу балок і вузлів стапеля складання крила	51
2.8 Проектування конструкції засобу механізації складальних робіт	52
2.9 Технічні умови на постачання підбірок в стапель загального складання	53
2.10 Організація та автоматизація виробництва.....	54
2.11 Організація робочих місць в цеху	57
2.12 Схема обслуговування робочого місця	58
2.13 Забезпечення якості виробу, що складається	59

2.14	Проектування агрегатно-складального цеху	64
2.15	Управління виробництвом в цеху	76
3.	ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ	80
3.1	Техніко-економічне обґрунтування проектування цеху складання крила пасажирського літака	81
3.2	Формування ринку попиту з урахуванням оцінки можливих ризиків і рекламної пропаганди для придбання стійких договірних замовлень на попит продукції	84
3.3	Вихідні дані для техніко-економічних показників цеху	85
4.	СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ	94
4.1	Адитивні технології виробництва. SLM & DMLS	97
4.2	SLM & DMLS: в чому різниця	98
4.3	Інші технології	109
4.4	Подальша обробка	110
4.5	3D-принтери для друку металами	110
4.6	Переваги та обмеження адитивного виробництва	114
4.7	Приклади застосування	116
4.8	Переваги 3D друку в авіабудуванні	119
4.9	Український виробник адитивних технологій	121
	ВИСНОВКИ	125
	БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК	126
	ДОДАТКИ.....	128

ВСТУП

Сьогоднішня ситуація в нашій державі змушує задуматися над збереженням виробничих потужностей державних авіаційних підприємств і підтримання їх конкурентоспроможності на світових ринках. З цієї причини актуальним зберігається завдання створення вискоєфективних виробничих систем, що реалізують сучасні технології. Особливі вимоги сьогодні пред'являються до проектування автоматизованих виробництв, до термінів і якості виконання проектних робіт.

Основним напрямком науково-технічного прогресу в сучасній промисловості є впровадження окремих видів машин до розробки і комплексів автоматичного обладнання на базі використання верстатів з ЧПК, промислових роботів, використання штучного інтелекту. Застосування таких комплексів дозволяє автоматизувати не тільки основні, але і допоміжні операції, тобто в максимальному ступені зменшити частку ручної праці і участі людини в технологічному процесі.

Використання новітніх технологій в машинобудуванні дозволяє отримати максимальні прибутки при виробництві різної продукції, що випускається цілими партіями, але тільки за умови, що підприємство буде мати досить високим показником гнучкості виробництва. Гнучкість виробництва – це здатність в короткі терміни переходити на випуск нових або модернізованих виробів, з мінімальними витратами.

Метою даного проекту є удосконалення технології та оснащення для складання спроектованого крила, забезпечити механізацію робочих процесів, а також запропонувати новітні та прогресивні методи виробництва.

1. КОНСТРУКТОРСЬКИЙ РОЗДІЛ

1.1 Технічний опис і конструктивно-технологічний аналіз базової конструкції крила

1.1.1 Загальні відомості про конструкцію літака і конструктивно-силову схему. Статистичні дані літака

Базовий літак Ан-74 – це легкий багатоцільовий літак, який є цивільною модифікацією Ан-72, військово-транспортного літака. Літак Ан-74 сконструйований АНТК імені Антонова, його можна застосовувати в різних кліматичних зонах, експлуатації в широкому діапазоні температур (від +45 до -60°C). Спочатку Ан-74 створювався для задіяння в районах крайньої Півночі.

Сфера застосування літака Ан-74 досить широка. Він може використовуватися для обслуговування арктичних станцій, здійснення пасажирських рейсів, перевезення поранених, застосовуватися для проведення льодової розвідки, в дослідницьких цілях, а також використовуватися як вантажний літак.

Базовий літак сертифікований Державним авіаційним реєстром МАК, зареєстрованим в ІКАО, за нормами льотної придатності літаків і має Сертифікат льотної придатності типу № 13-74. [2]

Літак Ан-74 (рисунок 1.1) являє собою суцільнометалевий вільнонесучий моноплан з високорозташованим крилом і однокілевим Т-образним оперенням. Планер і всі системи літака виконані у всекліматичному виконанні. Силова установка літака складається з двох турбовентиляторних двигунів Д-36 серії 3А, злітною тягою по 6500 кгс (63,7 кН), консольно закріплених над крилом, і допоміжної силової установки ТА-12, розташованої в технічному відсіку правого обтічника шасі. Шасі трьохопорне з керованою носовою стійкою. Основні стійки шасі прибираються в обтічники на фюзеляжі, носова стійка в нішу шасі, розташовану в передній частині фюзеляжу.

Велика тягооснащеність, наявність на літаку допоміжної силової установки (ДСУ) для автономного запуску двигунів та бортових засобів механізації вантажно-розвантажувальних робіт, високе розташування двигунів і конструкція шасі з пневматиками низького тиску забезпечують автономну експлуатацію літака як з

аеродромів з штучним покриттям (ШЗПС), так і з ґрунтових, галькових, крижаних і засніжених (ГЗПС, льодова ЗПС) аеродромів з міцністю покриття ЗПС 8,0 кгс/см² (800 кПа) і вище.

Призначення:

- перевезення вантажів, техніки, людей;
- проведення гуманітарних операцій;
- участь в ліквідації наслідків стихійних лих;
- евакуацію (у тому числі - медичну) з важкодоступних районів;
- патрулювання меж, повітряного простору, водних аква-торий, трубопроводів, лісів і так далі;
- виконання десантних операцій;
- вахтові перевезення;
- VIP- перевезення;
- визуальную льодову розвідку і проводку судів;
- розвідку рибних косяків;
- супровід і забезпечення різних експедицій.

Переваги:

- високе розташування двигунів, попадання сторонніх предметів, що виключає, в повітрозабірники із злітно-посадочної смуги;
- триопорне шасі з пневматиками низького тиску;
- високомеханізоване крило, велика тяговооруженность, що дозволяє виконувати укорочений зліт і посадку, а так само польоти з крутими траєкторіями;
- багатократне резервування основних систем;
- висока маневреність;
- вантажний люк в хвостовій частині;
- двопозиційна рампа, бортове навантажувальне устаткування;
- можливість автономного базування до 100 годинника в місяць.

В таблиці 1.1 наведені основні характеристики літака Ан-74.

Таблиця 1.1 – Характеристики літака Ан-74

<u>Технічні характеристики</u>	
Екіпаж	3-5 людей
Довжина	28,07 м
Висота	8,65 м
Площа крила:	98,62 м ²
Маса пустого	19 500 кг
Максимальна злітна маса	32 000 кг
Силова установка	2 × ТРД Д-36
Тяга	2 × 6500 кгс
<u>Льотні характеристики</u>	
Максимальна швидкість	720 км/ч
Крейсерська швидкість	550-600 км/ч
Практична дальність	2 700 км
Перегоночна дальність	4 700 км
Практичний потолок	10 100 м
Довжина розбігу	800 м
Довжина пробігу	450 м

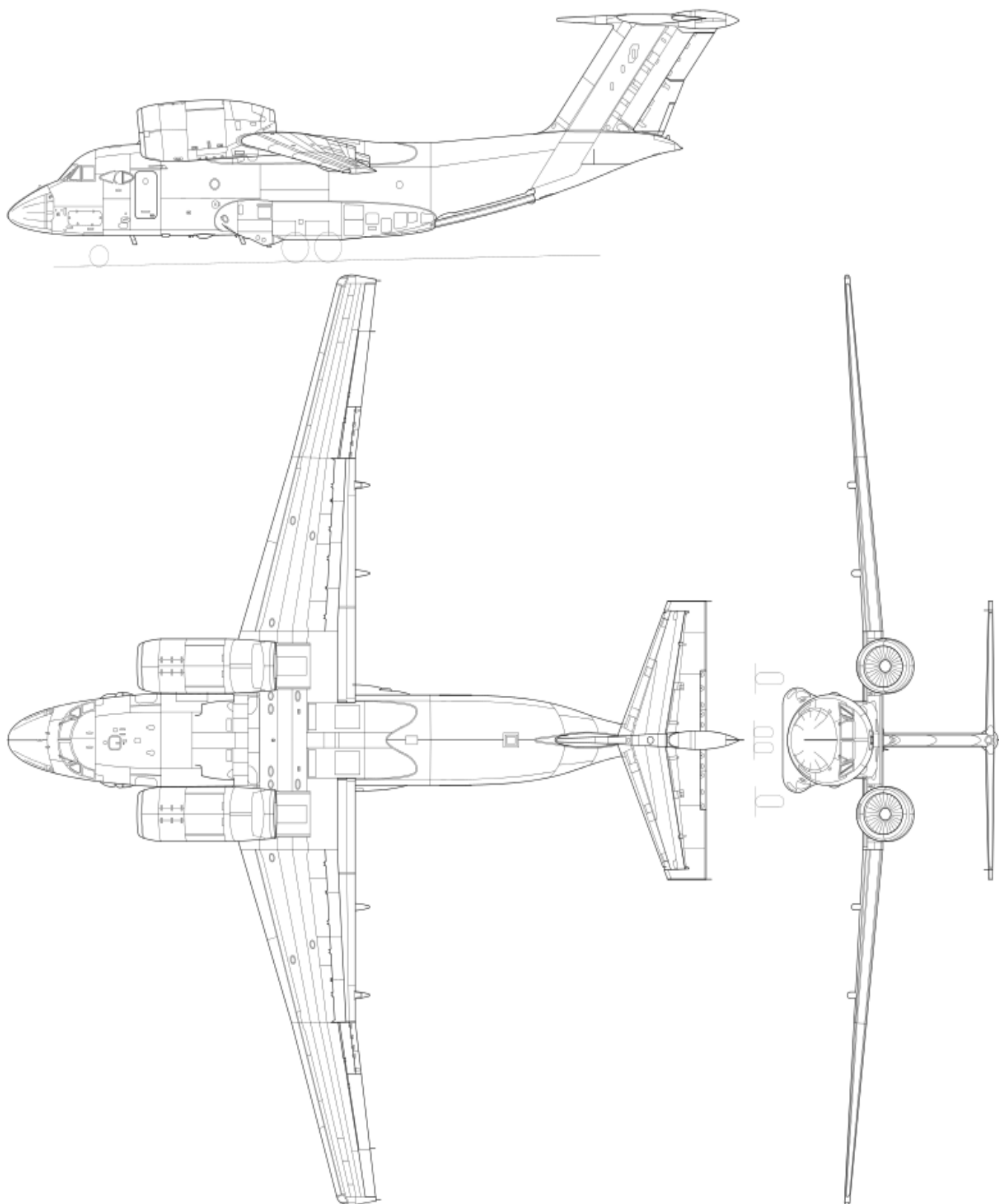


Рисунок 1.1 – Літак Ан-74

Характерні розміри і площі літака Ан-74 наведені в табл. 1.2.

Таблиця 1.2 – Розміри і площі літака Ан-74

Елемент	Розмір / Площа
1. Крило	
Площа, м ²	98,62
Розмах, м	31,89
Стріловидність консольної частини крила по лінії ¼ хорд	13°58'
Площа елеронів, м ²	5,22
2. Хвостове оперення	
Площа ГО, м ²	24,5
Площа РВ, м ²	9,7
ВО, м ²	16,1
Площа РН, м ²	6,08
3. Фюзеляж	
Довжина, м	25,735
Максимальний діаметр, м	3,1
Загальний об'єм грузової кабіни, м ³	70
Розміри грузового люка, м	7,1 x 2,4
Розміри входних дверей, м	1,65 x 0,8

1.1.2 Аналіз конструкції крила

Крило металеве (за винятком інтерцепторів, відкидних панелей носової і хвостової частин, обтікачів рейок), високо розташоване, вільнонесуче. По 8-й нервюрі має поперечний нероз'ємний технологічний стик, який ділить його на центральну частину розмахом 7400 мм, хордою 4450 мм і дві консолі розмахом по 9300 мм, що мають трапецієвидну форму в плані, стріловидність по 1/4 хорди 13°57' і кут поперечного V – 5°.[3]

По третій нервюрі крило має конструктивний роз'єм з боковинами шпангоутів 17 і 21 фюзеляжу.

По передній кромці крила між 8-ю і 27-ю нервюрами розміщені частина секцій керованих щілинних предкрилків.

У задній частині крила розташовані: чотири секції трьох- і двох-щілинних закрилків, 12 секцій інтерцепторів, по одній секції елеронів на кожному напівкрилі, один трімер на лівому елероні і хвостова частина.

Міжлонжеронна частина крила між 20-ю правою і 20-ю лівою нервюрами виконана герметичною і служить бак-кесоном.

Технологічно міжлонжеронна частина крила розчленована по восьмий нервюрі на центральну (ЦЧК) і консольні частини (КЧК). Центральна частина крила розчленована на лонжерони (І і ІІ), верхні і нижні панелі, нервюри 0-7.

Консольні частини крила розчленовані на лонжерони (І і ІІ), верхні і нижні панелі, нервюри 9-27.

Кесон розділений на дев'ять паливних відсіків герметичними нервюрами 3, 8, 13, 19 і 20.

Відсік міжлонжеронної частини крила від 20-ї до 27-ї нервюри (правий і лівий), негерметичний.

Міжлонжеронна частина крила (кесон) складено-монолітної конструкції має по 8-й нервюрі поперечний технологічний стик.

Габарити міжлонжеронної частини крила 25400x1845, маса 1644 кг.

Центральна частина крила (ЦЧК)

Лонжерони ЦЧК монолітної конструкції виконані з пресованого профілю (Д16чТ), верхній пояс таврикового перетину; нижній – вуголкового.

Балки лонжеронів підкріплені вертикальними стійками з пресованого профілю (Д16Т).

На І і ІІ лонжеронах ЦЧК по 3-й нервюрі встановлені кронштейни стикування крила з силовими шпангоутами фюзеляжу (АК6), по 5 і 6 нервюрі – кронштейни (ВТ-22) навішування балки двигуна. Між осями 2-ї нервюри (правої і лівої) на І і ІІ

лонжеронах встановлюються дуги (Д16чТ) стикування крила з обшивками фюзеляжу.

По 5-й і 8-й нервюрам на II лонжероні встановлені кронштейни (ВТ-22) навішування рейок закрилків. Габарити I лонжерона 7400x600, маса 97 кг, II лонжерона 7400x600, маса 103 кг.

Верхня панель ЦЧК складається з трьох монолітних технологічних панелей (В95пчТ1):

- по I лонжерону – 1-ша технологічна;
- по II лонжерону – 3-тя технологічна панель;
- середня 2-га технологічна панель знімна.

Всі панелі піддаються поверхневому зміцненню. Технологічні панелі по подовжньому стику з'єднані між собою болтами. Стики герметизуються.

На першій і третій технологічних панелях виконані п'ять експлуатаційних люків еліптичної форми.

Габарити верхньої панелі 7400x1845, маса 230 кг.

Нижня панель ЦЧК складається з набору чотирьох пресованих панелей (Д16чТ) і двох пресованих стрічок (Д16чТ) розташованих уздовж I і II лонжеронів. По подовжніх стиках панелі і стрічки кріпляться між собою болтами (ВТ-16), що встановлюються з пружно-пластичним натягом.

Всі панелі і стрічки після виготовлення піддаються поверхневому зміцненню. Габарити нижньої панелі 7400x1845 мм, маса 303кг. Поперечний набір ЦЧК складається з 15 нервюр (0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7 праві і ліві) балочної конструкції. Пояси нервюр виконані з Д16Т, стінки з Д16АТ, стійки з пресованих профілів Д16Т.

Нервюри ЦЧК 5, 6, 7 і 8 – силові. [3]

Консольна частина крила (КЧК)

Стикування панелей ЦЧК і КЧК проводиться за допомогою профілю роз'єму (Д16чТ), що складається по верхнім панелям з трьох частин, по нижнім – з чотирьох частин.

I і II лонжерони ЦЧК і КЧК стикуються по 8-й нервюрі за допомогою стійок, виконаних з Д16Т і ВТ-22, фітингів з АК6.

Стик між нижніми панелями по 8 нервюрі з боку теоретичного контуру закриваються силовою стрічкою (Д16АТ), що складається з трьох частин.

Кріплення стрічок здійснюється болтами з пружно-пластичним натягом через нижні панелі зі стикувальними профілями роз'єму.

I і II лонжерони КЧК балочної конструкції складаються з верхнього пояса таврового перетину і стінок підкріплених стійками з пресованого профілю. Матеріал верхніх поясів В95пчТ1, нижніх – Д16чТ, стінок і стійок – Д16Т.

У стінці I лонжерона КЧК виконані вирізи і встановлені гермостакани для заходу рейок предкрилків. Габарити I лонжерона 9000х 600, маса 57 кг, II лонжерона 9000х600, маса 53 кг.

Нервюри з 9 по 27 (праві і ліві) балочної конструкції складаються з верхніх і нижніх поясів (Д16Т), стінок (Д16АТ), підкріплених стійками з пресованих профілів (Д16Т), нервюри 12, 18, 26 – силові.

Верхні панелі КЧК виготовлені з листового матеріалу з приклепаними стрінгерами. Обшивки і стрінгери верхніх панелей КЧК виконані з матеріалу В95пчТ1. По 20-й нервюрі на верхній обшивці є поперечний технологічний стик. Середня панель КЧК виконана знімною. Між 8 і 9 нервюрами у I лонжерона КЧК в обшивці виконаний експлуатаційний люк (правий і лівий), другий люк (правий і лівий) розташований між 18 і 20 нервюрами є частиною знімної панелі. Габарити верхньої панелі 9000х1845, маса 124 кг.

Нижні панелі КЧК складаються з обшивки з приклепаними стрінгерами і двох стрічок уздовж I і II лонжеронів КЧК. Матеріал обшивок і стрінгерів – Д16чТ. По 20-й нервюрі на нижній обшивці є нероз'ємний стик. Габарити нижньої панелі 9000х1845, маса 88 кг.

Кесон крила герметизується внутрішньо і поверхнево. [3]

Предкрилок

Цільовий керований предкрилок складається з трьох секцій (8-16 нервюри крила, 16-22 нервюри крила, 22-27 нервюри крила) на кожній КЧК. Коренева і середня секції навішуються на трьох вузлах кріплення, кінцева – на двох.

Механізм управління предкрилка складається з рейки, встановленого на силовий нервюри предкрилка і каретки, нерухомо закріпленої на I лонжероні. Матеріал рейок – ВТ-22. Кожна секція предкрилка приводиться в рух двома кульково-гвинтовими підйомниками.

У нейтральному положенні предкрилка вільні кінці рейок входять в кесон через отвори в стінці I лонжерона КЧК, які з боку кесона закриті герметичними ковпаками.

Конструкція секції предкрилка – складено-клепана і складається з зовнішньої обшивки (Д16АТ), гофри (Д16АМ), внутрішньої обшивки (Д16АТ), закінцівки (Д16Т) і набору нервюр (Д16Т). Габарити I секції 4000х600, маса 40 кг, II секції 3000х400, маса 17 кг, III секції 2000х300, маса 9,2 кг. [3]

Носова частина крила

Носова частина крила включає заліз ЦЧК (3-4 нервюри) і носову частину КЧК (8-27 нервюри). Заліз ЦЧК виконаний знімним. Складається з обшивки, набору нервюр і кришки люка, матеріал Д16.

Носова частина КЧК – знімна, технологічно розділена на частини (8-16 нервюри, 16-22 нервюри, 22-27 нервюри). Кожна частина носової частини складається з обшивки, нервюр, напівнервюр (Д16Т) відкидних панелей і люків.

Обшивка і верхні частини всіх нервюр і напівнервюр приклепані до поясу I лонжерона. Нижня частина носка виконана з набору відкидних панелей і люків для забезпечення доступу до агрегатів в носовій частині крила. Габарити носової частини 9000х800, маса 38 кг. [3]

Закрилки крила

Закрилки крила розсувні, складаються з двох секцій на кожному напівкрилі і діляться на зовнішні і внутрішні. Зовнішній закрилок складається з трьох ланок: дефлектора, основної ланки і хвостового ланки. Дефлектор встановлений рухомо на основній ланці за допомогою рейок і кареток. Хвостова ланка також встановлена на основній ланці на чотирьох поворотних кронштейнах. Основна ланка навішена на крило за допомогою двох механізмів, розташованих в поворотних обтічниках під закрилком.

Механізм закрилка складається з рейок з двома направляючими полками, кареток і механізму розсування ланок закрилка. Привід закрилка здійснюється кульково-гвинтовими підйомниками, встановлених в обтічниках механізмів. Матеріал деталей механізму В-22, АК6.

Конструкція ланок закрилка – складено-клепана. Основна ланка складається з лонжеронів, верхньої обшивки, задньої обшивки, нижньої обшивки, хвостика, набору нервюр і носків.

Дефлектор складається з лонжерона, носка, хвостика і обшивки.

Обшивки ланок закрилків виконані з матеріалу Д16, Д19. Матеріал нервюр, поясів і стінок лонжеронів – Д16.

Конструкція і членування ланок внутрішніх двохщільних закрилків аналогічна трьохщільній. Матеріал обшивок – АБМ-1. Габарити закрилка ЦЧК 3000x800, маса 64 кг, КЧК 5125x800, маса 83 кг. [3]

Інтерцептори

Інтерцептори є продовженням верхньої обшивки хвостової частини крила і складаються з 12-ти секцій. Кожна секція кріпиться за трьома вузлами до хвостової частини крила, одна з яких торцева.

Між середніми опорами встановлені гідравлічні підйомники прибирання і випуску інтерцепторів.

Секції I-IV інтерцепторів складаються з лонжерона, нервюр, зовнішньої і внутрішньої обшивок, простір між якими заповнено стільниковими блоками. Секції V і VI – складено-клепаної конструкції.

Лонжерон складається з поясів і стінки. Матеріал поясів, стінки, нервюр – Д19Т, обшивок – сплав АБМ-1. Габарити інтерцепторів I і II секції 1200х600, маса 12 кг; III, IV, V і VI секцій 1500х500, маса 11,7 кг. [3]

Хвостова частина крила

Хвостова частина ЦЧК і КЧК – складено-клепаної конструкції.

Хвостова частина КЧК складається з верхньої обшивки, поздовжнього силового набору (стрингери, поздовжня хвостова балка), нижніх відкидних панелей, поперечного силового набору (хвостові нервюри, хвостові балки, трубчасті підкоси).

Матеріал обшивки АБМ-1, деталей поперечного і поздовжнього набору – АКЧ-14Т1.

За конструкцією і матеріалами хвостова частина КЧК від 8-ї до 20-ї нервюри крила аналогічна конструкції хвостової частини ЦЧК з наступною відмінністю – матеріал верхньої обшивки хвостової частини КЧК – Д16Т.

Хвостова частина КЧК від 20-ї до 27-ї нервюри крила складається з верхньої, нижньої і хвостової обшивок, нервюр профілів, гнутиків, кронштейнів, книць, закінцевочного ножа.

Матеріал перерахованих деталей – Д16Т.

На поздовжній балці хвостової частини ЦЧК і КЧК до 20-ї нервюри встановлені вузли навішування інтерцепторів.

Поздовжня балка хвостової частини кріпиться до II лонжерону за допомогою трубчастих підкосів. Габарити хвостовій частині 11350х725 мм, маса 54 кг. [3]

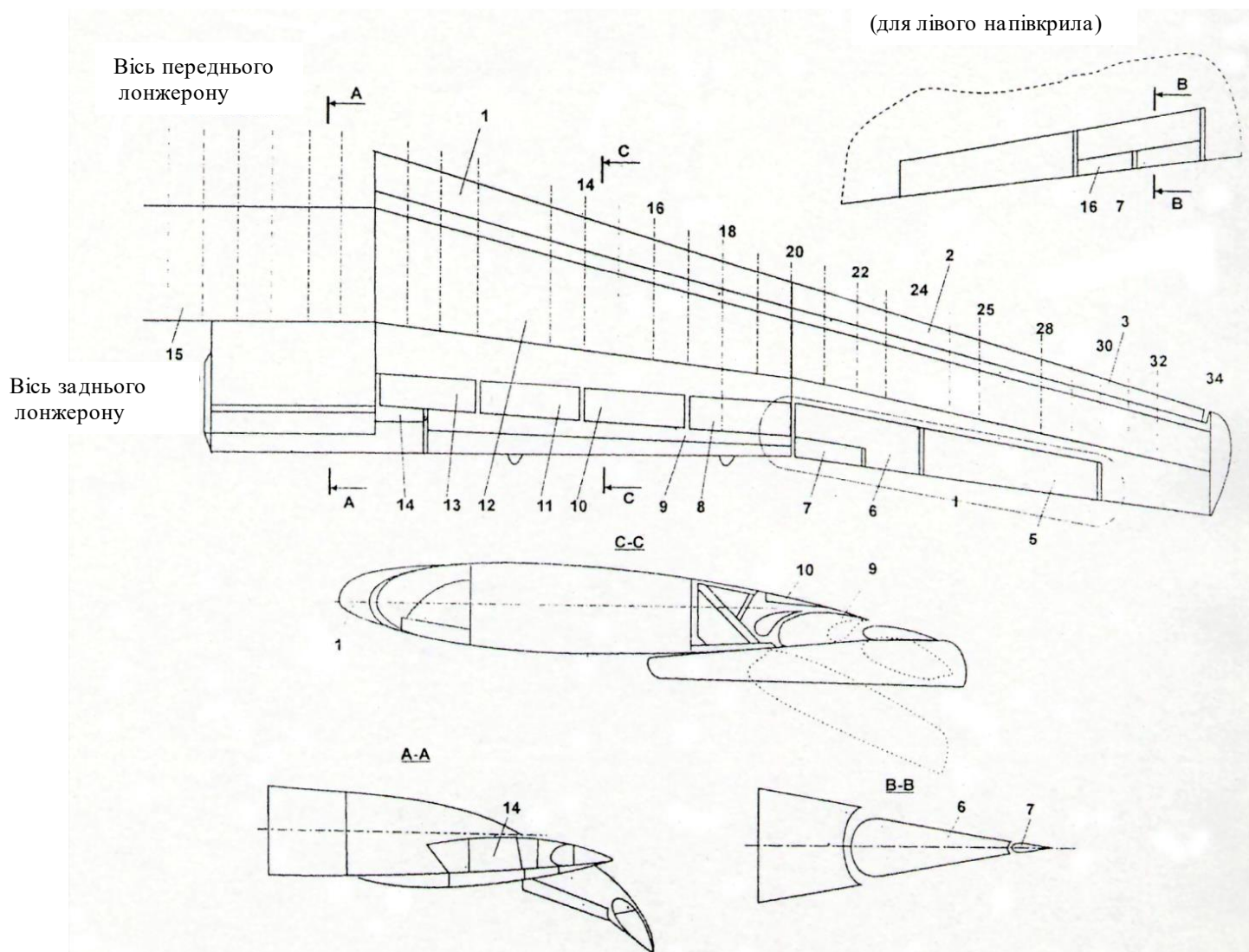


Рисунок 1.2 – Крыло літака Ан-74:

- 1, 2, 3 – перша, друга і третя секції предкрилка; 4 – закінцівка крила;
 5, 6 – зовнішня і внутрішня секції елерона; 7 – сервокомпенсатор;
 8, 10, 11, 13 – секції інтерцептора; 9 – кінцевий (зовнішній) закрилок;
 12 – КЧК; 14 – внутрішній закрилок; 15 – центроплан; 16 – тример

Елерон

Елерон щілинний, зависає з ваговим балансуванням і аеродинамічною компенсацією. Складається з двох трьохопірних секцій, накладених на кожну консоль.

Конструкція елерона клепана, складається з лонжерона, нервюр і обшивки. Матеріал Д16АТВ. Габарити елерона 3000х500, маса 33 кг.

На лівому елероні встановлений тример, стільникової конструкції, що балансується.

Закінцівка крила складається з обшивки нервюр, профілів, матеріал Д16Т. Габарити 1450х250, маса кг. [3]

1.2 Розрахунки варіантів конструкції

1.2.1 Розрахунок монолітної панелі

Монолітні панелі являють собою конструкцію, в якій обшивка і підкріплюючі ребра утворюють єдине ціле. При розрахунках виходимо з того, що при стисканні панель працює як широка стійка, отже, втрата стійкості може відбутися в напрямку, перпендикулярному площині панелі, і жорсткістю на згин в поперечному напрямку можна знехтувати. Широку стійку можна розглядати як кілька окремих стійок, розташованих впритул один до одного і однаково напружених. Ширина панелі вважається постійною, при цьому навантаження складають погонні осьові зусилля. [1]

У розрахунку будемо використовувати наступні вихідні дані:

$$M_{изг} = 1,407 \cdot 10^6 \text{ Нм};$$

$$Q = 0,32186 \cdot 10^6 \text{ Н};$$

Ширина панелі $b^* = 1,38 \text{ м}$.

Приблизну висоту коробки знайдемо з формули:

$$H_0 = 0,98 \cdot \frac{H_{nl} + H_{zl}}{2} = 0,98 \cdot \frac{0,3 + 0,28}{2} = 0,28 \text{ м}, \quad (1.1)$$

де H_{nl} – висота переднього лонжерона;

H_{zl} – висота заднього лонжерона.

Зусилля, що сприймається панеллю: $Q = P$.

Погонні осьові зусилля знайдемо з формули:

$$N = \frac{P}{b^*}, \quad (1.2)$$

$$N = \frac{0,32186 \cdot 10^6}{1,38 \cdot 10^3} = 8,86476 \frac{\partial \alpha H}{\text{мм}^2}$$

Відстань між нервюрами: $a = 410$ мм.

Матеріал панелі – В95пчТ2.

Механічні властивості матеріалу:

$$\sigma_b = 500 \text{ МПа}, \sigma_{0,2} = 440 \text{ МПа}, \delta = 7\%,$$

$$E = 7,15 \cdot 10^9 \frac{\partial \alpha H}{\text{М}^2}$$

Задаючись параметрами панелі (рис. 1.7) $\frac{b}{h} = 3,5$, $\frac{V}{V_p} = 0,75$, визначимо поправочний коефіцієнт ξ , враховуючий дійсну форму стійки і залежить від поперечного перерізу $\left(\alpha = \frac{b}{n} \cdot \frac{V}{V_p}, \alpha = 2,625 \right)$.

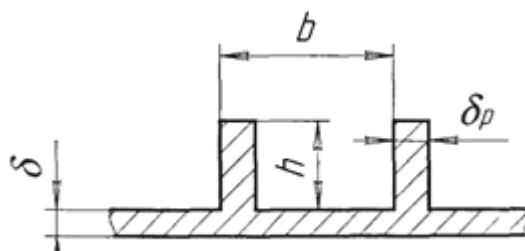


Рисунок 1.3 – Параметри монолітної панелі

Отримуємо:

$$\xi = \frac{1}{1 + 2,625} \cdot \sqrt{1 + 42,625} = 0,9355 \quad (1.3)$$

Знайдемо коефіцієнт форми, що визначає конструктивну ефективність панелі:

$$F = 0,95 \cdot \sqrt[4]{CK_2} \cdot \sqrt{\frac{\xi \cdot \sigma}{\sigma_p \cdot (1 + \alpha)}}, \quad (1.4)$$

де K_2 – коефіцієнт враховує взаємний вплив ребер і обшивки при спільній роботі.

За графіком залежності $K_2 = f\left(\frac{n}{b}; \frac{\sigma_p}{\sigma}\right)$ визначаємо $K_2 = 4,75$.

Тоді:

$$F = 0,95 \cdot \sqrt[4]{2 \cdot 4,75} \cdot \sqrt{\frac{0,9355 \cdot 0,75}{1 + 2,625}} = 0,73376,$$

$$\frac{\sigma_p}{\eta^{\frac{3}{8}}} = F \cdot \sqrt{E} \cdot \sqrt{\frac{N}{Q}} = 0,73376 \cdot \sqrt{7150} \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot 86476}{410}}, \quad (1.5)$$

$$\frac{\sigma_p}{\eta^{\frac{3}{8}}} = 9,155 \frac{\partial aH}{\text{мм}^2}.$$

За відомим графіком функції σ_p знаходимо величину руйнуючих напруг:

$$\sigma_p = 19 \frac{\partial aH}{\text{мм}^2},$$

$$\frac{\sigma_p}{\eta^{\frac{3}{8}}} = F \cdot \sqrt{E} \cdot \sqrt{\frac{N}{Q}} = 0,73376 \cdot \sqrt{7150} \cdot \sqrt{\frac{8 \cdot 86476}{410}};$$

Знаходимо σ_p :

$$\sigma_p = \frac{N}{\sigma \cdot \left(\frac{\delta}{\delta_1} + \frac{n}{b} \right)} = \frac{8 \cdot 86476}{1910,75 + 0,285} = 2,95 \frac{\partial aH}{\text{мм}^2}, \quad (1.6)$$

Визначимо ширину панелі за формулою:

$$b = \sqrt{\frac{K_2 \cdot \Pi}{12 \cdot (1 - M^2)}} \cdot \sqrt{\eta \cdot E \cdot \sigma^2 \cdot \frac{1}{\sigma_p}}. \quad (1.7)$$

$$b = \sqrt{\frac{4,75 \cdot \Pi^2 \cdot 7150 \cdot 3^2 \cdot \sqrt{1 \cdot 0,23}}{12 \cdot (1 - 0,3^2) \cdot 9}} = 176,2 \text{ мм},$$

де η - коефіцієнт пластичності.

$$\eta = \frac{\sigma_p}{\sigma_{nc}} \cdot \left(\frac{\sigma_{dn} - \sigma_n}{\sigma_{dn} - \sigma_{nc}} \right)^2 = 1,023, \quad (1.8)$$

$$\sigma_{dn} = (1,1 - 1,2) \cdot \sigma_{0,2} = 48 \frac{\partial aH}{\text{мм}^2}. \quad (1.9)$$

Конструктивно приймаємо наступні розміри панелі:

$$b = 176 \text{ мм}, \quad h = 37 \text{ мм}, \quad \delta_p = 4 \text{ мм}, \quad \delta = 3 \text{ мм}.$$

1.2.2 Проектування складальної панелі

Складальна панель є багатоелементною конструкцією. В таких панелях обшивка з'єднується з підкріплюючими елементами – стрингерами – за допомогою заклепок. [1]

Товщину обшивки і відстань між стрингерами знаходимо з умови забезпечення величини хвилястості крила не більше щодо прогину:

$$\bar{y} = 0,002.$$

Для стиснутої панелі: $\bar{P} = \frac{2}{3}$, $P_y^p = \frac{1}{S_{cm}}$,

$$P = \frac{M}{H} = \frac{1,407}{0,3} = 458641 \cdot 10^1 H, \quad (1.10)$$

$$\bar{P} = \frac{2}{3} \cdot \frac{458641}{7,919} = 38611,02 \frac{\partial aH}{M^2}, \quad (1.11)$$

$$\frac{\delta}{b} = \sqrt[3]{\frac{(1-\mu^2) \cdot \bar{P}}{32 \cdot E \cdot y}}, \quad (1.12)$$

де $\mu = 0,3$, $\bar{y} = 0,002$, $E = 7,2 \cdot 10^9 \frac{\partial aH}{M^2}$.

$$\text{Тоді } \frac{\delta}{b} = \sqrt[3]{\frac{(1-0,3^2) \cdot 38611,02}{32 \cdot 7,2 \cdot 10^9 \cdot 0,002}} = 4,24 \cdot 10^{-2}.$$

Відстань між стрингерами знаходиться в межах 120 – 300 мм.

Приймаємо $b = 0,125$ м, звідси $\delta = 0,125 \cdot 0,0424 = 5,3 \cdot 10^{-3}$ м.

Товщина полки стрингера $\delta_{стр} = 1,2 - 1,5$ мм.

З сортаменту вибираємо профіль Д16Т-ПР100-59 с $\delta_{стр} = 0,006 - 0,0075$ м.

Розрахунок числа стрингерів проводимо за формулою:

$$B = b \cdot (n+1), \quad (1.13)$$

де B – відстань між лонжеронами ($B = 1290$ мм),

тоді:

$$n = \frac{B}{b} - 1 = \frac{1290}{125} - 1 = 10 - 1 = 9. \quad (1.14)$$

Знайдемо несучу здатність панелі разом з лонжероном:

$$P = \sum F_n \cdot \sigma_{крп} + \sigma_{крстр} \cdot m \cdot (f_{стр} + 2 \cdot c \cdot \delta); \quad (1.15)$$

$$\sigma_{кр} = \frac{0,9 \cdot n \cdot E}{\left(\frac{B}{\delta}\right)}; \quad (1.16)$$

$$\sigma_{кр} = \frac{0,9 \cdot 0,45 \cdot 7,2 \cdot 10^9}{\left(\frac{32}{6,5}\right)^2} = 1,203 \cdot 10^8 \frac{\partial aH}{M^2}.$$

Профіль Д16Т-ПР100-59 має наступні параметри:

$$H = B = 32 \text{ мм}, S = 6,5 \text{ мм}, r = 4 \text{ мм}, r_1 = 3,25 \text{ мм};$$

Так як $\sigma_{кр} \geq \sigma_{нц} = 2,8 \cdot 10^7 \frac{\partial aH}{M^2}$, проведемо розрахунок за формулою:

$$\sigma_{кр.стр} = \sigma_b \cdot \frac{1+\nu}{1+\nu+\nu^2}, \quad (1.17)$$

де:

$$\nu = \frac{\sigma_b}{\sigma_{кр}} = 0,362. \quad (1.18)$$

$$\sigma_{кр.стр} = 4,35 \cdot 10^7 \cdot \frac{1+0,362}{1+0,362+0,362^2} = 3,968 \cdot 10^7 \frac{\partial aH}{м^2}.$$

Наведена товщина обшивки:

$$2c = 1,9 \cdot \delta \cdot \sqrt{\frac{E_{обш}}{\delta_{стр}}} = 1,9 \cdot 0,005 \cdot \sqrt{\frac{7,2 \cdot 10^9}{3,968 \cdot 10^7}} = 0,0127 \text{ м}. \quad (1.19)$$

Навантаження, що сприймається панелями:

$$P_y = 3,2186 \cdot 10^4 \partial aH.$$

Визначимо навантаження, яке сприймається панелями і лонжеронами:

$$P' = P = 3,699 \cdot 10^3 \partial aH. \quad (1.20)$$

Коефіцієнт надлишку міцності:

$$\eta = \frac{P}{P_y} = \frac{3,699 \cdot 10^3}{3,2186 \cdot 10^4} = 0,15. \quad (1.21)$$

Вибір відстані між нервюрами утворюємо з умови рівності стрингера:

$$L_n = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot i^2 \cdot m \cdot F}{\sigma_{кр.стр}}}, \quad (1.22)$$

$$i^2 = \frac{I}{F}. \quad (1.23)$$

Положення центру ваги з приєднаною обшивкою визначається за формулою:

$$I_{y,m} = \frac{S_0}{\sum F} = \frac{F_{2c} \cdot 0 + F_{стр} \cdot (x_{y,m}^{стр} + 1)}{F_{2c} + F_{стр}}, \quad (1.24)$$

$$I_{y,m} = 0,0043 \text{ м}.$$

Визначимо відстань між нервюрами:

$$L_n = 413 \text{ мм}.$$

Конструктивно відстань між нервюрами приймаємо $L_n = 410 \text{ мм}$.

1.2.3 Розрахунок тришарової панелі

Тришарова панель з стільниковим заповнювачем визначається низкою параметрів:

$$\delta_1, \delta_2, 2h, r.$$

Всі ці параметри повинні задовольняти умовам міцності, жорсткості і мінімуму маси:

δ_1 – товщина верхнього несучого шару;

δ_2 – товщина нижнього несучого шару;

$2h$ – висота блоку стільникового заповнювача;

r – радіус ланки стільника. [1]

В якості матеріалу несучого шару вибираємо сплав Д16АТВ:

$$\sigma_{\epsilon} = 4200 \frac{\partial aH}{\text{см}^2}; \quad \sigma_m = 2730 \frac{\partial aH}{\text{см}^2}; \quad E = 7,2 \cdot 10^5 \frac{\partial aH}{\text{см}^2}.$$

Для стільникового заповнювача вибираємо фольгу АМт-2-Н:

$$\sigma_{\epsilon} = 2600 \frac{\partial aH}{\text{см}^2}; \quad \sigma_m = 1690 \frac{\partial aH}{\text{см}^2}.$$

Визначимо зусилля стиснення N і зсуву T на одиницю ширини панелі. Проектована панель сприймає 70% згинального моменту. Також визначимо зусилля зсуву, яке виникає внаслідок дії крутного моменту:

$$N_{\text{сж}} = \frac{P_{\text{пан}}}{B_{\text{пан}}} = \frac{225302}{0,89} = \mathbf{253148,32 \frac{H}{м}}. \quad (1.25)$$

де $P_{\text{пан}}$ – навантаження, що діє на панель;

$B_{\text{пан}}$ – наведена ширина панелі (середня);

$$T_{\text{ед}} = \frac{M_{\text{пан}}}{2F} = \frac{55796 \cdot 16}{2 \cdot 0,249} = \mathbf{112040,48 \frac{H}{м}}, \quad (1.26)$$

де $M_{\text{кр}} = Q \cdot a$ – крутний момент в перерізі, a – відстань від центру ваги перетину до лінії дії сили Q :

$$M_{\text{кр}} = 166060 \cdot 0,336 = 55796,16 \text{ Н} \cdot \text{м},$$

$$F = 0,249 \text{ м}^2.$$

При спільній дії стиснення і зсуву критичне значення наведеного навантаження визначають за формулою:

$$N_e^* = \sqrt{N_{\text{сж}}^* + 3 \cdot T_{\text{ед}}^2} = \sqrt{(253148,31)^2 + 3 \cdot (112040,48)^2} = 318971,96 \frac{H}{м}. \quad (1.27)$$

Умовна ширина панелі:

$$b^* = \beta \cdot b, \text{ где } \beta = 0,47 \text{ при } \frac{a}{b} > 3, \omega = 0,005.$$

Таким чином $b^* = 0,89 \cdot 0,47 = 0,42 \text{ м}.$

Визначаємо відношення:

$$\frac{N_e^*}{b^*} = \frac{318971,96}{0,42} = 79457,02 \frac{H}{м}. \quad (1.28)$$

За відомим графіком для $\frac{N_e^*}{b^*} = 7,6 \frac{\partial aH}{\text{см}^2}$ і $\omega = 0,005$ знаходимо оптимальне відношення $\frac{2 \cdot (h + \delta)}{b^*}$.

Вирішуючи систему рівнянь, визначаємо параметри сот:

$$\begin{cases} \frac{\delta}{2 \cdot (h + \delta)} = 0,0244, \\ \frac{2 \cdot (h + \delta)}{b^*} = 0,0535, \\ \frac{\delta_e}{r} = 0,016. \end{cases} \quad (1.29)$$

Маємо:
$$\begin{cases} \delta = 0,0005482 \text{ м}, \\ 2h = 0,0214 \text{ м}. \end{cases}$$

З огляду на наявні обмеження, отримуємо параметри панелі, зображеної на рис. 1.8.

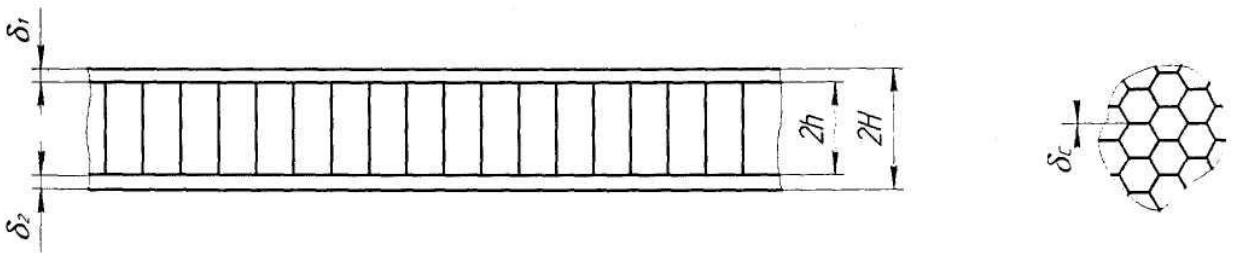


Рисунок 1.4 – Тришарова панель

1.3 Техніко-економічне обґрунтування конструктивних рішень

Запишемо рівняння для основного і модифікованого рішень:

$$G_{\text{мод}} = G_{\text{зан}} + G_{\text{обш}} + G_{\text{кл}}, \quad (1.30)$$

де $G_{\text{зан}}$ – маса заповнювача;

$$G_{\text{зан}} = \gamma \cdot \delta_{\text{зан}} \cdot S; \quad (1.31)$$

$G_{\text{обш}}$ – маса обшивки;

$$G_{\text{обш}} = (\delta_1 + \delta_2) \cdot S \cdot \gamma; \quad (1.32)$$

$G_{\text{кл}}$ – маса клею;

$$(G_{\text{кл}} = 140 - 170 \frac{\text{г}}{\text{м}^2}); \quad (1.33)$$

δ_1 і δ_2 – товщина верхнього і нижнього шарів;

S – площа панелі;

γ – питома маса панелі, $\gamma = 2700 \frac{\text{кг}}{\text{м}^3}$;

$$\delta_{зан} = 1,54 \cdot 2h \cdot \frac{\delta_0}{r} \cdot A_1; \quad (1.34)$$

A_1 – коефіцієнт, що враховує масу клею, що з'єднує ланки заповнювача ($A_1 = 1,01$).

Проводячи обчислення, отримуємо:

$$G_{баз} = 120,132 \text{ кг} , G_{мод} = 113,47 \text{ кг} .$$

Коефіцієнт зменшення маси агрегату становить:

$$\alpha = \frac{G_{мод}}{G_{баз}} = \frac{113,47}{120,132} = 0,94 . \quad (1.35)$$

Виграш модифікованої панелі порівняно з базовою становить 6,662 кг. У зв'язку з цим, більш доцільно застосовувати в конструкції КЧК тришарові панелі.

Для складальної панелі:

$$G_{сбор} = 130,96 \text{ кг} ,$$

$$\alpha = \frac{G_{мод}}{G_{сбор}} = \frac{113,47}{130,96} = 0,87 . \quad (1.36)$$

Виграш модифікованої панелі в порівнянні зі складальною становить 17,49 кг.

1.4 Складання технічних умов на виготовлення агрегату літака

Технічні умови (ТУ) на виготовлення агрегату складаються з відомостей, що стосуються точності ув'язування, ступеня складальної закінченості, можливих відхилень від креслення, вимог випробування і контролю. ТУ вказуються на складальному кресленні об'єкта складання.

1. Незазначені граничні відхилення розмірів форми і розташування поверхонь по ОСТ 100022-80;
2. * Розміри для довідок;
3. Зображена права частина крила. Ліва частина крила від площини симетрії літака - дзеркальне відображення правої частини крила;
4. Болти встановлювати на гр ЕП-0215 ТУ6-10-1966-84 після виконання такелажних робіт;

5. Головки болтів покрити: емаль ЕП-140, темно-зелений, 73ОСТ 190055-85;

6. Установка болтів і гайок за РТМ 1.4.1941-89 на герметику 930МЕС-5М.

Отвори під болти обробляти по Н7;

7. Затягування болтів по ОСТ 131066-86 і ОСТ 112085-77;

8. Покриття гайок і головок заклепок всередині кесона Гр. ЕП-0214
ОСТ 190055-82. Поза кесоном використовувати ЕП-140, темно-зелений, 473
ОСТ 190055-85;

9. Гострі кромки притупити;

10. Металізація по ОСТ 101025-82 за допомогою заклепок;

11. Клепати по ТІ 36-21-86 і ТІ 36-53-93;

12. Зенкувати отвори під заклепки ОСТ 134055-92 по АНУ 0500.088.002.

1.5 Аналіз технологічності конструкції крила

Технологічність конструкції – сукупність властивостей конструкції виробу, що проявляються в можливості оптимізації витрат праці, коштів. Матеріалів і часу при технічній підготовці виробництва, виготовленні, експлуатації і ремонту конструкцій виробів того ж призначення при забезпеченні встановлених значень показників якості та прийнятих умов виготовлення, експлуатації і ремонту.

Технологічність-властивість конструкції, закладена в ній при проектуванні і дозволяє отримати виріб із заданим рівнем якісних характеристик і високими технологічними показниками в виробництві та експлуатації. По області прояву властивостей розрізняють виробничу і експлуатаційну технологічність.

Виробнича технологічність конструкції крила проявляється в економії витрат коштів і часу на конструкторську і технологи-фізичну підготовку виробництва, а також на виготовлення.

Експлуатаційна технологічність конструкції виявляється в скороченні коштів і часу на технічне обслуговування і ремонт, а також на підготовчі та заключні роботи, пов'язані з підготовкою до польотів.

Оцінку технологічності конструкції крила будемо виробляти якісним методом. При якісній оцінці технологічності вважається достатнім виявити

характер відмінності в очікуваних витратах ресурсів, а не ступінь відмінності цього як при кількісній оцінці. Якісна оцінка допустима на всіх стадіях проектування виробу.

Конструкція крила відповідає цілому ряду загальних вимог технологічності, а саме:

1. Простота форм, поверхонь.

Форма обводів крила визначається аеродинамічними вимогами, тому вимагає достатньої точності виготовлення, високої чистоти поверхні, що виходить в потік. Форми крила виконані по лінійній утворюючій, крім закінцівки і обтічників механізмів закрилків. Спрощення форм підбірок, що входять в агрегат, можна отримати раціональним конструктивно-технологічним членуванням крила.

2. Раціональне членування крила.

Раціональне членування конструкції дозволяє отримати ряд істотних переваг при проектуванні та експлуатації. Конструктивно-технологічне членування виконується на стадії ескізного проектування, коли визначені тільки обводи.

3. Можливо більш широке застосування в конструкції стандартних вузлів і деталей.

Параметри стандартних вузлів і деталей ретельно відпрацьовані, виготовлення організовано на спеціалізованих підприємствах, що визначає високу якість, низьку собівартість стандартних вузлів і деталей, внаслідок чого їх широко застосовують в конструкціях.

4. Максимальне використання в конструкції легкооброблюючих матеріалів і раціональних заготовок.

Виконання цієї вимоги дозволяє значно знизити трудомісткість обробки деталей, полегшити їх деформування при зміні форми, спростити оброблення отворів під з'єднувальне кріплення. При цьому підвищується продуктивність праці, а також коефіцієнт використання матеріалу. Номенклатуру раціональних заготовок вибирають за умовами виробництва, використовуючи методи раціонального розкрою. Але при цьому геометрична форма деталей повинна сприяти цьому. До

легкооброблюючих матеріалів відносять традиційні алюмінієві сплави, титанові сплави. До раціональних заготовок, як правило, відносять точні штампування для великогабаритних деталей, точне лиття, пресовані профілі різного сортаменту.

5. Відсутність надмірно високих вимог до точності розмірів, форми, розташування і чистоти обробки поверхонь елементів конструкції.

Розрахунок розмірних ланцюгів обумовлює необхідну точність виготовлення деталей і складальних одиниць, а також точність монтажу і регулювання систем. Вихідні первинні допуски задають в технічній документації на літак. Технологічні розмірні ланцюги розраховує технолог, що дає можливість оптимізувати обрані методи складання, методи виготовлення деталей і забезпечення взаємозамінності, які в свою чергу впливають на технологічність виробу.

Таким чином, точність розмірів при виготовленні і складанні можна змінювати, зберігаючи, тим не менш, задану якість об'єкта. При зниженні точності зменшується трудомісткість і собівартість. Витрати виробництва при обробці поверхонь деталей залежать від класу необхідної чистоти (шорсткості) і способі обробки. Точіння, шліфування, полірування, хонінгування, обробка дробом та інші процеси повинні бути нормовані технічною документацією. При цьому рівень чистоти обробки поверхонь слід задавати обгрунтовано, так як в іншому випадку можуть виникнути складності при виробництві і контролі, які погіршать технологічність конструкції.

Конструкція крила дозволяє вести складання з компенсацією похибок виготовлення деталей і вхідних підзбірок.

Компенсація забезпечується компенсаторами та іншими подібними засобами.

6. Наявність підходів для контролю якості.

Для забезпечення цієї вимоги в конструкції крила передбачені люки знімні і відкидні панелі і підходи для контролю всіх можливих елементів конструкції.

7. Застосування в конструкції літального апарату можливе більшої кількості стандартних елементів, їх уніфікація (скорочення номенклатури).

Дотримання цієї вимоги є одним із головних, так як для конструктора це найбільш ефективний метод досягнення належного рівня технологічності. Тому технологічний аналіз технічної документації досвідченим технологом допомагає значно підвищити рівень стандартизації і уніфікації конструкції.

2. ТЕХНОЛОГІЧНИЙ РОЗДІЛ

2.1 Аналіз існуючого виробництва

Для виконання складальних робіт в цеху проводять наступні виробничі операції: свердлування, зенкування, установочно-монтажні роботи, клеपालні роботи, внестапельне складання, процеси герметизації, контроль.

Позитивними моментами існуючого виробництва можна назвати хорошу подачу деталей і рівень свердлильно-складальних робіт, хороша схема членування агрегату (окремо складається кожна підзбірка), універсальні складальні місця, стенди герметизації, піч вулканізації, висока кваліфікація робочих.

До негативних моментів відноситься високий рівень вібрації, шуму, робота в закритих відсіках з шкідливими речовинами (герметики, склопластик). До технологічних заходів по підвищенню якості виробу і ефективності виробництва відноситься, в першу чергу, культура виробництва в цілому, а як окремі моменти можна було б передбачити такі заходи для робочих які виконують операції клепання, обов'язково необхідно робити перерву, щоб не було вібраційної хвороби. Зменшити підвищенні вимоги кваліфікації робочих, так як робочий не може швидко освоїти професію через важкі операції (не менше одного року) і можна було б сприяти прискоренню автоматизації найбільш важких робіт.

2.2 Конструктивно-технологічне членування крила

Конструктивно-технологічне членування крила (рис.2.1), тобто розбивка конструкції на великі складальні одиниці, виконується в основному на стадії ескізного проектування, коли визначені тільки обводи і ще не розроблена конструкція.

Конструктивно-технологічні роз'єми крила обрані з таких міркувань:

- організація паралельно-послідовної схеми складання вузлів, панелей з метою розширення фронту робіт і скорочення циклу складання;
- забезпечення доступу до агрегатів паливної та дренажної систем, протизаморожувальна система (ПЗС), а також до системи централізованої заправки паливом кесон-бака;

- застосування складання вузлів і агрегатів в стапелях і пристроях спрощеної конструкції; максимальне використання пресової клепки в збірно-клепанних вузлах і панелях;
- механізація операцій оброблення класних отворів і постановки болтів з пружно-пластичним натягом. [5]

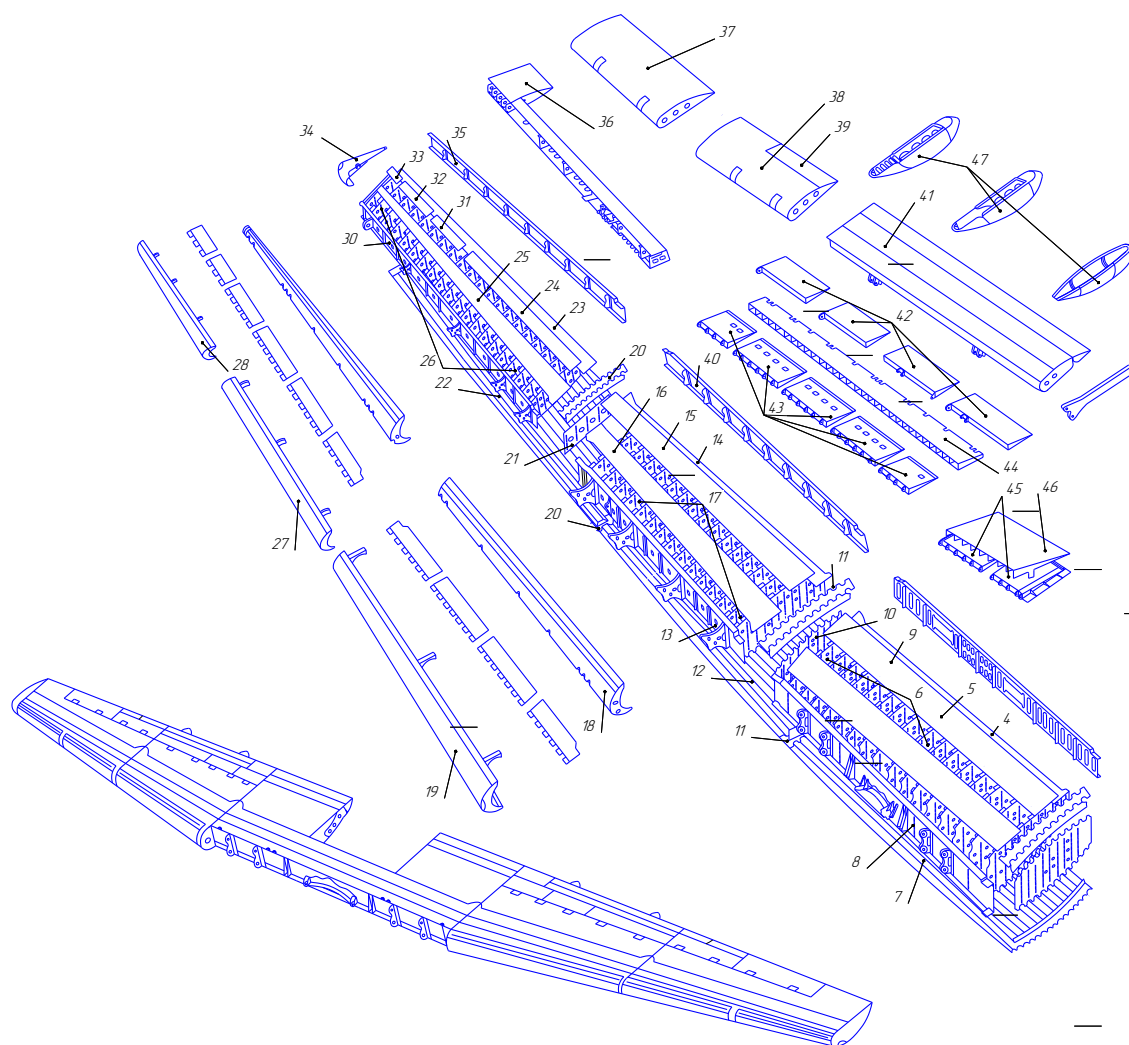


Рисунок 2.1 – Конструктивно-технологічне членування крила
(Повне креслення знаходиться в додатку)

Виходячи з конструктивно-технологічного членування крила розробляється і складальний оснащення. Воно проектується і виконується у вигляді стаціонарних або пересувних металевих пристроїв з базово-фіксуючими елементами: ложементами, рубильниками зі стандартними механізмами притиску і фіксації, а

також з кондукторами і кондукторними лініями, що забезпечують високу якість складання конструкції.

У стапель складання крила надходять носові і хвостові частини крила, нервюри, панелі, складені заздалегідь. Агрегати механізації встановлюються на внестапельному складанні.

2.3 Розробка варіантів методів складання, схем складання і схем ув'язування заготівельної і складального оснащення

Схема складання – послідовність подачі деталей і складальних одиниць на складання. Залежно від ступеня членування конструкції на складальні одиниці і ступеня диференціації складальних і монтажних робіт виділяють наступні схеми складання:

- послідовна;
- паралельна;
- паралельно-послідовна. [10]

Послідовна схема складання застосовується для конструкції агрегатів літака одиничного або дрібносерійного виробництва, коли в схемі членування не виділені панелі. Деталі й дрібні складальні одиниці послідовно нарощують на базову деталь або встановлюють на фіксатори складальних пристроїв. Тут, як правило, всі монтажні роботи виконують після складання-стикування. За даною схемою складання і монтаж виконують в умовах, в яких важко застосовувати механізацію процесів, фронт робіт вузький. Це значно збільшує показники трудомісткості робіт і цикл складально-монтажних робіт. Найчастіше застосовуються для складання складних вузлів і панелей.

Паралельна схема застосовується для складання агрегатів і відсіків, розчленованих на панелі і вузли, які складаються незалежно один від одного – паралельно. Монтажні роботи повністю або частково переносять на панелі. Широко використовують засоби механізації і автоматизації операцій установки кріплення. При роботі за даною схемою забезпечується висока якість робіт, різко

скорочуються трудомісткість і цикл складально-монтажних робіт (в порівнянні з послідовною в два-три рази).

Паралельно-послідовна схема використовується при складанні агрегатів, розчленованих на панелі, які складають паралельно, потім стикуються, а після цього виконують монтажні роботи на складеному агрегаті. Величина трудомісткості і циклу складально-монтажних робіт займає проміжне місце між послідовної і паралельної схемами складання.

Складання крила ведеться за паралельно-послідовною схемою. В окремих пристроях складають верхні і нижні панелі, нервюри міжлонжеронної частини крила, а також носову і хвостову частини, кінцевий обтічник і елементи механізації крила.

Перераховані вузли і підзбірки в міру готовності мають надходити в стапель загального складання крила. У стапелі загального складання проводиться установка і з'єднання першого і другого лонжеронів, нервюр, верхніх і нижніх панелей та інших підзбірок.

Складена міжлонжеронна частина крила з носової і хвостової частинами з стапеля надходять на стенд для внестапельних робіт. На стенді проводиться випробування паливної та дренажної систем, системи централізованої заправки паливом на герметичність, а також випробування гермовідсіків і всього кесона паливом на герметичність.

Випробувана частина крила надходить на стенд остаточного складання і відпрацювання механізації крила. У цьому стенді монтують механізми управління, навішують елерони, закрилки, предкрилки, інтерцептори, а також встановлюють відкидні панелі носової і хвостової частин, обтічники механізмів закрилків.

Відмінною особливістю технологічного процесу складання крила є необхідність послідовної установки нервюр з трубами паливної та дренажної систем і системою центральної заправки паливом. Це викликано тим, що значна довжина трубопроводів і схема магістралей всередині крила не дозволяє завести трубопроводи після складання кесона.

Така конструкція систем заправки, і дренажу є не досить технологічною, що створює додаткові незручності при складанні і в значній мірі визначає вибір самої схеми складання. [10]

2.3.1 Методи складання спроектованого крила

Метод складання характеризує, як базуються і за допомогою яких засобів встановлюються і з'єднуються деталі (або інші складальні одиниці) один щодо одного в цілях забезпечення їх правильного і точного взаємного розташування при складанні.

Методи складання поділяють за двома основними ознаками:

1. Спосіб базування складальних одиниць при установних операціях.
2. Ступінь взаємозамінності деталей, що з'єднуються, вузлів, панелей, відсіків.

За першою ознакою виділяють наступні методи складання:

- складання за кресленням;
- складання по розмітці;
- складання по складальним отворам;
- складання із застосуванням складального пристрою. [10]

Розглядаючи принцип використання поверхонь базування в якості відмінної риси складального процесу в літакобудуванні, виділяємо метод складання по координатно-фіксуючим отворах. Розглянувши сутність базування складальних одиниць в цьому методі, можна відзначити, що отвори розташовані на плоских поверхнях деталей і можуть бути задані системою лінійних розмірів в плоскій системі координат з подальшим перенесенням осей отворів на оснащення. Координати осей отворів, розташованих у вузлах складальних пристроїв легко можуть бути отримані за допомогою плаз-кондуктора і інструментального стенду. Таким чином, отвори-бази можуть бути задані в плоскій системі координат і призначені для установки і фіксації деталей в складальному пристрої.

За ступенем взаємозамінності виділяються наступні методи складання:

- метод повної взаємозамінності;

- метод неповної або обмеженої взаємозамінності;
- метод групової взаємозамінності (селективне складання).

При складанні крила використовується метод неповної або обмеженої взаємозамінності з компенсацією похибок, який дозволяє істотно спростити технологію заготівельних і складальних робіт. [10]

2.3.2 Ув'язування складального оснащення крила

Для забезпечення стабільної якості виготовлених в серійному виробництві літаків необхідно забезпечувати високий рівень взаємозамінності елементів конструкції, скорочуючи при цьому в основному виробництві обсяг припасувальних робіт.

Щоб досягти необхідної точності виготовлення і ув'язування складених виробів, розробляють схеми ув'язування заготівельної і складальної оснастки. Існують три види схем ув'язування:

- ув'язування з незалежним перенесенням інформації про форми і розміри;
- ув'язування залежна, тобто з залежним переносом інформації;
- ув'язування з компенсацією неузгодженості форми і розмірів.

Певинні джерела ув'язування – первинний носій пов'язаних значень геометричних параметрів складових частин ЛА. [10]

Види первинних джерел ув'язування

Креслення – ув'язування забезпечується на основі універсальної системою допусків і посадок. Використовується для ув'язування геометричних параметрів складових частин, жорсткої і простої форми.

Плази – первинне джерело ув'язування при якому ув'язування здійснюють на основі графічних побудов на площині (креслення плаза). До цього первинного джерела ув'язування відносять також (ОК) - відбиток контрольний і (ШКК) - шаблон контрольно-контурний, що виконує функції конструктивних плазів.

Еталон – ув'язування здійснюється за рахунок контактного копіювання поверхонь зразка або його частини. [10]

Програма – ув'язування здійснюється на основі розроблених математичних моделях поверхні (ММП) і створення керуючої програми для обладнання з ЧПК.

До первинних джерел не відносять програми, записані з плаза або еталонів.

Методи ув'язування:

1) плазові методи:

а) ПІМ – плазово-інструментальний (КІМ – координатно-шаблонний метод) використовується в основному для виготовлення і монтажу складальної оснастки з використанням ПК, ІС, МС, лазерних і оптичних засобів, а також для виготовлення об'ємного заготівельного оснащення (болванок, обтяжних пуансонів).

б) ПШМ – плазово-шаблонний метод використовується для виготовлення плоского та об'ємного заготівельного оснащення, верстатного оснащення, оснащення для складання плоских вузлів (нервюр, лонжеронів, шпангоутів, стінок).

в) ПММ – плазово-макетний метод застосовується обмежено для виготовлення заготівельного оснащення для деталей складної геометричної форми.

2) еталонні методи:

а) ЕММ – еталонно-макетний використовується для виготовлення за зразком зліпків і макетів для виробництва складного обводоутворюючого оснащення. Найбільш широко застосовується, наприклад, для трубопроводів.

б) ЕІМ – еталонно-інструментальний. Мають обмежене застосування і використовується для виготовлення еталонів на обладнанні з ЧПК, контролю, зчитування інформації з еталонів за допомогою контрольно-вимірювальних машин (КВМ).

в) ЕШМ – еталонно-шаблонний метод використовується для ув'язування на плоских ділянках поверхні зразка (наприклад елементи скління кабіни пілота), а також для відпрацювання оснащення в конкретних перетинах складних обводоутворюючих деталей і складальних одиниць.

3) програмні методи:

а) ПрІМ – для виготовлення деталей і оснащення використовується механо-оброблююче обладнання з ЧПК, для монтажу складального оснащення використовують вимірювальні засоби.

б) ПрШМ – програмно-шаблонний метод використовується для виготовлення на верстаті з ЧПК шаблонів (в якості засобів ув'язування), а виготовлення заготівельного і складального оснащення здійснюється по шаблонах. Застосовується при дефіциті устаткування з ЧПК, фахівців-програмістів.

в) ПММ – програмно-макетний метод використовується обмежено у зв'язку з відсутністю обладнання з ЧПК для обробки великогабаритного оснащення.

Для складання даного крила розглянемо програмно-інструментальний метод ув'язування (ПрІМ) та координатно-шаблонний метод які відрізняються по часам та коштам на ТПВ. [10]

2.3.3 Засоби і методи забезпечення взаємозамінності

Деталі, вузли, агрегати називаються взаємозамінними тільки в тому випадку, якщо умови їх роздільного виготовлення дозволяють здійснити складання без припасування.

Необхідність забезпечення взаємозамінності диктується наступними умовами:

а) виробничі умови.

При складанні вузлів і агрегатів, деталі повинні займати свої місця без припасування. В іншому випадку в процесі складання з'являються припасувальні роботи. Що порушує ритм виробництва, збільшує трудомісткість робіт на виріб і знижує його якість;

б) експлуатаційні вимоги.

В процесі експлуатації відбувається зношення деталей. Завдання взаємозамінності полягає в тому, щоб зношені деталі і вузли можна було б замінити з запасного комплекту в аеродромних умовах швидко і без припасувальних робіт;

в) вимоги якості.

Деталі й вузли, що надходять на складання і не є взаємозамінними підлягають припасуванню за місцем. Це викликає наявність тріщин в деталях, порушення зовнішніх контурів, сприяє створенню внутрішнього напруження, що може стати причиною передчасного руйнування деталей і вузлів в процесі виготовлення, порушення аеродинамічних обводів, а отже погіршення аеродинамічних якостей.

Для ув'язування складального, монтажного і заготівельного оснащення в даному проекті застосовується система, яка калібр стику, лазерні пристрої, інструментальний стенд. Ув'язування оснащення проводиться за параметрами: контур, роз'єм, обвід.

Ув'язування оснащення по контуру і обводам забезпечується методом побудови і копіювання за допомогою інструментального стенду, шаблону контуру (ШК), оптико-механічних засобів. [10]

2.3.4 Розрахунок точності складання крила по обводам для двох методів ув'язування

Допуск на складання в пристрої з компенсацією похибок визначається за формулою:

$$\delta_{сб} = \delta_{пр} + K_{приж.} \cdot C_{контур.пр.-дет.} + \delta_{проч.}, \quad (2.1)$$

де $\delta_{пр}$ – допуск на пристрій, $C_{контур.пр.-дет.}$ – похибка ув'язування контуру для пристрою деталі, $K_{приж.}$ – коефіцієнт, що залежить від кількості притисків пристрою, $\delta_{проч.}$ – частина допуску на складання, обумовлена іншими похибками від поводок і зсувів, викликаних утворенням з'єднань, прогибами пристрою в процесі складання та іншими незалежними від методу складання причинами (вважають, що $\delta_{проч.} = 0,4 \delta_{сб}$). [10]

Величина допуску на пристрій $\delta_{пр}$ визначається сумою похибок на етапах перенесення розмірів від первинного джерела виготовлення до пристрою. Похибка ув'язування контуру пристрою і деталі $C_{контур.пр.-дет.}$ визначається відхиленнями на незв'язаних етапах перенесення розмірів.

$$\delta_{\text{пр.}} = \pm \sqrt{\sum \left(\frac{\delta_{\text{ТП-прист.}}}{2} \right)^2}; \quad (2.2)$$

$$C_{\text{контур пр.-дет.}} = \pm \sqrt{\sum \left(\frac{\delta_{\text{несвяз. етапів}}}{2} \right)^2}; \quad (2.3)$$

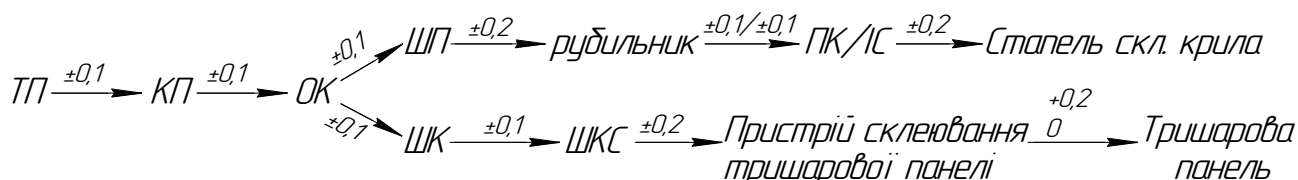


Рисунок 2.2 – Схема перенесення розмірів при КШМ

$$\delta_{\text{пр.}} = \sqrt{0,1^2 \cdot 5 + 0,2^2 \cdot 2} = \pm 0,36(\text{мм});$$

$$C_{\text{контур пр.-дет.}} = 0,1 \pm \sqrt{0,2^2 \cdot 3 + 0,1^2 \cdot 5} = 0,1 \pm 0,41(\text{мм})$$

враховуючи, що $K_{\text{приж.}} = 0,1$ отримаємо:

$$\delta_{\text{сб.}} = \frac{(\pm 0,36 + 0,1 \cdot (0,1 \pm 0,41))}{0,6} = 0,02 \pm 0,66(\text{мм});$$

Отже, похибка складання дорівнює:

НО = −0,64 мм;

ВО = +0,68 мм;

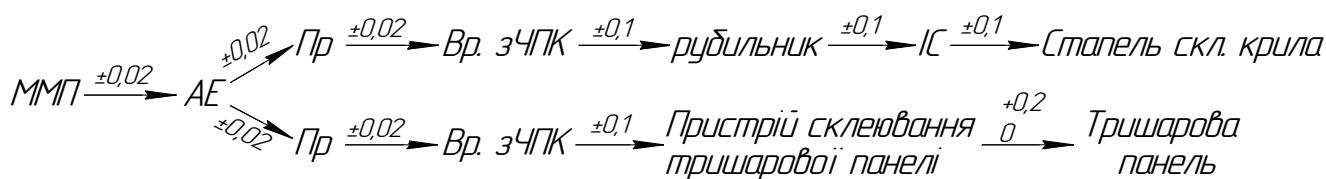


Рисунок 2.3 – Схема перенесення розмірів при ПрІМ

$$\delta_{\text{пр.}} = \pm \sqrt{0,02^2 \cdot 3 + 0,1^2 \cdot 3} = 0,2 \pm 0,18(\text{мм});$$

$$C_{\text{контур пр.-дет.}} = 0,1 \pm \sqrt{0,1^2 \cdot 4 + 0,02^2 \cdot 4} = 0,1 \pm 0,203(\text{мм})$$

враховуючи, що $K_{\text{приж.}} = 0,1$ отримаємо:

$$\delta_{\text{сб.}} = \frac{(\pm 0,18 + 0,1 \cdot (0,1 \pm 0,203))}{0,6} = 0,02 \pm 0,33(\text{мм});$$

Отже, похибка складання дорівнює:

$$HO = -0,31(\text{мм});$$

$$BO = +0,35(\text{мм});$$

Було проведено розрахунок точності для двох варіантів ув'язування – ув'язування по КШМ і ПрІМ. За результатами розрахунків можна зробити висновки про те, який спосіб складання і ув'язування забезпечує необхідну точність складання і ув'язування деталей.

В обох випадках допуск на складання деталей не вийшов за межі отриманого допуску на крило ($\delta_{\text{сб.}} = 1 \text{ мм}$), складання в пристосуванні з компенсацією похибок виготовлення деталей прийнятне за умов виготовлення деталей по КШМ, так і для виготовлення деталей по ПрІМ.

Однак, не дивлячись на те, що обидва цих методи забезпечують коротші терміни підготовки виробництва з високою точністю виготовлення складального оснащення, ПрІМ забезпечує максимальну механізацію та автоматизацію технологічних процесів проектування та виготовлення оснащення завдяки комп'ютерним технологіям з застосуванням обладнання з числовим програмним керуванням, що дає можливість паралельно виготовити весь комплект необхідного оснащення і деталей і зменшує число спеціальних засобів ув'язування.

З огляду на перелічені вище факти, обираємо схему ув'язування заготівельного і складального оснащення на основі ПрІМ. На підставі точностного розрахунку і розрахунку витрат на складальні роботи, незважаючи на те, що витрати при складанні по СО менше, вибираємо основним методом складання – складання в стапелі складання крила.

2.4 Схема базування при складанні спроектованого крила

Проектуючи операції установки деталей в складальне положення, потрібно вибрати на деталях і вузлах базисні поверхні, за якими вестиметься установка і фіксація деталей і вузлів, а також встановити послідовність подачі деталей і вузлів на складання.

Базисні поверхні використовуються в якості складальних або настановних баз. Складальні бази визначають взаємне положення складальних елементів, а настановні – положення деталей і вузлів щодо пристрою.

Вибираючи бази, необхідно прагнути до дотримання принципів єдності і збігання баз.

Схема базування – сукупність настановних баз, необхідних і достатніх для однозначного базування деталей в просторі з позбавленням їх необхідної кількості ступенів свободи. [9]

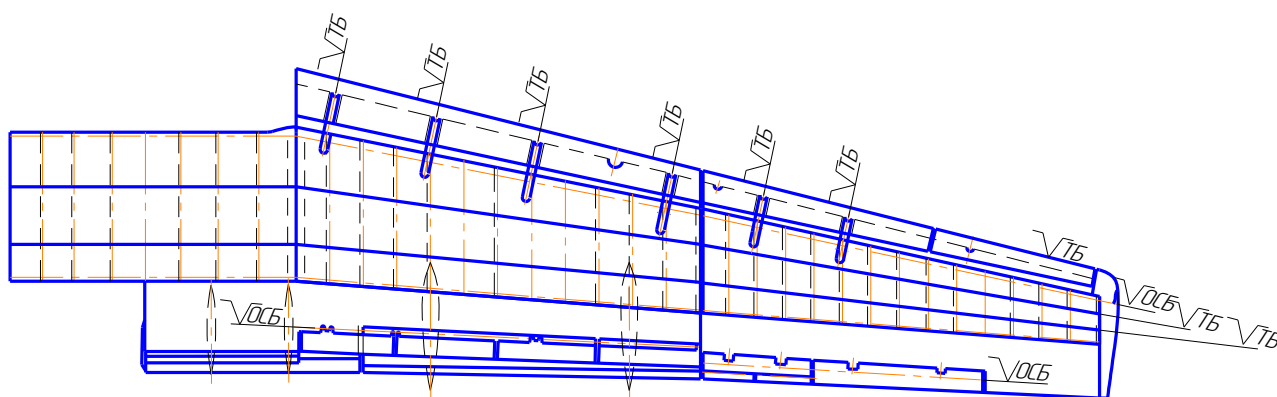


Рисунок 2.4 – Схема базування нервюр крила

2.5 Технічні умови на проектування і конструкцію стапеля загального складання крила

Технічні умови на проектування пристрою розробляються на підставі креслень і технологічного процесу складання агрегату.

Стапель загального складання є оснащенням першого порядку, куди на остаточне складання надходять підбірки складені в окремих пристроях.

Стапель стаціонарний, положення агрегату в стапелі – вертикальне, хвостовою частиною вниз. Стапель призначений для базування, фіксації і складання деталей, вузлів, секцій та їх скріплення. [9]

У стапель загального складання надходять:

- носова і хвостова частини крила;
- верхні і нижні панелі;
- нервюри;

- трубопроводи.

Стапель повинен бути оснащений:

- обвідними фіксаторами-рубильниками;
- знімними рубильниками;
- відкатними механізмами для відводу/підведення панелей;
- фіксаторами кареток механізмів предкрилків;
- фіксаторами ОСБ хвостової частини крила.

Технічні вимоги, що пред'являються до стапеля складання крила:

- рубильники обробляти на верстатах з ЧПК з відхиленням від ТК не більше 0,3 мм;
- стапель повинен забезпечувати складання крила відповідно до вимог на виготовлення агрегата.

Роботи в стапелі ведуться ручним і переносним механізованим інструментом. Виймка крила проводиться в сторону і вгору. Підйом і транспортування крила здійснювати верхнім транспортом за допомогою траверси, з'єднаної з спецпристроєм для виймання крила із стапеля.

Основними технологічними базами є поверхні рубильників, фіксатори ОСБ, а також поверхні зіткнення деталей між собою.

Взаємозамінними елементами є: контури, обводи, довжини, НО, СО. При виготовленні і монтажу стапеля необхідні креслення оснащення, інструментальний стенд, калібр стику, лазерні пристрої.

2.6 Директивний технологічний процес монтажу стапеля

1. Відповідно до креслення закласти фундамент.
2. Після установки колон із застосуванням рулеток, лазерного трекеру монтувати балки стапеля. Монтаж здійснюється в два етапи: попередній і остаточний.

У процесі попереднього монтажу балки пристрій встановлюються за кресленням з максимально можливою точністю. Остаточний монтаж їх проводять

за кресленням за допомогою лазерного пристрою (лазерний трекер). При цьому вибирають базову балку, щодо якої виставляють інші балки стапеля.

Базову балку встановлюють на опорні пристрої, на ті ж місця, які були прийняті опорними в інструментальному стенді. Правильність установки перевіряється оптичними приладами. Зазори між опорними площинами балки і опорними пристроями заливаються цементом НІАТ-МЦ. Після 24-х годинної витримки балку кріплять болтами. [8]

3. По монтажним отворах вилок базової балки встановлюють монтажні плити. Після перевірки їх положення вони фіксуються штирями.

4. На кронштейни колон встановлюють верхню поздовжню балку. Для цього монтажні отвори в вушках монтажних плит поєднують з отворами в вилках балки, вставляють штирі і зазори між балкою і опорними кронштейнами заливають цементом. Після витримки балку закріплюють болтами.

5. У стапель встановлюють і попередньо кріплять макет міжлонжеронної частини крила (установка макета міжлонжеронної частини крила в стапель схематично показана на рис. 2.5).

На монтажні вушка пакету встановлюють і фіксують штирями відповідні монтажні вилки з попередньо заведеними хвостовиками в стакани балок. У такому положенні вилки заливають в стаканах балок цементом НІАТ-МЦ. За базовим отворів монтажної плити за допомогою каліброваних штирів встановлюють стапельні плити і також попередньо кріплять до каркаса. На монтажні вушка стапельних плит встановлюють і фіксують штирями відповідні монтажні вилки з попередньо заведеними хвостовиками в стакани балок, після чого вилки заливають цементом.[8]

На калібрах, закріплених на відповідних вилках балок пристрою, встановлюють і фіксують штирями фіксатори просторових стиків вузлів. У такому положенні зазори між опорними поверхнями заливають цементом, витримують і кріплять фіксатори стиків до каркасу болтами. Калібр розфіксують і знімають з пристрою.

Навішують рубильники хвостової частини.

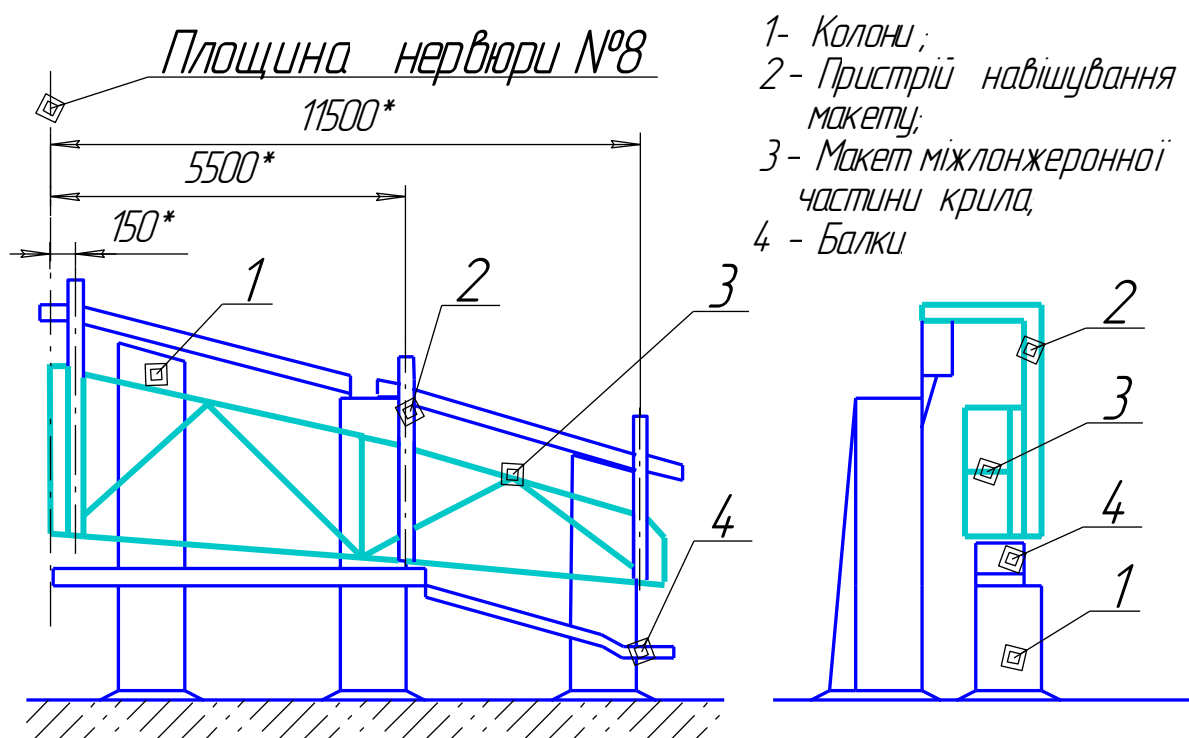


Рисунок 2.5 – Монтаж стапеля складання крила

2.7 Порядок монтажу балок і вузлів стапеля складання крила

1. Монтаж балок вузла №500.
2. Монтаж кондуктора вузла №6500.
3. Монтаж фіксаторів моторами вузла №2400.
4. Монтаж фіксації рейки по 12 і 18 нервюрам.
6. Монтаж макетних рейок.
7. Монтаж реперних фіксаторів.
8. Перевірка установки макетних рейок.
9. Монтаж рубильників хвостової частини.
10. Монтаж фіксаторів навішування елеронів.
11. Монтаж вузлів навішування інтерцепторів.
12. Монтаж фіксації носків крила.
13. Монтаж рубильників хвостової частини крила в районі центроплана.
14. Монтаж кронштейнів навішування пілонів.
15. Монтаж фіксації крила під індукційним датчиком ІД-6.
16. Монтаж механізму відкатки панелей з нижньої сторони.

17. Монтаж механізму відкатки верхніх панелей.
18. Монтаж рубильників.
19. Монтаж фіксатора кронштейна.
20. Монтаж захватів рубильників нижньої сторони.
21. Монтаж захватів рубильників з верхньої сторони.
22. Монтаж притисків панелей по 34-й нервюрі.
23. Монтаж відкидних майданчиків на драбини по 8-й нервюрі.
24. Установка чохлів на фіксатори від попадання стружки.
25. Установка макетів підкоса рейки по 12-й нервюрі.
26. Перевірка фіксаторів рейок внутрішнього закріплення.
27. Проведення загальних робіт по монтажу стапеля.

2.8 Проектування конструкції засобу механізації складальних робіт

Механізація – використання енергії неживої природи (за допомогою спеціальних машин або механічних пристроїв – засобів механізації) в процесах, повністю керуваних людиною.

Ціль використання механізації при здійсненні технологічного процесу складання крила пасажирського літака – спростити і убезпечити роботу персонала цеха, виконуючого складання крила, і знизити величину зусиль, які необхідно затратити персоналу на виконання технологічного процесу, до величин, вказаних в технологічній документації. В деяких випадках виконання технологічного процесу без використання механізації неможливо.

До засобів механізації технологічного процесу можна також віднести спеціальних робітників і маніпуляторів. [6]

В графічній частині проекту зображений вихідний варіант конструкції стапеля і модифікований варіант з використанням елементів механізації. Так як рубильники стапеля складання крила через великі габарити мають велику вагу, то доцільно механізувати процес підйому, опускання і підводу рубильників до складального крила. Рух рубильників, спеціальним чином підвішених в просторі, здійснюється зусиллям, утвореним гідропідсилювачем.

Схема конструкції засобу механізації зображена на рисунку 2.6.

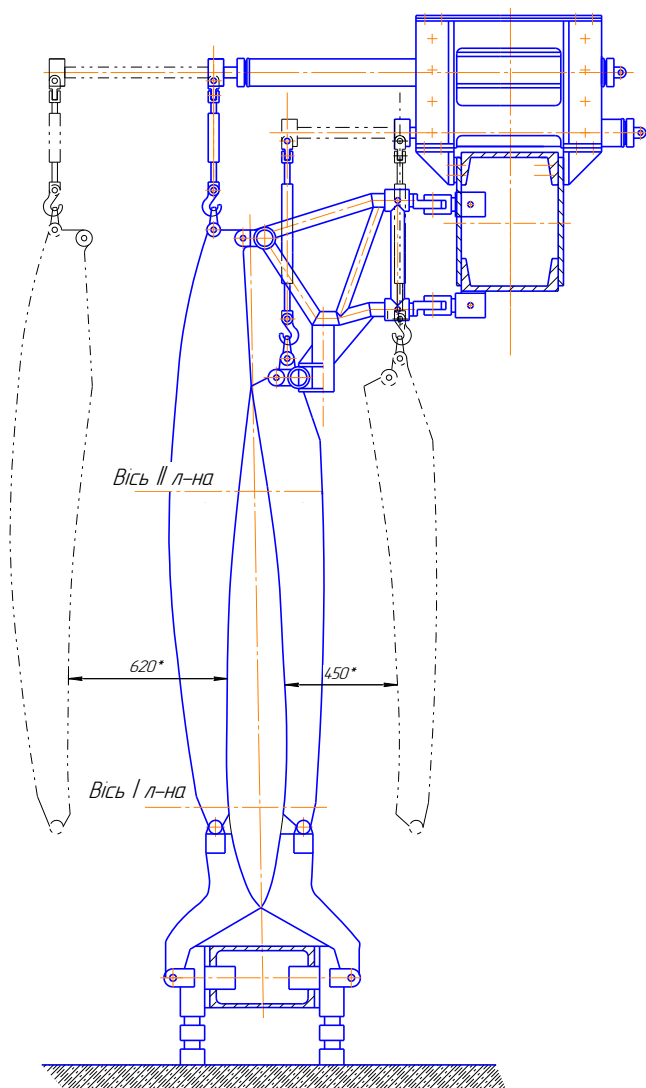


Рисунок 2.6 – Схема конструкції засобу механізації

2.9 Технічні умови на постачання підбірок в стапель загального складання

Умови поставки вузлів і деталей розробляють технологи агрегатних цехів. У цьому документі встановлюється ступінь завершеності деталей і вузлів при подачі їх в складальний цех: укомплектованість даного вузла, наявність стикувальних отворів на вузлі і їх готовність, припусків на деталях з листів і профілів або їх відсутність, наявність НО. [6]

ТУ на поставку деталей і підбірок крила на ділянку стапельного складання крила зведемо в таблицю 2.1.

Таблиця 2.1 – Технічні умови на поставку деталей і підзбірок крила на ділянку стапельного складання крила

Найменування деталі, вузла	Ступінь завершеності деталі, вузла
Носова частина крила	Складений з відмінностями від креслення: –КФО в стінці; –НО в поясах в сторону панелей; –лонжерони подаються в стапель з припуском по довжині; –допуск на відстань міжлонжеронної частини ± 1 мм. –на каретках механізмів управління предкрилком ОСБ попередні – діаметр на 4 мм менше номіналу.
Хвостова частина крила	Складений з відмінностями від креслення: –КФО в стінці; –НО в поясах в сторону панелей; –ОСБ виконані в номінал; –лонжерони подаються в стапель з припуском по довжині; –допуск на відстань міжлонжеронної частини ± 1 мм.
Нервюри	Складені з відмінностями від креслення: –нервюри надходять в стапель в складеному вигляді; –допуск на відхилення осей нервюр $\pm 0,1$ мм; –НО в стінках і поясах в сторону стійок лонжеронів.
Панелі	Складені з відмінностями від креслення: –панелі подаються на складання з припуском $+0,2$ мм в сторону лонжеронів; –панелі ЦВК і КЧК з'єднані по 8-й нервюрі технологічними болтами М4.

2.10 Організація та автоматизація виробництва

2.10.1 Організаційна форма складання агрегату

Для проектування цеху складання крила необхідно уточнити тип виробництва. Аналіз складання крила показує, що для складання характерні наступні принципи:

- поопераційне виконання технологічних процесів;

- на кожному робочому місці виконується кілька, періодично повторюваних операцій;
- обладнання на виробничій ділянці розташовано згідно з послідовністю виконання етапів технологічного процесу по групах операцій;
- пристрій, який використовується для складання крила – спеціалізоване.

На підставі вище викладеного робимо висновок, що виробництво – серійне.

У серійному виробництві зазвичай використовують операційну або потокову форму складання. Для середньої серії випуску виробів можливе використання операційної форми, яка характеризується тим, що весь технологічний процес розбивається на операції, що виконуються певними робочими на всій кількості складених об'єктів.

Спеціалізація робочих досягається за рахунок закріплення робіт за працівниками відповідної кваліфікації. Така розбивка доцільна при достатній трудомісткості і великій програмі випуску, що забезпечують повне завантаження робочих. [9]

2.10.2 Складання циклового графіку

Циклової графік є основним технологічним документом складання. У ньому вказують такі відомості:

1. Вміст збільшених операцій.
2. Послідовність їх виконання.
3. Загальна тривалість виконання кожної операції.
4. Кількість одночасно працюючих на кожній операції.
5. Трудомісткість виконання операції і цикловий час.

Приймаємо потокову форму організації процесу складання. Виробництво - серійне. Для потокової лінії складання складаємо циклової графік.

Циклової графік є основним технічним документом потокової лінії складання. Характер циклового графіка визначається тактом випуску виробів. Такт – це відрізок часу між послідовним випуском наступних один за одним виробів. [9]

Величину такту розраховуємо за формулою:

$$\tau = \frac{\Phi_p}{N}, \quad (2.4)$$

де Φ_p – розрахунковий фонд робочого часу.

$N = 0,5 \text{ вир. / тиж.} \cdot 45 \text{ тиж. / р} = 25 \text{ вир. / р}$ - обсяг випуску виробів.

$$\Phi_p = mst, \quad (2.5)$$

де m – кількість робочих днів у році;

s – кількість робочих змін у добі;

t – тривалість однієї зміни.

Приймаємо $m = 250$; $s = 1$; $t = 8$ год

$$\Phi_p = 250 \cdot 1 \cdot 8 = 2000 \text{ год.}$$

$$\text{Такт випуску: } \tau = \frac{2000}{25} = 80 \text{ год.}$$

Циклової графік характеризується тривалістю циклу складання виробу.

Технологічним циклом називається робочий час, протягом якого виготовляється виріб:

$$\text{Ц} = \frac{T}{n}, \quad (2.6)$$

де T – трудомісткість виготовлення;

n – кількість одночасно працюючих.

Кількість працюючих визначаємо за формулою:

$$n = \frac{T \cdot N}{\Phi_d \cdot k}, \quad (2.7)$$

де T – трудомісткість виготовлення (ч);

N – обсяг випуску (шт.);

Φ_d – дійсний річний фонд робочого часу (ч);

$k = 1,1$ – коефіцієнт перевиконання норм.

$$n = \frac{2400 \cdot 25}{2000 \cdot 1,1} = 30 \text{ чол.,}$$

Технологічний цикл дорівнює:

$$\text{Ц} = \frac{T}{n} = \frac{2400}{30} = 80 \text{ год.}$$

Потрібне кількість стапельів

$$m = \frac{T \cdot N}{\Phi_d \cdot n} = \frac{2400 \cdot 25}{2000 \cdot 30} = 1$$

Приймаємо $m = 1$ стапель.

2.11 Організація робочих місць в цеху

З метою максимального використання обладнання і пристроїв, забезпечення високої продуктивності праці необхідно раціонально організовувати робоче місце, тобто виключити можливість втрат робочого часу, викликане зайвими пересуваннями, несвоєчасним поданням інструменту на робоче місце, несвоєчасним ремонтом обладнання та складального оснащення. Для усунення всіх цих недоліків слід правильно розташувати робочі місця в цеху, організувати своєчасну видачу інструменту, забезпечити підведення стисненого повітря, хороше освітлення робочих місць, видачу матеріалів, деталей і нормалей, не допускати загромодження робочих місць готовими виробами. [12]

Стелажі для деталей розташовувати біля робочих місць. Інструмент у кожного робочого місця повинен розміщуватися в спеціальному інструментальному ящику. Обладнання, пристрої для складання повинні знаходитися в повній справності завдяки чітко організованій системі планово-попереджувального ремонту, згідно з паспортами обладнання і пристроїв. Розподільні колонки стисненого повітря повинні перебувати на безпечній відстані від робочих місць, нормалізує обмін речовин доставляються на робочі місця відповідно до змінних завдань.

2.12 Схема обслуговування робочого місця

Схема обслуговування робочого місця показана на рисунку 2.7.

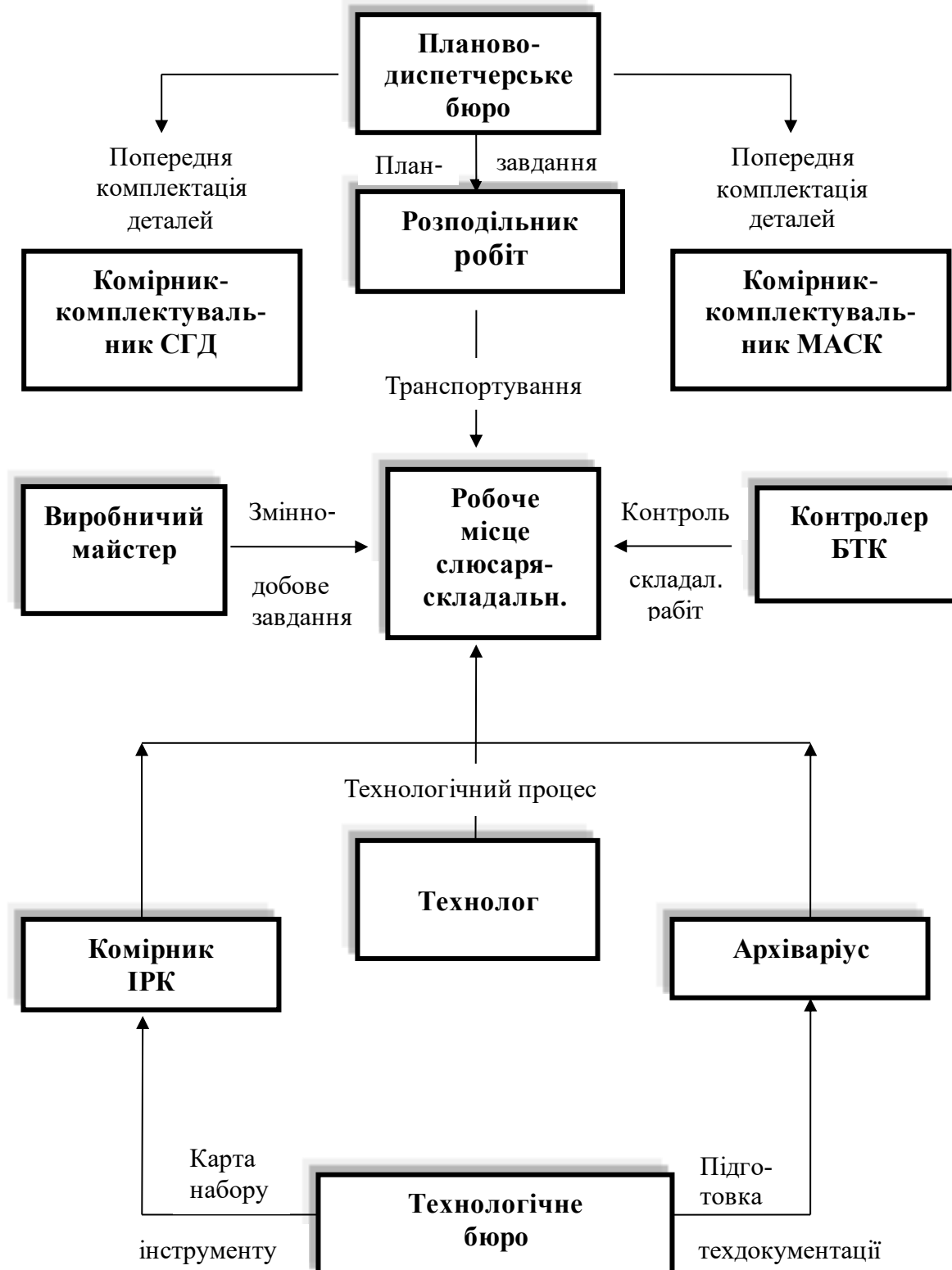


Рисунок 2.7 – Організаційна структура функції апарату управління цехом

2.13 Забезпечення якості виробу, що складається

2.13.1 Методи і засоби забезпечення якістю

Прогрес в області якості і підвищення конкурентноспроможності продукції безпосередньо зв'язані з утворенням на підприємстві ефективної системи забезпечення якості продукції. Вплив системи якості повинен розповсюджуватися на всі етапи виробництва продукції від первісного визначення вимог і потреб споживача до кінцевого задоволення цих вимог і потреб.

Плановані роботи цеху по забезпеченню і підвищенню якості здійснюється на основі заходів по скороченню браку і усунення недоліків, виявлених на виробництві, підвищення культури виробництва, підвищення кваліфікації робітників цеху.

Функціонування системи якості здійснюється під загальним керівництвом начальника цеху, який визначає політику агрегатно-складального цеху в області якості продукції і забезпечує необхідні умови для її реалізації.

Об'єктом контролю якості в цеху є крило, а також деталі, вузли і підбірки, що входять до нього. За дотримання необхідної якості спостерігає служба технічного контролю. [9]

Служба технічного контролю здійснює:

- а) вхідний контроль деталей і агрегатів, що надходять в цех на складання;
- б) операційний контроль при складанні вузлів, секцій агрегатів і т.д.;
- в) загально-технічний огляд агрегатів;
- г) випробування на герметичність повітряно-дренажною сумішшю і гасом кесон-бака крила.

Контроль здійснюється візуально і за допомогою спеціального контрольного інструменту. Такими засобами контролю є:

- лінійка;
- штангенциркуль;
- індикатор годинникового типу з насадкою;
- галоїдний течієшукач (ГТВ-6);

- калібри отворів;
- шаблони контролю замикаючих головок заклепок;
- кутоміри;
- нівеліри;
- щупи.

2.13.2 Система управління якістю продукції

Під системою управління якістю продукції розуміється комплекс постійно діючих організаційних, технічних і економічних заходів по відновленню, забезпеченню і підтримці необхідного рівня якості продукції при її розробці, виробництві і експлуатації.

Система управління якістю передбачає:

- безперервне вдосконалення виробництва на базі комплексної автоматизації та автоматизації, впровадження прогресивної технології, більш досконалого обладнання та нових матеріалів;
- безпосередню участь усіх виконавців у вирішенні задач підвищення якості продукції, що випускається;
- постійне вдосконалення системи на базі комплексної стандартизації та уніфікації;
- своєчасне впровадження і суворе дотримання державних і галузевих стандартів, технічних умов, стандартів підприємства та іншої нормативно-технічної документації, яка визначає вимоги системи;
- організаційно-технічне навчання на всіх ланках підприємства з метою глибокого вивчення особливостей конструкції виробу, що випускається, застосовуваних матеріалів, технології та інструменту;
- заохочення працівників підприємства випускати продукцію високої якості;
- моральний і матеріальний вплив при випуску продукції з відхиленнями від стандартів і технічних умов, а також при невиконанні заходів, спрямованих на поліпшення якості продукції;

– повсякденне виховання у всіх виконавців почуття особистої та колективної відповідальності за якість роботи свого підрозділу і всього підприємства в цілому.
[9]

Управління якістю будується на наступних принципах:

- стандартизації;
- системності;
- оптимальності;
- динамічності;
- наступності;
- автоматизації.

Система управління якістю виконує наступні основні функції:

- нормування;
- планування;
- контроль;
- регулювання.

Взаємозв'язок зазначених функцій з виробничим процесом становить замкнутий контур системи управління якістю.

2.13.3 Система управління якістю підприємства

Продукція – це матеріалізований результат процесу праці, що має корисними властивостями, отриманий у певному місці за певний інтервал часу і призначений для використання споживачами з метою задоволення їх потреб як суспільного, так і особистого характеру [6].

В умовах ринкових відносин та участі України в Світовій організації торгівлі важливим питанням є підвищення конкурентоздатності продукції вітчизняних підприємств. Членство в цій організації відкриває кордони, зарубіжна високоякісна продукція надходить на вітчизняний ринок, що може призвести до втрат ринкових позицій національного виробника.

У зв'язку з цим життєво необхідним є підвищення конкурентоздатності вітчизняної продукції та отримання відповідних сертифікатів систем якості, що

дозволило б не тільки відстояти свої позиції на власному ринку, але й вийти на світовий ринок.

Багаторічний досвід провідних компаній розвинених країн світу свідчить, що здобути успіх на ринку можна шляхом вдосконалення системи управління якістю. Тому сьогодні, говорячи про якість, мають на увазі не стільки ґатунок самої продукції, скільки якість функціонування підприємств і організацій, досконалість їх систем управління якістю, націлених на постійне самовдосконалення та головне задоволення існуючої потреби на ринку.

Як прийнято вважати, якщо підприємство отримало сертифікат відповідності системи управління якістю міжнародним стандартам ISO 9000, воно здатне стабільно виробляти якісну продукцію, яка може бути конкурентоспроможною [6].

Більшість фірм світу використовують для цього міжнародні стандарти ISO серії 9000 та похідні від них QS 9000, ISO 14000 тощо.

Відповідно до визначення Міжнародної організації з стандартизації (ISO), якість – це сукупність властивостей і характеристик продукту, які надають йому здатність задовольняти обумовлені або передбачувані потреби.

Таким чином, рівень ефективності системи управління якістю прямо пропорційний рівню конкурентоспроможності продукції та підприємства. Система управління якістю підприємства може стати інструментом перемоги в конкурентній боротьбі, враховуючи, що конкурентоспроможність підприємства – це рівень його компетенції відносно інших підприємств конкурентів у нагромадженні та використанні виробничого потенціалу певної спрямованості, що знаходить свій вираз у таких показниках, як якість продукції, обсяги виробництва, прибуток тощо.

Для забезпечення необхідного рівня якості потрібні не тільки зацікавлені, кваліфіковані працівники, відповідна матеріальна база, але й добре налагоджена система менеджменту якості.

На підприємствах в рамках систем управління якістю, що відповідають вимогам стандарту ISO 9001, проводиться аналіз даних стосовно якості продукції та результативності виробничих процесів.

Найбільш ефективно запитам ринку, споживача відповідає ідеологія системи загального управління якістю – TQM (Total Quality Management), технологією якої є міжнародні стандарти ISO серії 9000 [6].

Впровадження та сертифікація систем управління відповідно до вимог національних або міжнародних стандартів у першу чергу дозволить підвищити конкурентоспроможність продукції вітчизняних виробників.

Системи управління якістю – це складова контролю за управлінською діяльністю, технологією виробництва а продукцією, спрямованих на зростання якості продукції. Підприємство має визначити мету втілення стандарту – заради отримання сертифіката або заради підвищення якості менеджменту.

Формальне ж втілення стандарту є негативним процесом і полягає у:

- 1) формальній розробці політики якості;
- 2) невимірності цілей у сфері якості;
- 3) відсутності зворотного зв'язку зі споживачами продукції;
- 4) існуванні системи управління якістю як окремої системи документації, яка по суті не впливає на виробничий процес; відсутність взаємозв'язків між підрозділами підприємства та відділом з якості;
- 5) дисбалансі та несистематизованості в переліку обов'язків і повноважень персоналу в рамках системи управління якістю та посадових інструкціях;
- 6) відсутності системи мотивації персоналу в рамках системи управління якістю та підприємства взагалі;
- 7) низькій якості методичного забезпечення системи управління якістю та відсутності компетентного персоналу щодо забезпечення її результативного функціонування.

Індикаторами оцінювання системи управління якістю підприємства можуть виступати такі показники щодо наявності процесів, вимірювання та аналізу процесів і якості продукції.

Ринкова орієнтація економіки України вимагає від підприємств адаптування не тільки до умов ринкового середовища, що змінюється, але й до швидкості цих змін, що найефективніше досягається на підставі реалізації вимог міжнародного стандарту на системи управління якістю [6].

2.14 Проектування агрегатно-складального цеху

2.14.1 Аналіз виробничого процесу цеху-прототипу

Цех-прототип – це цех складання крила. При вивченні виробничого процесу даного цеху виявлено свої переваги і недоліки.

Переваги полягають у тому, що всі виробничі площі знаходяться в одному корпусі. Примикування комплексу агрегатно-складальних цехів до цеху остаточного складання в єдиному будівельному рішенні найбільш правильно, тому що технологічний процес виробництва агрегатів, в даному випадку крила, відбувається в одному корпусі під одним дахом без перепаду температур, що неминуче при проведенні перевезення агрегатів через відкриті двори. Сталість температурних режимів значно зменшує невиробничі втрати площі, необхідні для «відстою» агрегатів; тобто прогріву їх перед подачею на останню операцію. [12]

Поряд з перевагами існують і недоліки:

- велика протяжність цеху;
- недостатня освітленість робочих місць. Система електропроводки до складальних стапелів і технологічного устаткування для місцевого освітлення і підведення силової електроенергії прокладено зверху, а повинні проходити в каналах і розлучатися до стапелів в сталевих трубах для захисту від пошкоджень;
- відсутність санітарно-гігієнічних умов не створює необхідних умов для нормальної роботи. Відсутні побутові кімнати: гардеробні, душові, умивальні, кімнати відпочинку.

2.14.2 Вихідні дані для проектування цеху складання крила

Основними вихідними даними для проектування цеху складання крила є:

- виробнича програма випуску;
- програма випуску запасних частин;
- креслення загального виду крила;
- директивна технологія виготовлення крила;
- схема конструктивно-технологічного членування крила на секції, панелі і вузли;
- схема складання;
- креслення комплексу складальних пристроїв;
- технічні умови на складання крила;
- схема розташування такелажних точок і маса крила;
- трудомісткість складальних робіт з розбивкою за видами робіт за обладнанням і стапелем.

При проектуванні цеху складання крила необхідно вирішити наступні питання:

1. Рівень внутрішньозаводської спеціалізації виробництва, тобто можливість об'єднання і централізованого виготовлення панелей і вузлів.
2. Розробка на директивної технології укрупненого технологічного процесу;
3. Визначення необхідної кількості пристроїв і стапелів для вузлового і агрегатного складання, визначення кількості робочих місць на ділянках внестапельного доопрацювання агрегату, визначення необхідного кількості обладнання;
4. Визначення коефіцієнтів завантаження стапелів і обладнання по часу;
5. Розрахунок необхідної кількості робітників, ІТП, ЛКП і МОП та визначення рівня механізації і автоматизації виробничих процесів;
6. Визначення виробничих площ, визначення площ допоміжних відділень, складських приміщень, а також службових і побутових приміщень цеху;

7. Визначення основної характеристики виробничої будівлі і вибір типу виробничого корпусу;
8. Складання компонування цеху, корпусу і ув'язування його з генеральним планом заводу;
9. Виконання планування цеху;
10. Розробка завдань на проектування спецчастин проекту: енергетичної, будівельної, сантехнічної;
11. Розробка схеми управління цехом складання крила за допомогою засобів, що автоматизують інженерну роботу;
12. Розробка техніко-економічних показників цеху. [14]

2.14.3 Розрахунок кількості складальних пристроїв

Розрахунок необхідної кількості складальних пристроїв виконується після прийняття схеми членування крила па складальні одиниці, розробки схеми технологічного процесу складання в проектованому цеху.

Розрахунок кількості стапелів виконується по кожному стапелю окремо відповідно до номенклатури пристроїв, прийнятої для проектованого цеху.

Розрахункова кількість стапелів визначається за формулою [14]:

$$C_{расч.i} = \frac{\Sigma t_{ij} \cdot N_{зап.i}}{\Phi_{дj} \cdot K_{одн.} \cdot K_{вн.}}, \quad (2.8)$$

де $C_{расч}$ – розрахункова кількість стапелів,

t – трудомісткість по даному комплексу робіт в стапелі;

$N_{зап}$ – річна програма випуску агрегатів з урахуванням запасних частин;

$\Phi_{д}$ – фонд дійсний оснащення,

$K_{одн.}$ – кількість одночасно працюючих на одному стапелі,

$K_{вн.}$ – коефіцієнт виконання норм.

Прийняте для цеху кількість пристроїв ($C_{пр}$) визначають округленням отриманого розрахункового значення ($C_{расч}$). До найближчого більшого цілого числа.

Коефіцієнт завантаження пристроїв (K_3) визначається за формулою [14]:

$$K_3 = \frac{C_p}{C_{np}} \quad (2.9)$$

Всі розрахунки зведені в таблицю 2.2.

Таблиця 2.2 – Розрахунок кількості стапелів і обладнання

	t, чол. год	K _{одн.} , чол.	C _{розр.} , шт.	C _{пр.} , шт.	K _з
Стапель	2400	30	1	1	1
Стапель	80,4	2	0,408	1	0,408
Стапель	96	2	0,51	1	0,51
Пристрій	62,4	1	0,61	1	0,61
Пристрій	52	2	0,557	1	0,557
Пристрій	42	2	0,165	1	0,165
Пристрій	58,6	2	0,27	1	0,27
Агрегатно-	41,2	2	0,16	1	0,16
Стенд	92	2	0,48	1	0,48
Стенд доопрацювання і герметизації	82	2	0,418	1	0,418
Стенд випробування кесона на герметичність	65	2	0,311	1	0,311
Стенд промивання кесона	30	2	0,19	1	0,19
СЗА - 02	94	2	0,197	1	0,197
КП - 204	76,6	2	0,384	1	0,384

Середній коефіцієнт завантаження в цеху визначається за формулою:

$$K_3 = \frac{\Sigma C_{расч.}}{\Sigma C_{пр.}}; \quad (2.10)$$

За даними таблиці 2.2 визначимо середній коефіцієнт завантаження:

$$K_3 = \frac{4,66}{14} = 0,3.$$

2.14.4 Розрахунок кількості робочих

До складу працюючих в цеху складання крила входять:

- виробничі робітники-складальники;
- допоміжні робітники;
- молодший обслуговуючий персонал;
- інженерно-технічні працівники;
- лічильно-конторський персонал.

Кількість виробничих робітників визначається за формулою [14]:

$$K_{расч.} = \frac{\Sigma t_i \cdot N_{зан.}}{\Phi_{д.р.} \cdot K_{в.н.}}; \quad (2.11)$$

$$K_{розр} = 30 \text{ чол.}$$

Однак ця кількість не враховує відсоток планових втрат (відпустки, хвороби та ін.). За явковою кількістю знаходимо облікову кількість основних робітників за формулою:

$$K_{сп.} = K_{расч.} \left(1 + \frac{a}{100} \right); \quad (2.12)$$

$$a = 13\%;$$

$$K_{сп.} = 30 \cdot \left(1 + \frac{13}{100} \right) = 34 \text{ чол.}$$

Кількість допоміжних робітників, ІТП, ЛКП і МОП приймається за штатним розкладом. На базі сформованого досвіду приймати цю групу працюючих можна в процентному відношенні від числа виробничих робітників. Кількість допоміжних робітників, ІТП, ЛКП і МОП приведено в таблицях 2.3, 2.4.

Таблиця 2.3 – Кількість допоміжних робочих

Професія	Кількість робітників, чол.
Слюсар	1
Електромонтер	1
Слюсар ПРІН	1
Верстатник ПРІН	1
Комірник ІРК	1
Роздавальник креслень	1
Комірник	1
Комплектувальник	1
Транспортні робочі	1
Прибиральник цеху	1
Контролер	2
Разом	12

Таблиця 2.4 – Кількість МОП, ІТП, ЛКП

Посада	Кількість працівників, чол
Начальник цеху	1
Зам. Нач. цеху з виробництва	1
Зам. Нач. цеху з підготовки виробництва	1
Старший майстер	1
Змінний майстер	2
Начальник технологічного бюро	1
Технолог	3
Завідувач ІРК	1
Начальник ВТБ	1
Плановик	1
Диспетчер	1
Технолог за матеріалами	1
Начальник БТЗ	1
Нормувальник	1
Економіст	1
Механік цеху	1

Продовження таблиці 2.4

Посада	Кількість працівників, чол
Майстер по обладнанню	1
Начальник БЦК	1
Старший контролер	1
Контрольний майстер	1
Нарядник	1
Обліковець	1
Комірник	1
Бухгалтер	1
Секретар-машиніст	1
Завгосп	1
Табельник	1
Прибиральник конторських приміщень	1
Гардеробник	1
Разом	32

2.14.5 Розрахунок площ цеху

Для розрахунку площі виробничого призначення користуються таблицями норм питомих площ на одне робоче місце [14].

Загальна площа включає виробничу площу, складську та допоміжну площі, на яких розміщуються ділянки, зайняті ремонтом пристроїв та обладнання, та інші площі (трансформаторні, вентиляційні площі та ін.). Для розрахунку загальної площі площа виробничого призначення збільшується на 25-27%.

Розрахунки зведені в таблиці 5, 6. Значення питомих площ визначаємо за графіками 10.1, 10.2, 10.3, 10.5 [14]

Таким чином, виробнича площа цеху з урахуванням проходів та проїздів становить (див. табл. 2.5).

Таблиця 2.5 – Розрахунок площ під устаткування і оснащення

Устаткування й оснащення	Суд., М2 / од.	S, м2
Стапель складання консолі	180	180
Стапель складання верхньої панелі	160	160
Стапель складання нижньої панелі	160	160
Пристрій для складання нервюр	40	80
Пристрій для складання лонжерона	70	140
Пристрій для складання носка крила	50	50
Пристрій для складання хвостової частини крила	50	50
Стенд розкладання стику	180	180
Стенд вневтапельного складання	180	180
Стенд доопрацювання і герметизації	180	180
Стенд випробування кесона на герметичність	180	180
Стенд промивання кесону	180	180
СЗА – 02	100	100
КП – 204	120	360
Разом	1830	2180

Таблиця 2.6 – Допоміжна, складська та інші площі

Площі	S, м2
Допоміжна, в тому числі:	124
– для цехового механіка;	100
– для матеріальних складів;	15
– ІРК.	9
Складська, в тому числі:	596
– склад нормалей;	29.8
– ПРОСК;	387.4
– комора дрібного технологічного оснащення;	59.6
– місця підзбірок.	119.2
Канторська	576
Побутова	
Інша	

$$F_{\text{пр}} = 3476 \text{ м}^2$$

Для визначення загальної площі збільшимо виробничу площу на 27%.

$$F_{\text{заг}} = 3476 \cdot 1,27 = 4415 \text{ м}^2 \quad (2.13)$$

2.14.6 Визначення складу цеху

До складу цеху складання консолі крила входять виробничі відділення, допоміжні служби, склади, контори, побутові приміщення.

У виробничому відділенні визначені наступні самостійні ділянки:

- діляниця складання носової і хвостової частин крила;
- діляниця складання панелей;
- діляниця складання нервюр;
- діляниця складання крила;
- ділянку післястапельного складання і герметизації;
- ділянку випробування консолі на герметичність;
- ділянку промивання.

На ділянці складання панелей знаходиться два стапеля: один для складання верхньої панелі, інший – для складання нижньої панелі.

Головними завданнями цеху є:

- отримання у технічному відділі заводу розцеховки і доведення її до майстрів;
- складання і розробка технології виготовлення вузлів, панелей, агрегатів;
- розробка нескладних пристроїв і інструментів;
- впровадження оснащення, розробка циклових графіків і відомостей завантаження устаткування;
- вдосконалення технологічних процесів;
- складання технічних умов на проектування оснащення. [12]

Виробнича частина апарату цеху керує діяльністю кожного виробничої ділянки через технологічне бюро і старших майстрів.

ПДБ проводить роботу на основі програми, розробленої планово-виробничим відділом заводу. ПДБ розробляє календарний план роботи цеху по виробничим ділянкам, контролює своєчасність постачання цеху матеріалами, веде облік виконання програми цехом, попереджає і ліквідує всі заборгованості в процесі виконання програм.

БТК проводить роботу з виявлення браку і його профілактиці, бере безпосередню участь у заходах щодо підвищення якості продукції.

Таблиця 2.7 – Склад обладнання цеху

Тип обладнання	Марка	Кіл.
Заготівельна ділянка		
Гідропрес	СДН-400	1
Плита монтажно-складальна	-	3
Верстат слюсарний	-	1
Агрегати теплової завіси	-	1
Прес-ножиці	H5222A	1
Установка плазмового різання	ПППФ-2,5-644	1
Бак оборот. охолодження	-	1
Накопичувач кругляка	-	1
Відрізна пила	B-66	1
Рольганг	-	1
Абразивно-відрізний верстат	-	1
Прес-ножиці	C229A	1
Абразивно-відрізний верстат	ф300	1
Токарно-гвинторізний верстат	1K62	1
Вертикально-фрезерний верстат	6H13	1
Стіл комплектів заготовок	-	1
Естакада накопичувач заготовок	-	1
Накопичувач тонкого листа	-	1
Гільйотинні ножиці	НД3318Г	1
Гільйотинні ножиці	АКНА 3225	1
Стелаж лиття	-	1
Верстат складання рам самохідн. трапа	-	1
Стенд зварювання рам самохідн. трапа	-	1
Пристрій складання боковин	-	1
Рихтувальна плита	-	1
Вертикально-свердильний верстат	2H135	1
Обсадочно-шліфувальний верстат	3Б634	1

Продовження таблиці 2.7

Тип обладнання	Марка	Кіл.
Абразивно-заточний верстат	3326	1
Зварювальні трансформатори	УД-3С6	2
Механічна ділянка		
Карусельний верстат	1532	1
Наждачно заточувальний верстат	3Б634	2
Токарно-гвинторізний верстат	1К62	15
Токарно-гвинторізний верстат	16К20М	1
Токарно-гвинторізний верстат	1К625	1
Токарно-гвинторізний верстат	1М63Ф101	1
Токарно-револьверний верстат	1341	1
Токарно-револьверний верстат	1336	1
Вертикально-фрезерний верстат	6Н13	2
Горизонтально-фрезерний верстат	FU-32	1
Вертикально-фрезерний верстат	6М13П	2
Вертикально-фрезерний верстат	6Р12	1
Вертикально-фрезерний верстат	6Р12Б	1
Вертикально-фрезерний верстат з ЧПК	ФП-1	2
Вертикально-фрезерний верстат	ФП-9М	1
Вертикально-розточний верстат	2450М	1
Горизонтально-розточний верстат	2А620-1	1
Горизонтально-розточний верстат	2611Ф-2	1
Координатно-розточний верстат	2Е450АФ1	2
Кругло шліфувальний верстат	3М151В	1
Внутрішліфувальний верстат	3А221	1
Кругло шліфувальний верстат	3151ПН-1	1
Шліфувальний верстат	3У10В	1
Поперечно-стругальний верстат	7Б35	2
Поздовжньо-стругальний верстат	7216Г13	1
Слюсарна ділянка		
Монтажний майданчик		1
Плаз-масив		1
Рихтувальна плита		2
Контрольна плита		1

Продовження таблиці 2.7

Тип обладнання	Марка	Кіл.
Спец верстат		1
Зварювальний пост	МСБ.36Ф2	2
Слюсарний верстак		101
Заточной весртак	ЗБ634	2
Обдирно-шліфувальний верстат	ЗБ634	2
Радіально-свердильний верстат	1М55	1

2.14.7 Компонування цеху

У складі літакобудівного заводу є кілька агрегатних цехів, тому компонувальні рішення слід приймати для всіх цехів одночасно і тим самим вирішувати задачу компонування агрегатно-складального комплексу-блоку. Примикання комплексу до цеху остаточного складання в єдиному будівельному рішенні більш правильно, тому що технологічний процес виробництва агрегатів відбувається в одному корпусі під одним дахом без перепаду температур. При примиканні агрегатно-складального комплексу до цеху остаточного складання можна чітко вирішити питання транспортування агрегатів на пристрій остаточного складання. При цьому побутові та конторські приміщення повинні розташовуватися з протилежного боку по відношенню до цеху остаточного складання.

2.14.8 Планування цеху

Планування стапелів і обладнання в агрегатно-складальних цехах залежить від:

- габаритів агрегату;
- прийнятої схеми технології;
- прийнятої сітки колон;
- довжини маршу;
- висоти корпусу до затягування ферм;
- вантажопідйомної сили кранів. [12]

Цех конструктивно складається з одного прольоту шириною 24 м.

Витримуючи вимоги найбільш прямих вантажопотоків (починаючи від надходження деталей в цех і до виходу крила із цеху) виробничі відділення розташовуються по прямій в такій технологічній послідовності: відділення вузлового складання, відділення складання секцій панелей, відділення складання агрегату в пристроях, лінії внастачельної доопрацювання агрегату і герметизації.

При цьому забезпечуються нормативні вимоги по проїздах і проходах. При виборі і призначення вантажопідйомних засобів для цеху, виходимо з необхідності найбільш повного перекриття краном виробничої площі цеху, максимальних мас агрегатів і розміщуючих можливостей, складених залізобетонних ферм. Умовами якнайповнішого обслуговування площі відповідає підвісний однобалочний кран вантажопідйомністю 5 тс.

2.15 Управління виробництвом в цеху

2.15.1 Організаційна структура функції апарату управління цехом

Цех і його структурні підрозділи діють відповідно до положення, затвердженого директором заводу. [12]

Начальник цеху, підлеглий директорові, здійснює адміністративне, технічне і господарське керівництво роботою цеху і несе адміністративну відповідальність за виконання цехом програми, за якість продукції, за збереження матеріальних цінностей, стан трудової дисципліни і техніки безпеки, за кваліфіковану роботу співробітників колективу, його організованість і згуртованість.

Начальник цеху з допомогою громадських організацій спрямовує роботу апарату цеху на підвищення рівня виробництва, більш повне використання внутрішніх резервів, вдосконалення рівня організації рівня виробництва і праці, дотримання режиму економії і закріплення госпрозрахунку. Він підтримує передові починання новаторів виробництва, створює умови швидкого і ефективного впровадження їх пропозицій в цеху. Розпорядження начальника цеху обов'язкові для всіх його працівників.

Заступник начальника цеху з виробництва керує роботами щодо виконання виробничої програми та її матеріально-технічного забезпечення.

У цій області розпорядження заступника начальника цеху з виробництва обов'язкові для майстрів і всіх служб цеху.

Виробничо-технічне бюро (ВТБ) веде розрахунки пропускної спроможності обладнання цеху і становить календарні графіки запуску і випуску продукції ділянками по днях і змінах місяця, керує роботами по забезпеченню ділянок і робочих місць всім необхідним, веде облік виконання програми і наявності незавершеного виробництва. У веденні ВТБ знаходяться матеріальні комори (МАСК), склад готових деталей (СГД) і транспортна група.

Заступник начальника цеху з підготовки виробництва керує організацією технологічної служби та інструментального господарства, підтримує запаси інструменту і пристроїв на заданому рівні, планує ремонт оснащення, організовує її зберігання та облік, контролює правильність експлуатації оснащення по змінно-добовим завданням, керує роботою механіка цеху, господарської групою.

Технологічне бюро розробляє технологічні процеси, оснащення, стежить за впровадженням їх у виробництво, здійснює контроль за дотриманням технологічних процесів, веде їх коригування та вдосконалення. Служби механіка цеху складає річний і місячні плани ремонту обладнання цеху, спостерігає за середнім і малим ремонтами обладнання, стежить за його станом і організовує догляд за ним.

Бюро організації праці та заробітної плати (БОП) стежить за питаннями наукової організації, нормування, тарифікації та оплати праці.

Економічне бюро здійснює в цеху техніко-економічне планування, становить для учасників кварталні та місячні плани з найважливішими техніко-економічними показниками, організовує розрахунок в цехах, веде облік і аналіз виконання плану цехом і його виробничими підрозділами.

Бюро цехового контролю (БЦК) здійснює контроль якості річної продукції, її приймання від майстрів і робітників, веде облік і аналіз шлюбу, розробляє заходи

щодо його зниження. БЦК безпосередньо підпорядковується головному контролеру заводу.

Всі служби цеху організують свою роботу так, щоб надати допомогу учасникам у виконанні ними виробничого плану по термінах, номенклатурі і якості. [12]

При централізації функціонального апарату і служб обслуговування в цехах залишаються тільки лінійні керівники - начальники цехів і майстри.

2.15.2 Технологічна підготовка виробництва

Система організації та управління ТПВ передбачає застосування прогресивних технологічних процесів, досконалої організації, прогресивного високопродуктивного обладнання, широкого застосування уніфікованих і типізованих засобів технологічного оснащення, засобів механізації та автоматизації інженерно-технічних і управлінських робіт.

ТПВ охоплює складний комплекс робіт з освоєння нових конструкцій, проектування прогресивних технологій, проектування і виготовлення засобів технологічного оснащення.

Основними умовами ТПВ є:

- забезпечення планового випуску продукції з високим рівнем якості;
- забезпечення швидкого освоєння нових зразків виробів і більш досконалі методи їх виготовлення при мінімумі витрат матеріальних і трудових ресурсів;
- досягнення високої гнучкості виробництва. [9]

Основними задачами ТПВ є:

- встановлення єдиних для підрозділів підприємства методів вирішення завдань ТПВ;
- забезпечення технологічності конструкцій виробів;
- розробка раціональних міжцехових і внутрішньоцехових технологічних маршрутів;
- розробка і впровадження технологічних процесів, засобів і методів контролю, що забезпечують стабільність якості виробів і високу продуктивність;

- максимальная механізація і автоматизація виробничих процесів;
- створення поточкових ліній і механізованих засобів виробництва;
- створення нормативно-технічної бази для вдосконалення методів ТПВ;
- розробка і впровадження комплексу стандартів підприємства, впровадження державних і галузевих стандартів та іншої нормативно-технічної документації;
- проведення планово-попереджувальних ремонтів засобів технологічного оснащення;
- систематичний і попереджувальний контроль за дотриманням технологічних процесів на робочих місцях;
- планування і оцінка діяльності підрозділів служб підготовки і виробництва.

[9]

В основу побудови ТПВ покладено такі принципи:

- систематичний підхід і можливість подальшого вдосконалення методів, засобів і організації ТПВ;
- забезпеченість збільшеними і диференційованими нормативами;
- уніфікація, типізація і стандартизація технологічних процесів, оснащення та спеціального обладнання;
- спадкоємність рішень щодо вдосконалення методів і засобів ТПВ і взаємозв'язок з іншими системами управління виробництвом.

3. ЕКОНОМІЧНИЙ РОЗДІЛ

3.1 Техніко-економічне обґрунтування проектування цеху складання крила пасажирського літака

3.1.1 Маркетингові дослідження ринку збуту продукції для визначення програми випуску виробів

Характеристика товару

Ан-74 – легкий багатоцільовий літак, створений в Авіаційному науково-технічному комплексі (АНТК) імені О.К. Антонова. Створений для експлуатації в районах Арктики й Антарктиди, призначений для перевезення вантажів, техніки і людей на авіалініях малої і середньої протяжності в будь-кліматичних умовах від -60°C до $+45^{\circ}\text{C}$ і на будь-яких широтах, в тому числі в умовах Північного полюса і у високогірних районах. Його можна експлуатувати на обладнаних і необладнаних повітряних трасах в будь-який час року і доби з бетонних, галькових, льодових і сніжних аеродромів, на внутрішніх і міжнародних лініях. [2]

Літак являє собою суцільнометалевий вільнонесучий моноплан з високорозташованим крилом малої стрілоvidності і Т-подібним оперенням.

Особливості:

Два двигуна тягою 6500 кгс кожен. Високо механізоване крило дозволяє виконувати укорочений зліт-посадку і польоти з крутими траєкторіями, що дуже важливо при роботі з льодових і високогірних ЗПС обмежених розмірів.

Літак може виконувати пасажирські і вантажопасажирські перевезення, експлуатуватися на коротких злітно-посадкових смугах і ґрунтових аеродромах. У конструкцію літака Ан-74 закладено низку параметрів, які роблять цей літак незамінним для України і країн СНД:

- пасажирські та вантажопасажирські перевезення;
- експлуатація на коротких ЗПС і ґрунтових аеродромах;
- відповідність вимогам міжнародних норм;
- невисока ціна;
- низька вартість обслуговування;
- можливість застосовувати вітчизняне і зарубіжне обладнання.

3.1.2 Аналіз ринку збуту

В процесі виробництва вироби стикаються з проблемою різних вимог покупців. Тому виділяють певну частину споживачів, які пред'являють однорідні вимоги до виробу.

Вибір стратегії сегментації залежить від наступних факторів:

- від виду продукції, що випускається;
- від положення підприємства на ринку;
- від фінансового становища підприємства і його виробничих потужностей.

Ринки країн далекого зарубіжжя

Переваги:

- величезні розміри ринків;
- мала конкуренція для цього типу літаків;

Недоліки:

- труднощі налагодження контактів через проблеми всередині СНД (політичної та економічної нестабільності);
- складність з післяпродажним обслуговуванням.

3.1.3 Маркетинг

А) вибір політики ціноутворення.

У контракт на поставку виробу вноситься 4 позиції:

1. Одиниця зміни ціни – це кількісна характеристика товару, залежна від характеру товару і світової практики.

2. Базис ціни – встановлюють, які витрати вкладаються в ціну товару і здійснюються за рахунок продавця, а які понад ціну – за рахунок покупця.

3. Валюта ціни – ціна може бути виражена у валюті країни імпортера, експортера або третьої сторони.

4. Спосіб фіксації цін – ціна визначається або відразу, або після укладення контракту.

Розрізняють 4 види цін:

- тверда ціна;

- рухома ціна;
- змінна ціна;
- ціна з подальшою фіксацією.

Для літака, товару з тривалим терміном виготовлення, використовується змінна ціна, яка нараховується на момент виконання контракту, шляхом перегляду базової ціни з урахуванням зміни у витратах виробництва за період виконання замовлень на товар.

Маркетинг виділяє 4 основні види цінової стратегії на ринку:

- стратегія високих цін;
- стратегія низьких цін;
- стратегія диференційованих цін;
- стратегія конкурентних цін. [18]

Б) організація збуту.

Зазвичай літак продається за прямими поставками. На підприємстві для цих цілей існує відділ збуту і зовнішньоекономічних зв'язків. Тут проводиться дослідження ринку, опрацьовуються варіанти можливих партнерів. В результаті переговорів укладається договір про поставку товару до певного терміну, в певній кількості і за певною ціною.

При дослідженні ринку повітряних сполучень спостерігається тенденція до збільшення місткості літака, причому місткості як пасажирської, так і вантажної.

За даними Регіональної Американської Асоціації, середня пасажиромісткість на місцевих авіалініях за останні 10 років збільшилася з 15 до 23 місць на кожен літак. В Європі за останні 5 років – з 37 до 47 місць. У США частка 20-ти місцевих літаків становить третину флоту літаків на місцевих авіалініях.

Таким чином, потреба європейського ринку зосереджується навколо 50-70 місних літаків, тоді як на американському ринку буде переважати попит на 30-ти місні літаки. Турбогвинтові 70-ти місні літаки, як очікується, не гратимуть на ринку помітну роль. Виробництво 20-ти місних турбогвинтових літаків буде скорочуватися.

Середній світовий коефіцієнт зростання обсягів повітряних сполучень становить 2% на рік. Така тенденція свідчить про те, що споживачі на ринку повітряних сполучень відчують все більші потреби в послугах авіаційних компаній. В результаті цього, для забезпечення необхідних обсягів перевезень, виникає потреба авіакомпаній в придбанні нових літаків.

3.2 Формування ринку попиту з урахуванням оцінки можливих ризиків і рекламної пропаганди для придбання стійких договірних замовлень на попит продукції

3.2.1 Реклама

Формування попиту – це формування громадської думки про товар з метою залучення до нього загальної уваги і в кінцевому підсумку – виникнення у споживача бажання придбати даний товар. [18]

Велику роль на формування попиту надає реклама товару. Так, для отримання великого прибутку необхідно нарощувати обсяги виробництва, тобто необхідно отримувати нові замовлення. Тут рекламна діяльність йде за двома напрямками:

1) придбання нових замовлень на вже вироблену продукцію. Звичайно, що кількість замовлень на нашу продукцію залежить від підприємств, які виробляють літак типу Ан-74. Отже, реклама повинна бути спрямована на сам літак. Але самостійно таку діяльність розвинути підприємство не може. Основну діяльність по рекламі беруть на себе завод-виготовлювач Ан-74 і ОКБ АНТК ім. Антонова. В рамках цієї рекламної діяльності вони здійснюють такі види реклами, як:

а) пряма поштова реклама. Виробник адресує рекламу окремим особам в їх професійній – службовій ролі. Це розсилання рекламних проспектів, описів безпосередньо потенційним споживачам. Крім розсилки різної документації представники замовників запрошуються на виставки, показові польоти.

б) публікація реклами в спеціалізованих, вузьконаправлених виданнях, розрахованих на охоплення потрібного ринку, що споживає товари та послуги

авіаційного комплексу. Таких видань багато, тому слід зосередитися на тих, які читають фахівці регіонів, в яких спостерігається попит на літак типу Ан-74.

в) реклама на виставках.

Тут мається на увазі, перш за все, участь виробника в різних виставках (як загального профілю, так і спеціалізованих): авіасалонах, авіа-шоу, що проводяться в усьому світі. Необхідно, перш за все, відвідувати ті виставки, які проводяться в регіоні потенційних покупців, так як участь у виставці дає можливість не тільки представити свою продукцію, але і провести переговори з усіма зацікавленими організаціями; в короткі терміни і централізовано поширити свою рекламну інформацію; зібрати інформацію про конкурентну продукцію.

Таким чином, підприємство, здійснюючи тісну співпрацю з іншими авіабудівельними фірмами, буде робити посильний внесок у рекламну діяльність.

2) інший напрямок рекламної діяльності підприємства – це придбання замовлень на виробництво принципово нових виробів – наприклад, крила на нові літаки Ан-148. Об'єктом цієї реклами є безпосередньо наше підприємство. Таким чином, здійснюючи рекламну діяльність, підприємство розраховує на замовлення в майбутньому. При виході підприємства на повну потужність роботи передбачають застосування різного роду знижок.

3.2.2 Аналіз ризику

При впровадженні у виробництво і при розробці нового ринково-орієнтованого виробу, стикаються з такими труднощами:

1. Невизначеність в досягненні результатів.
2. Суб'єктивність в інтересах різних ділянок проекту, множинність критеріїв оцінки.

Ризик – міра мінливості і невпевненості віддачі, яка складається з очікуваних надходжень. Чим ризикованіше операція, тим більше обсяг прибутку може бути отриманий. При оцінці ризику слід враховувати два фактори:

1. Обсяг фінансування.
2. Фактор часу.

Розрізняють два види ризику:

1. Диверсифікований – це фінансовий ризик фірми. Залежить від нестабільності цін на матеріали, нестабільності попиту на збувати продукцію.

2. Недиверсифікований – ризик системи в цілому. Залежить від зростання цін на енергоносії, економічної нестабільності в країні, інфляції, метеоумов і т. д.

Для зменшення ступеня ризику можливе застосування різних застережень при укладанні договору (контракту). Для зведення до мінімуму диверсифікованих ризиків встановлюють в контракті ковзаючу ціну і форму, по якій вона повинна розраховуватися. [18]

Для компенсації інших типів ризику служить страхування.

Страхування - це фінансове забезпечення можливого збитку, зниження або повна його компенсація.

3.3 Вихідні дані для техніко-економічних показників цеху

Розряд робочих не нижче 4 розряду.

Мінімальна зарплата 4173 грн, часова ставка 25,13 грн.

Річна програма випуску виробу NB=25 шт.

Трудомісткість одного виробу: 96 год.

Підприємство працює в одну зміну.

Тривалість виробничого циклу дорівнює 80 год.

Річна програма запуску N3, шт. у виробництво розраховується за формулою:

$$N3 = NB \cdot \left(1 + \frac{ПН}{100}\right) = 25 \cdot \left(1 + \frac{6}{100}\right) = 26 \text{ шт.}, \quad (3.1)$$

де ПН – технічні немінучі витрати. ПН=6%.

Для визначення собівартості виробу необхідно визначити:

- - Вартість основних матеріалів;
- - Зворотні відходи;
- - Заробітня плата виробничих працівників(основна та додаткова);
- - Відчислення у фонд ЄСВ з заробітних плат;
- - Загальновиробничі постійні та змінні витрати;

– - Витрати на освоєння нових видів виробу.

Собівартість виробу обчислюється як:

$$C_{\text{Вир}} = BМ - ЗВ + ОЗПР + ДЗПР + ЄСВПР + Пев + ПоВ + ВПВ \quad (3.2)$$

Трудомісткість партії деталей:

$$ТГ = ТГ_{\text{шт}} \cdot NЗ, \quad (3.3)$$

де $ТГ_{\text{шт}}$ – трудомісткість одного виробу;

$NЗ$ – річна програма запуску деталей;

$$ТГ = 96 \cdot 26 = 2496 \text{ н.годин};$$

Основна заробітна плата складає:

$$ОЗПР = ТГ \cdot СГС, \quad (3.4)$$

де $СГС$ – середня годинна ставка.

Середня годинна ставка відповідає середньому розряду робіт, що виконується в цеху.

Розрахунок кількості працівників цеху за категоріями працюючих.

Для промислово-виробничого персоналу підприємства належать такі працівники: основні, виробничі і допоміжні робітники, фахівці (інженерно-технічні працівники), службовці, молодший обслуговуючий персонал.

Приймаємо, що на одному верстаті працює один робітник.

Таблиця 3.1 – Кількість робітників цеху

Професія	Кількість робітників, чол.	Розряд
Складальник	12	4
Свердлильник	8	
Клепальщик	6	
Контролер	4	
Всього	30	

Середня годинна ставка $СГС$ складає:

$$СГС = \frac{ГС_{IV} \cdot КВР_{IV}}{КВР}, \quad (3.5)$$

де $ГС_{IV}$ – годинна ставка IV розряду;

$КВР_{IV}$ – кількість виробничих робітників IV розряду;

$$СГС = \frac{1,65 \cdot 30 \cdot 25,13}{30} = 41,46 \text{ грн};$$

Витрати на сировину та матеріали (ВМ):

$$ВМ = НМ \cdot ЦМ \cdot \left(1 + \frac{НТ}{100}\right), \quad (3.6)$$

де $НМ$ – маса матеріалів заготовок;

$НМ=25 \cdot 2496=57408$ кг,

$НТ$ – норматив транспортних витрат, %; $НТ=1,5\%$;

$ЦМ$ – ціна кілограму матеріалу деталі, для Д16 $ЦМ=180$ грн/кг.

$$ВМ = 57408 \cdot 180 \cdot \left(1 + \frac{1,5}{100}\right) = 10488441,6 \text{ грн.}$$

Зворотні витрати (ЗВ), то залишки сировини, матеріалів, напівфабрикатів, що втратили свої споживчі якості в процесі виробництва, складають:

$$ЗВ = НМ \cdot \left(1 - \frac{КВМ}{100}\right) \cdot ЦМ \cdot 0,1, \quad (3.7)$$

де $КВМ$ – коефіцієнт використаних матеріалів, %; $КВМ=82,8\%$.

$$ЗВ = 57408 \cdot \left(1 - \frac{82,8}{100}\right) \cdot 180 \cdot 0,1 = 177735,2 \text{ грн,}$$

Тоді основна заробітна плата складає:

$$ОЗПР=4173 \cdot 1,65=6885 \text{ грн.}$$

Додаткова заробітна плата виробничих робітників визначається за формулою:

$$ДЗПР = ОЗПР \cdot \frac{НДО}{100}, \quad (3.8)$$

де $НДО$ – норматив додаткової заробітної плати робітників, %;

НДО=45%.

$$\text{ДЗПР} = 6885 \cdot \frac{45}{100} = 3098,2 \text{ грн.}$$

Відчислення у фонд ЄСВ з основної та додаткової заробітної плати робітників ЄСВПР, грн. розраховується як 22% від суми основної та додаткової заробітної плати:

$$\text{ЄСВПР} = (\text{ОЗПР} + \text{ДЗПР}) \cdot \frac{\text{НЄСВ}}{100}, \quad (3.9)$$

де НЄСВ – норматив відрахувань у фонд ЄСВ із заробітних плат основних робітників, НЄСВ=22%

$$\text{ЄСВПР} = (6885 + 3098,2) \cdot \frac{22}{100} = 2196,3 \text{ грн.}$$

Сума постійних загальновиробничих витрат є нормативом від заробітної плати основних робітників. Визначається за формулою:

$$\text{ПоВ} = 65\% \cdot \text{ОЗПР} = 65\% \cdot 6885 = 4475,2 \text{ грн.} \quad (3.10)$$

Сума змінних загальновиробничих витрат є нормативом від заробітної плати основних робітників. Визначається за формулою:

$$\text{ПеВ} = 80\% \cdot \text{ОЗПР} = 80\% \cdot 6885 = 5508 \text{ грн.} \quad (3.11)$$

Витрати на підготовку виробництва (ВПВ) визначають нормативом від матеріальних витрат та основної заробітної плати виробничих робітників для виробу:

$$\text{ВПВ} = (\text{ВМ} + \text{ОЗПР}) \cdot \frac{\text{НОВ}}{100}, \quad (3.12)$$

де НОВ – норматив витрат на підготовку виробництва, % НОВ=6%;

$$\text{ВПВ} = (10488441,6 + 6885) \cdot \frac{6}{100} = 629719,6 \text{ грн.}$$

Собівартість партії виробів:

$$\text{СВир} = 10488441,6 - 177735,2 + 6885 + 3098,2 + 2196,3 + 5508 + 4475,2 + 629719,6 = 10962588,7 \text{ грн.}$$

Собівартість одного виробу:

$$CB = \frac{CB_{\text{вир}}}{N3} = \frac{10962588,7}{26} = 456774,5 \text{ грн}, \quad (3.13)$$

Витрати на збут одного виробу визначаються за формулою:

$$ВЗБ = 5\% \cdot CB = 5\% \cdot 456774,5 = 22838,7 \text{ грн.} \quad (3.14)$$

$$ВЗБ = 5\% \cdot CB = 5\% \cdot 456774,5 = 22838,7 \text{ грн.}$$

Повна собівартість партії виробів (враховуючи витрати на збут):

$$CB_{\text{повна}} = N3 \cdot (ВЗБ + CB) = 26 \cdot (22838,7 + 456774,5) = 11510716,8 \text{ грн.} \quad (3.15)$$

Повна собівартість одного виробу:

$$CB_{\text{виробу}} = \frac{CB_{\text{повна}}}{N3} = \frac{11510716,8}{26} = 479613,2 \text{ грн.} \quad (3.16)$$

Усі результати розрахунків зведено до таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 – Визначення собівартості деталей

Найменування величин	Позначення	Значення, грн
Витрати на сировину і матеріали	ВМ	10488441,6
Зворотні відходи	ЗВ	177735,2
Основна зарплата виробничих робітників	ОЗПР	6885
Додаткова зарплата виробничих робітників	ДЗПР	3098,2
Нарахування до фонду ЄСВ на заробітну плату виробничих робітників	ЄСВПР	2196,3
Постійні загальновиробничі витрати	ПоВ	4475,2
Змінні загальновиробничі витрати	ПеВ	5508
Витрати на підготовку виробництва	ВПВ	629719,6
Собівартість партії виробів	СВир	10962588,7
Собівартість одного виробу	СВ	456774,5
Витрати на збут	ВЗБ	22838,7
Повна собівартість партії виробів	СВ _{повна}	11510716,8
Повна собівартість одного виробу	СВ _{виробу}	479613,2
Ціна на виріб без ПДВ	ЦВ	527574,5

3.3.1 Визначення критичної програми випуску виробів

Розмір критичної програми РКП річного обсягу випуску продукції – це мінімальний розмір програми випуску продукції за рік, при якому дохід від продажів РДР дорівнює витратам виробництва РВВ, тобто прибуток дорівнює нулю. Розмір програми випуску визначаємо графічно.

Точка беззбитковості – розмір партії продукції, що випускається, при якій забезпечується «нульовий прибуток», тобто прибуток від продажу дорівнює витратам виробництва. [18]

Графічно критичну програму виробництва визначаємо як проекцію точки перетинання двох прямих: річного доходу від реалізації РДР і річних витрат виробництва РВВ.

Річні постійні витрати РПоВ визначаємо за трьома видами витрат і множенням цієї суми на річний обсяг запуску у виробництво $NЗ$, заданий у вихідних даних для виробу:

$$РПоВ = (ПоВ + АВ + ВЗ) \cdot NЗ, \quad (3.17)$$

де АВ – адміністративні витрати;

$$АВ = ОЗПР \cdot \frac{НА}{100}, \quad (3.18)$$

де НА – норматив від виробничої собівартості виробу.

АВ включають в себе витрати на оренду офісу і адміністративних приміщень, витрати на зв'язок і інтернет, зарплату адміністративного персоналу та відділу збуту, податки на фонд оплати праці, витрати на відрядження адміністративного персоналу, податки, витрати на розрахунково-касове обслуговування, амортизація засобів, використовуваних в адміністративній діяльності. Вираховується середня вартість за годину і множиться на час виготовлення згідно технологічного процесу. [18]

$$АВ = 6885 \cdot \frac{10}{100} = 688,5 \text{ грн},$$

ВЗ – виробнича собівартість;

$$BЗ = СВ \cdot \frac{НЗ}{100}, \quad (3.19)$$

де НЗ – норматив витрат на збут;

$$BЗ = 456774,5 \cdot \frac{5}{100} = 22838,7 \text{ грн};$$

$$РПоВ = (4475,2 + 688,5 + 22838,7) \cdot 26 = 672057,6 \text{ грн.}$$

Далі будемо лінію змінних витрат, що виходять із початку координат:

$$ЗмВ \cdot NB \quad (3.20)$$

Змінні витрати ЗмВ, що припадають на один виріб, визначаємо вирахуванням з виробничої собівартості виробу СВир постійних загальновиробничих податків ПоВ:

$$ЗмВ = СВ - ПоВ = 456774,5 - 4475,2 = 452299,3 \text{ грн.}$$

Лінію річного доходу від реалізації РДР, яка також виходить із початку координат, визначаємо за формулою:

$$РДР = ЦВ \cdot NB, \quad (3.21)$$

де ЦВ – оптова ціна на виріб.

$$РДР = 527574,5 \cdot 25 = 12134219,9 \text{ грн.}$$

Аналітично розмір критичної програми РКП розраховуємо за формулою:

$$РКП = \frac{РПоВ}{ЦВ - ЗмВ}, \quad (3.22)$$

$$РКП = \frac{672057,6}{527574,5 - 452299,3} = 8,92 \approx 9 \text{ шт.}$$

Річний кошторис витрат на виробництво:

$$РВВ = СВ \cdot NB = 456774,5 \cdot 25 = 10505813,5 \text{ грн.} \quad (3.23)$$

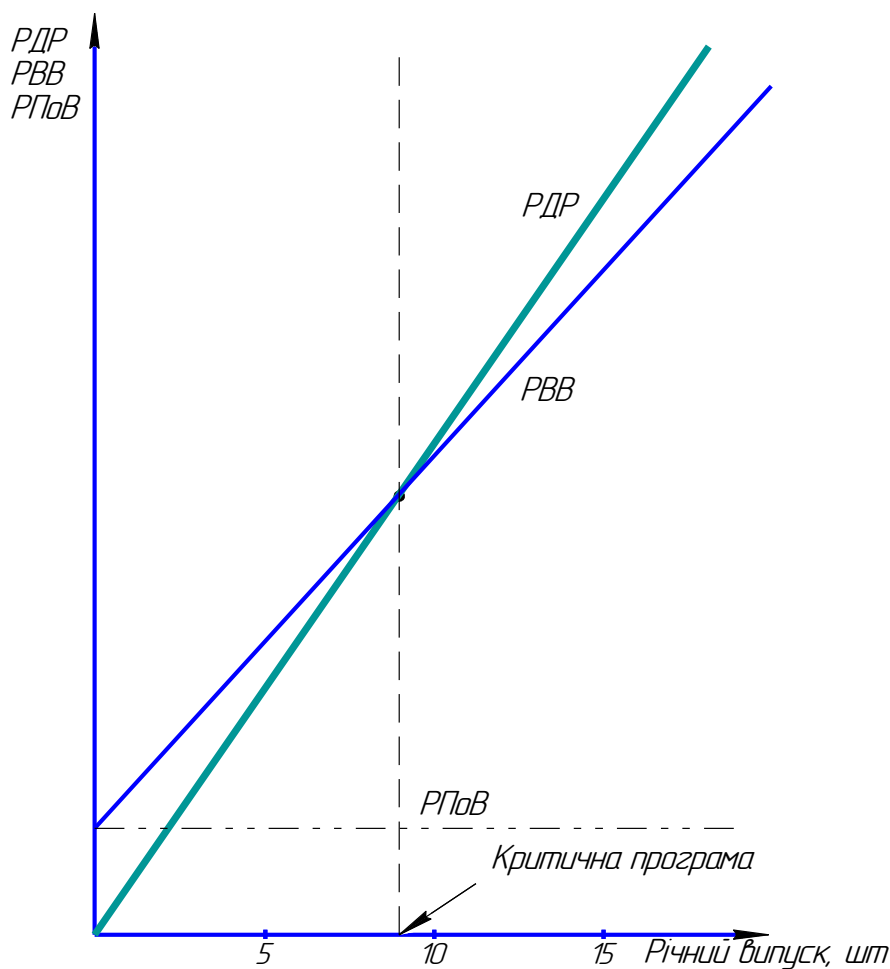


Рисунок 3.1 – Точка беззбитковості

Висновок

У даній частині дипломного проекту були розраховані такі параметри, як витрати на сировину та матеріали, зворотні витрати, основна заробітна плата робочих, відчислення у фонд ЄСВ, постійні загальновиробничі витрати, витрати на підготовку виробництва, собівартість партії і собівартість одного виробу, витрати на збут, розмір критичної програми, і також була знайдена точка беззбитковості.

В результаті можна зробити висновок, що дане виробництво економічно вигідно і має ринок збуту на українському ринку. Перевагами українського виробництва є відносно недорога робоча сила, кваліфіковані робітники, і в наслідок менша собівартість при хорошій якості вихідного продукту.

Виходячи з перерахованого вище, можна сказати, що проект слід прийняти до уваги і реалізувати його на практиці.

4. СПЕЦІАЛЬНИЙ РОЗДІЛ

4.1 Адитивні технології виробництва. SLM & DMLS

Адитивні технології виробництва дозволяють виготовляти будь-який виріб пошарово на основі комп'ютерної 3D-моделі. Такий процес створення об'єкта також називають «вироснуванням» з-за поступовості виготовлення. Якщо при традиційному виробництві на початку ми маємо заготовку, від якої оптом відсікаємо все зайве, або деформуємо її, то у випадку з адитивними технологіями з нічого (а точніше, з аморфного витратного матеріалу) вибудовується новий виріб. В залежності від технології, об'єкт може будуватися знизу-вгору або навпаки, отримувати різні властивості. [22]

Загальну схему адитивного виробництва можна зобразити у вигляді наступної послідовності:



Рисунок 4.1 – Схема адитивного виробництва

Перші адитивні системи виробництва працювали головним чином з полімерними матеріалами. Сьогодні 3D-принтери, що втілюють адитивне виробництво, здатні працювати не тільки з ними, але і з інженерними пластиками, композитними порошками, різними типами металів, керамікою, піском. Адитивні технології активно використовуються в машинобудуванні, промисловості, науці, освіті, проектуванні, медицині, ливарному виробництві та багатьох інших сферах.

4.1.1 Переваги адитивних технологій

Покращені властивості готової продукції. Завдяки пошаровому побудові, вироби володіють унікальним набором властивостей. Наприклад, деталі, створені на металевому 3D-принтері за своєю механічною поведінкою, щільності,

залишковій напрузі і іншим властивостям перевершують аналоги, отримані за допомогою лиття або механічної обробки.

Велика економія сировини. Адитивні технології використовують практично ту кількість матеріалу, яке потрібно для виробництва вашого виробу. Тоді як при традиційних способах виготовлення втрати сировини можуть становити до 80-85%.

Можливість виготовлення виробів зі складною геометрією. Обладнання для адитивних технологій дозволяє виробляти предмети, які неможливо отримати іншим способом. Наприклад, деталь всередині деталі. Або дуже складні системи охолодження на основі сітчастих конструкцій (цього не отримати ні литтям, ні штампуванням).

Мобільність виробництва і прискорення обміну даними. Більше ніяких креслень, замірів і громіздких зразків. В основі адитивних технологій лежить комп'ютерна модель майбутнього виробу, яку можна передати в лічені хвилини на інший кінець світу — і відразу почати виробництво.

4.1.2 Адитивне виробництво: технології та матеріали

Під адитивним виробництвом розуміють процес вирощування виробів на 3D-принтері по CAD-моделі. Цей процес вважається інноваційним і протиставляється традиційним способам промислового виробництва.

Розглянемо дві технології даного методу виробництва SLM і DMLS. [22]

Схематично відмінності в традиційному і адитивному виробництві можна зобразити наступною схемою:

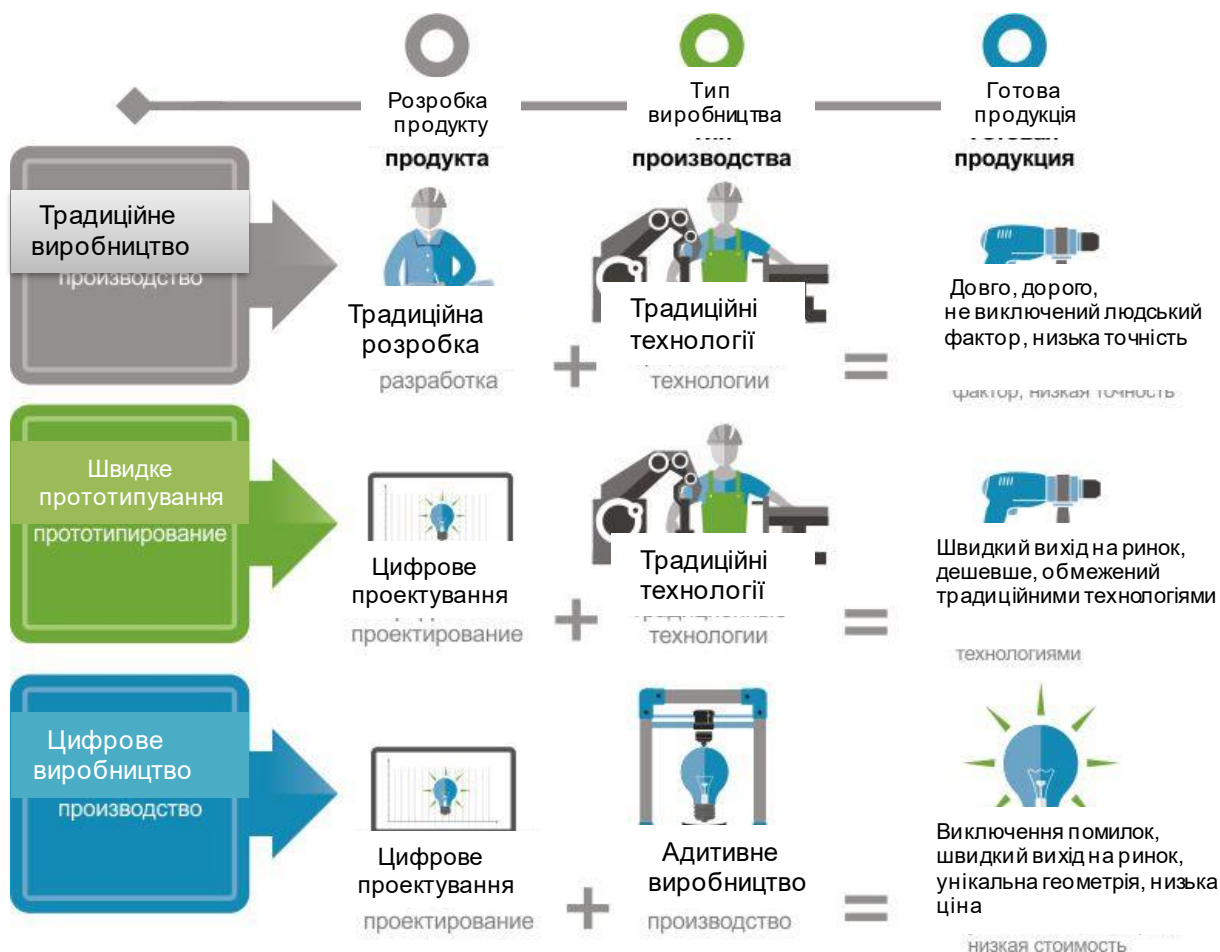


Рисунок 4.2 – Відмінності традиційного і адитивного виробництва

4.2 SLM & DMLS: в чому різниця

Вибіркове лазерне плавлення (SLM) і пряме лазерне спікання металів (DMLS) є двома процесами адитивного виробництва, які відносяться до сімейства тривимірного друку порошковим шаром. Ці дві технології мають багато спільних рис: обидві використовують лазер для спікання або вибіркового плавлення частинок металевого порошку, пов'язуючи їх разом і створюючи шари виробу, один за іншим. [20]

Відмінності між SLM і DMLS зводяться до основ процесу склеювання часток (а також до патентів): в SLM лазер розплавляє металевий порошок, а в DMLS

частинки порошку нагріваються менше і спікаються між собою, не переходячи в рідку фазу.



Рисунок 4.3 – Приклад друку

Основна відмінність DMLS від традиційних технологій виробництва металевих деталей у тому, що DMLS-принтер створює об'єкти без залишкових внутрішніх напружень, які можуть знижувати якість металевих компонентів виготовлених литтям і штампуванням. Це важливо для деталей вироблених для автомобільної та аерокосмічної галузі, так як вони повинні витримувати високі навантаження.

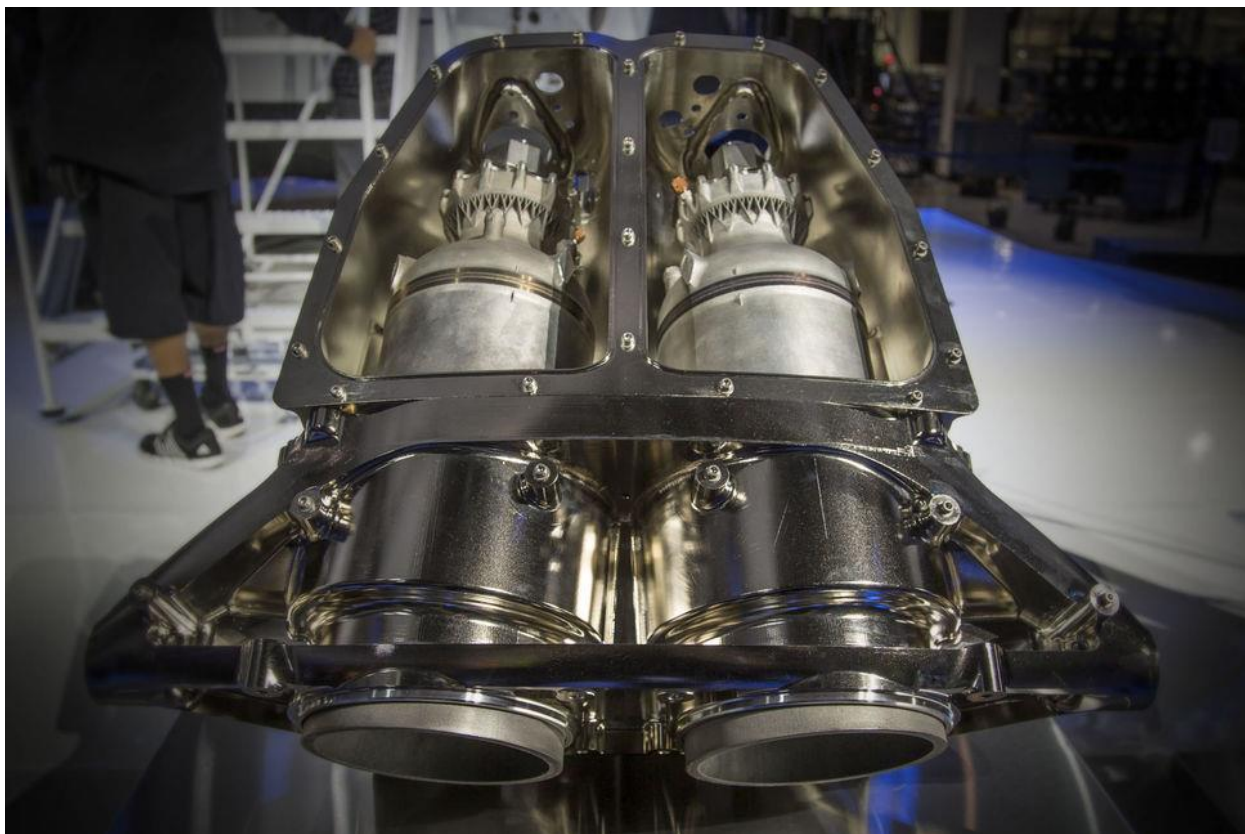


Рисунок 4.4 – Деталь аерокосмічної галузі

У SLM лазер розплавляє кожен шар металевого порошку, і перепади температур можуть призводити до виникнення внутрішніх напружень у деталі, що потенційно може позначитися на її якості, хоч і в меншій мірі, ніж, наприклад, при литті. В цьому питанні перевага SLM перед традиційними технологіями менше, ніж перевага DMLS. З іншого боку, спечені за технологією DMLS деталі поступаються в монолітності і запасу міцності деталям надрукованим за методом SLM. Технології схожі до ступеня змішування, як за принципом дії, так і по використовуваних технічних рішень, тому деякі 3D-принтери, здатні друкувати за обома методиками.

Обидві технології, SLM і DMLS, використовуються в промисловості для створення деталей для різних галузей машинобудування. Ми використовуємо термін «3D-друк металами» для позначення обох процесів в цілому, і описуємо їх основні механізми, що допоможе інженерам і дизайнерам в розумінні переваг і обмежень технології.

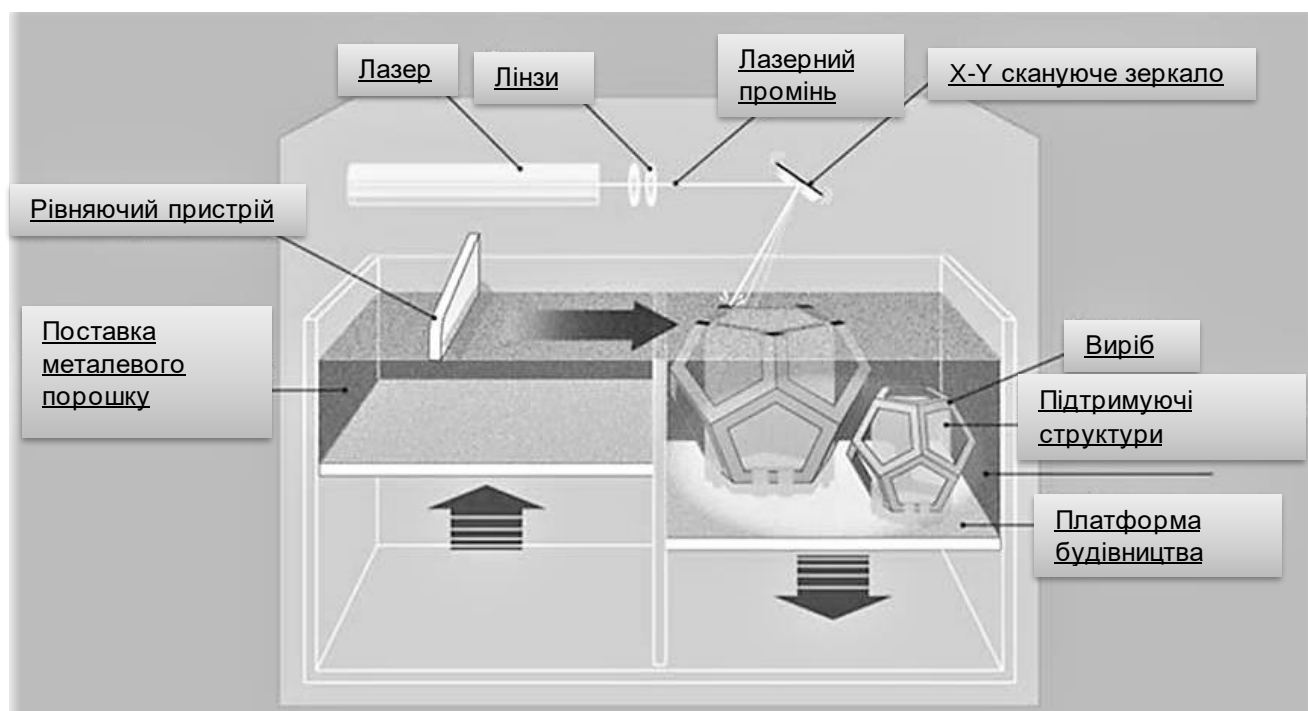


Рисунок 4.5 – Процес друку SLM / DMLS

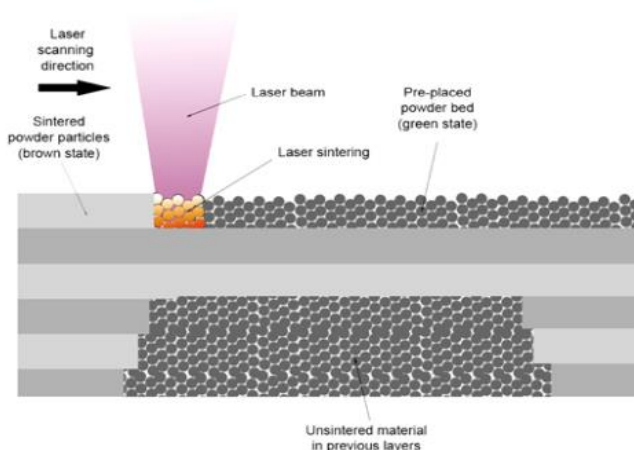


Рисунок 4.6 – Дія лазерного променя

4.2.1 Як працює 3D-друк металами

Процеси виготовлення деталей за технологіями SLM і DMLS дуже схожі. [20]

Основні етапи:

- Камеру побудови спочатку заповнюють інертним газом (наприклад, аргоном) для мінімізації окислення металевого порошку, а потім нагрівають до оптимальної температури виробництва.

- Тонкий шар металевого порошку розподіляється по платформі побудови, а високопотужний лазер сканує поперечний переріз компонента, плаве або спікає разом металеві частинки і створюючи наступний шар. Вся область моделі піддається обробці, тому деталь відразу тверда.

- Після завершення формування шару, платформа побудови опускається на товщину шару і рекоутер наносить наступний шар порошку. Процес повторюється до завершення всієї деталі.

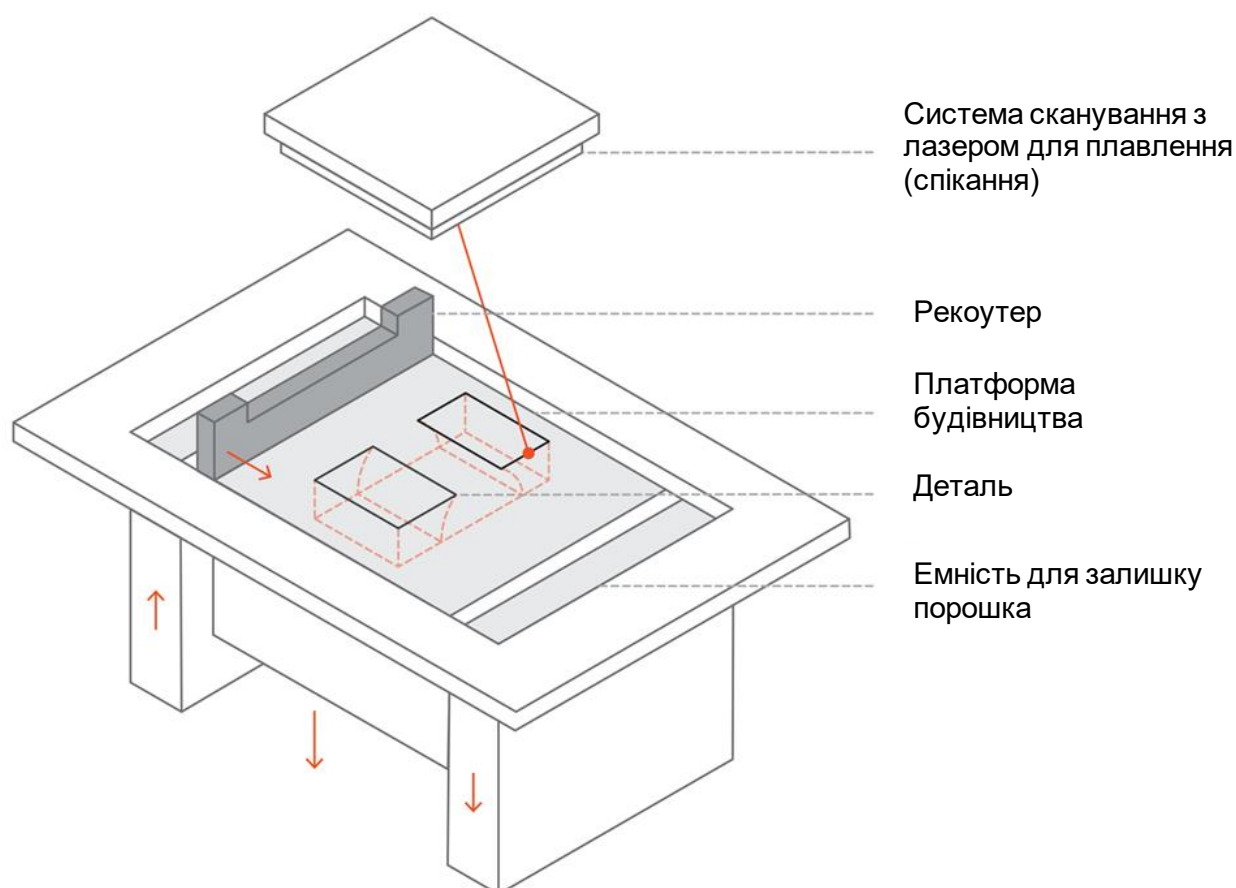


Рисунок 4.7 – Схема принтера SLM / DMLS

Коли процес друку завершується, деталі повністю знаходяться в металевому порошку. На відміну від процесу спікання полімерного порошкового шару (такого як SLS), деталі прикріплюються до платформи побудови за допомогою області підтримки. Області підтримки будуються з використанням того ж матеріалу, що і деталь, їх необхідно використовувати для уникнення деформації і спотворень, які можуть виникнути через високі температури обробки.

Коли камера побудови охолоджується до кімнатної температури, невитрачений порошок вручну видаляється, а деталі зазвичай піддаються додатковій термічній обробці для зняття залишкових напруг, потім видаляють підтримки. Деталі відокремлюються від платформи побудови і готові до використання або подальшої обробки.

4.2.2 Характеристики SLM і DMLS

Параметри принтера:

У SLM і DMLS майже всі параметри процесу встановлюються виробником принтера. Висота шару, використовуваного в 3D-друку металами, коливається зазвичай від 20 до 50 мікрон і залежить від властивостей матеріалу. [20]

Стандартна область 3D-друку металами варіюється близько 250 x 150 x 150 мм, доступні принтери і з великою областю друку, близько 500 x 280 x 360 мм. Точність розмірів, яку може досягти 3D-принтер для друку металами, становить приблизно $\pm 0,1$ мм.

Металевий порошок в SLM і DMLS використовуються повторно: зазвичай менше 5% йде у відходи. Після кожного друку невикористаний порошок збирають, просівають і потім змішують з новим матеріалом, до складу необхідного для наступного друку. У відходи йдуть, в основному, підтримки.

Невелике серійне виробництво рами велосипеда з використанням SLM. Надано: Renishaw і Empire Cycles.

4.2.3 Адгезія між шарами

Металеві деталі, виготовлені методами SLM і DMLS, мають майже ізотропні механічні та термічні властивості. Вони тверді, з дуже невеликою внутрішньою пористістю (менше 0,2-0,5%). [20]

Металеві 3D-друковані деталі мають більш високу міцність і твердість і часто більш гнучкі, ніж деталі, виготовлені традиційним способом. Однак вони більш схильні до втоми.

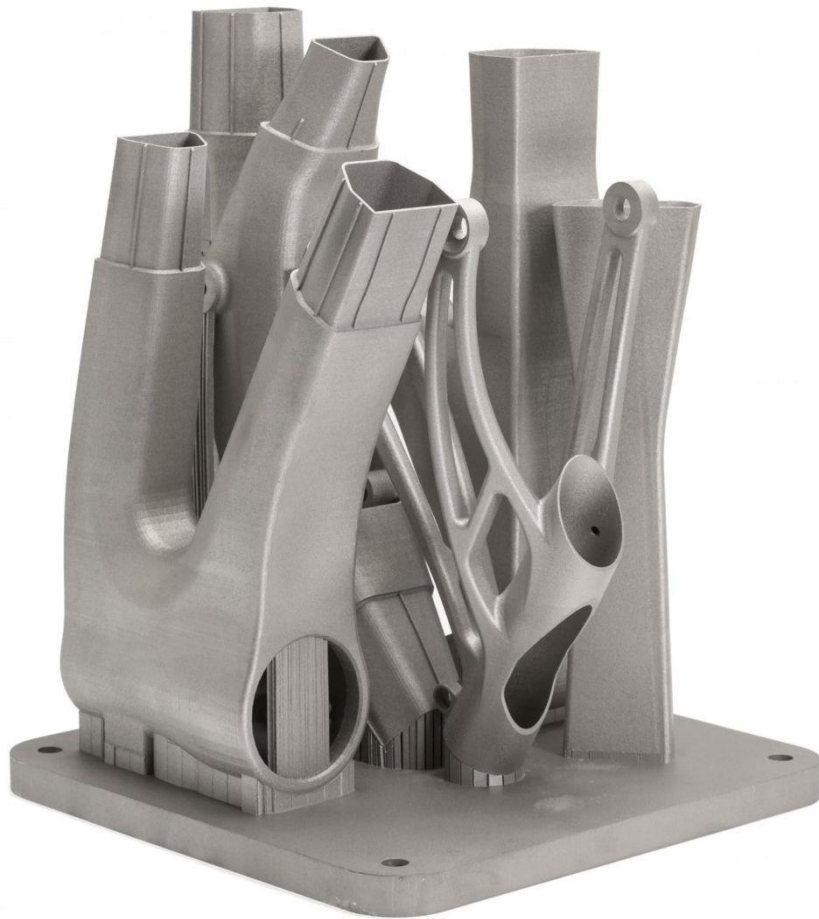


Рисунок 4.8 – Рама велосипеда з використанням SLM

Наприклад, подивіться в таблиці нижче на механічні властивості 3D-друкованого сплаву AlSi10Mg EOS і литого сплаву A360. Ці два матеріали мають дуже схожий хімічний склад, з високим вмістом кремнію і магнію. 3D-друковані деталі мають чудові механічні властивості та вищу твердість у порівнянні з литим матеріалом.

Через гранульовану форму порошку, шорсткість поверхні (R_a) металевою 3D-друкованої деталі становить приблизно 6-10 мкм. Ця відносно висока шорсткість поверхні може частково пояснити нижчу втомну міцність сплаву.

Таблиця 4.1 – Порівняння механічних властивостей окремих різновидів 3D-друкованих та литих деталей

Основні характеристики	AlSi10Mg (3D-друкований сплав)	A360 (Литий сплав)
Межа плинності (деформація на 0,2%)	XY: 230 MPa Z : 230 MPa	165 MPa
Міцність на розтягування	XY: 345 MPa Z : 350 MPa	317 MPa
Модуль	XY: 70 GPa Z : 60 GPa	71 GPa
Подовження при розриві	XY: 12% Z : 11%	3.5%
Твердість	119 HBW	75 HBW
Втомна міцність	97 MPa	124 MPa

4.2.4 Область підтримки та орієнтація деталей

Області підтримки при 3D-друку металами потрібні завжди, через дуже високу температуру обробки, і вони зазвичай будуються з використанням ґратчастої структури. [20]

Область підтримки в 3D-друку металами виконує три функції:

- Забезпечує відповідну платформу для наступного шару;
- Прикріплює деталь до платформи побудови і запобігає її деформацію;
- Відводить тепло від деталі і дозволяє їй остигати з контрольованою швидкістю.

Деталі часто орієнтовані під кутом, щоб мінімізувати ймовірність деформації і максимізувати міцність в критичних напрямках. Однак це збільшує обсяг необхідної області підтримки, час друку, кількість матеріалу і загальну вартість.

Деформація також може бути зведена до мінімуму з використанням безсистемних/випадкових шаблонів сканування, тобто послідовності проходу

лазером ділянок шару. Ця стратегія сканування запобігає накопиченню залишкових напруг в будь-якому конкретному напрямку.

Оскільки вартість 3D-друку металами дуже висока, часто використовуються симуляції, для прогнозування поведінки деталі під час друку. Алгоритми безперервної оптимізації також використовуються не тільки для максимізації механічних характеристик і створення легких деталей, але і для мінімізації необхідної підтримки та ймовірності деформації.

Кронштейн перед зняттям з області підтримки, орієнтованої під кутом 45 °. Надано: Concept Laser.



Рисунок 4.9 – Кронштейн

4.2.5 Порожнисті секції і полегшені конструкції

На відміну від процесів спікання полімерних порошкових шарів, таких як SLS, великі порожнисті секції зазвичай не використовуються в 3D-друку металами, так як області підтримки неможна легко видалити. [21]

В якості альтернативи порожнистим перерізам, деталі можуть бути спроектовані з оболонкою і ядром. Оболонка і ядро обробляються з використанням різної потужності лазера і швидкості сканування, що призводить до різних властивостей областей деталі. Використання оболонки і ядра дуже корисно при виготовленні деталей з великим суцільним перерізом, оскільки воно значно скорочує час друку і ймовірність деформації, а також гарантує виробництво деталей з високою стабільністю і відмінною якістю поверхні.

Використання гратчастої структури також є загальною стратегією в 3D-друку металами, для зменшення маси деталі. Алгоритми оптимізації топології також можуть допомогти в розробці органічно легкої форми.

Видалення порошку навколо деталей, виготовлених методом 3D-друку SLM.



Рисунок 4.10 – Видалення порошку навколо деталей

4.2.6 Витратні матеріали для SLM і DMLS

SLM і DMLS можуть виробляти деталі з великої кількості металів і металевих сплавів, включаючи алюміній, нержавіючу сталь, титан, кобальтовий хром і

інконель. Ці матеріали охоплюють потреби більшості промислових застосувань, від аерокосмічної до медичної. Дорогоцінні метали, такі як золото, платина, паладій і срібло також можуть бути використані, але їх застосування обмежене, в основному, виготовленням ювелірних виробів. [21]

Вартість металевого порошку дуже висока. Наприклад, кілограм порошку з нержавіючої сталі 316L коштує приблизно 350 — 450 доларів. З цієї причини мінімізація обсягу деталі і області підтримки є ключем до того, щоб максимально знизити витрати.

Основною перевагою 3D-друку металами є її здатність друкувати високоміцними матеріалами, такими як нікелеві або кобальт-хромові суперсплави, які дуже важко обробляти традиційними методами виробництва. Значну економію коштів та часу можна отримати, використовуючи 3D-друк металами для створення деталей з майже чистою поверхнею, яка згодом може бути фінально оброблена традиційними способами.

Таблиця 4.2 – Особливості різних матеріалів для 3D-друку металом

Матеріали	
Алюмінієві сплави	● Хороші механічні та термічні властивості ● Низька щільність ● Хороша електропровідність ● Низька твердість
Нержавіюча сталь та інструментальна сталь	● Висока зносостійкість ● Велика твердість ● Хороша пластичність і зварюваність

Продовження таблиці 4.2

Матеріали	
Титанові сплави	• Корозійна стійкість • Відмінне співвідношення міцності та ваги • Низьке теплове розширення • Біосумісність
Суперсплави з кобальту-хрому	• Відмінна стійкість до зносу та корозії • Відмінні властивості при підвищених температурах • Дуже висока твердість • Біосумісність
Нікелеві суперсплави (Інконель)	• Відмінні механічні властивості • Висока корозійна стійкість • Термостійкість до 1200°C • Використовуються в екстремальних умовах
Дорогоцінні метали	• Використовуються в ювелірній промисловості • Не мають широкого розповсюдження

4.3 Інші технології

4.3.1 Осадження матеріалу шляхом спрямованого енергетичного впливу (Directed Energy Deposition)

Можна подумати, що серед технологій друком металом відсутня схожа на звичайну FDM, однак, це не зовсім так. Ви не зможете плавити металеву нитку в своєму настільному 3D-принтері, а от великі виробники володіють такою технологією і користуються нею. Є два основних способи друкувати суцільнометалевим матеріалом. [20]

Один з них називається Directed Energy Deposition (DED) або лазерне наплавлення (LMD). Він використовує лазерний промінь для сплавлення

металевого порошку, який повільно вивільняється і осідає з екструдера, формуючи шари об'єкта за допомогою промислового маніпулятора.

Зазвичай це робиться всередині закритої камери, проте, на прикладі компанії MX3D, ми бачимо можливість реалізації подібної технології у спорудженні цього повнорозмірного мосту, який був виготовлений в жовтні 2018 року в Амстердамі.



Рисунок 4.11 – Зображення мосту з металу, надрукованого MX3D в Амстердамі

Ще одна технологія наплавлення називається Electron Beam Additive Manufacturing (ЕВАМ), це процес формування шарів дуже потужним електронним променем, з його допомогою розплавляють титановий дріт завтовшки 3 мм і створюють великі конструкції.

4.4 Подальша обробка

Різні методи подальшої обробки використовуються для поліпшення механічних властивостей, точності і зовнішнього вигляду 3D-друкованих деталей.

Обов'язкові етапи подальшої обробки включають видалення залишків порошку і підтримки, в той час як термообробка (термічний відпал) зазвичай

використовується для зняття залишкових напруг та поліпшення механічних властивостей деталі. [20]

Обробка на верстатах з ЧПУ може бути використана для отримання складних геометричних форм (наприклад, отворів або різьблення). Обробка тиском, металізація, полірування та мікро-обробка можуть покращити якість поверхні та втомну міцність металевої 3D-друкованої деталі.

Супутникова антена, виготовлена за допомогою технології DMLS. Надано: Concept Laser and Optisys LLC.

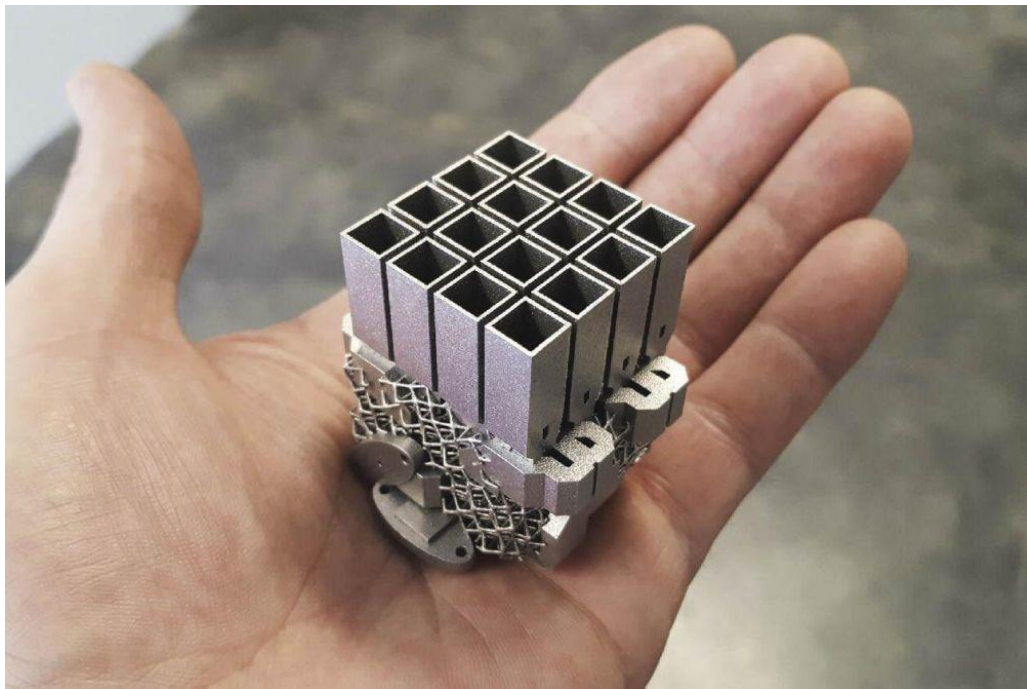


Рисунок 4.12 – Супутникова антена

4.5 3D-принтери для друку металами

Markforged (див. рис. 4.13)

Markforged — ще одна компанія 3D-друку, яка фокусується на тому, щоб зробити цю недоступну технологію більш відкритою для мас. [20]

Markforged Metal X — це 3D-принтер для друку металами, який пропонує комплексне виробниче рішення. Компанія заявляє, що її 3D-принтер для друку

металами в десять разів дешевше, ніж альтернативні 3D-системи друку металами, що означає — менше 100 000 доларів.



Рисунок 4.13 – 3D-принтер для друку металами Metal X



Рисунок 4.14 – Деталі, надруковані на Markforged Metal X

Metal X має розмір камери 250 x 220 x 200 і висоту шару 50 мікрон. Подібно Desktop Studio Studio, цей 3D-принтер для друку металами працює, розплавляючи металевий порошок, який покритий синтетичним сполучною речовиною, яка видаляється після друку, дозволяючи металу з'єднатися в єдине ціле.

На веб-сайті компанії Markforged демонструє різні типи металевих деталей, які можуть бути надруковані у форматі 3D, а також розповідає про те, як користувачі можуть заощадити на виробництві, використовуючи власний 3D-друк металами.

Таблиця 4.3 – Характеристики Markforged Metal X

Розміри, мм	575 x 467 x 1120
Маса, кг	68
Програмне забезпечення	Eiger
Робоча камера	250 x 220 x 200 мм
Температура в області друку	1300 ° C
Технологія друку	ADAM (Atomic Diffusion Additive Manufacturing)
Товщина слою від	50 мкм
Підтримувані матеріали	нержавіюча сталь 17-4 і 316L, алюміній 6061 і 7075, В 625, інструментальна сталь А-2 і D-2, титан Ti-6Al-4V,

Concept Laser (див. рис. 4.15)

Одним із самих великих, на ринку 3D-принтерів, що друкують за допомогою металевого порошку, є X Line 2000R. Компанія-виробник даного принтера є одним з постачальників 3D-принтерів для аерокосмічних компаній-гігантів, таких як Airbus.



Рисунок 4.15 – 3D-принтер Concept Laser X Line 2000R



Рисунок 4.16 – Приклад деталі на Concept Laser X Line 2000R

X Line 2000R має два лазери і велику область друку — 800 x 400 x 500 мм. Це принтер, який використовує запатентовану технологію LaserCUSING (тип

селективного лазерного плавлення), може створювати об'єкти з сплавів сталі, алюмінію, нікелю, титану, дорогоцінних металів і деяких чистих матеріалів (титану і сортових сталей).

Таблиця 4.4 – Характеристики Concept Laser X Line 2000R

Технологія друку	LC
Країна виробник	Німеччина
Лазер	2 x 1 кВт волоконні лазери
Робоча камера, мм	800 x 400 x 500
Товщина слою від, мкм	20
Продуктивність, см ³ /час	100
Вісь Z, швидкість, мм/с	10-1000
Точність позиціонування, мм	± 0,1
Повторюванність, мкм	± 3-5
Швидкість ракеля, мм/с	400
Споживана потужність, кВт	7,0
Формати документів	CLS, STL
Інертні гази	Азот або аргон
Стиснуте повітря	5 бар, безмасл
Підтримувані матеріали	сталі і сплави, титан, дорогоцінні метали

4.6 Переваги та обмеження адитивного виробництва

АП-технології забезпечують

- Гнучкість, що дозволяє швидко починати виробництво складної кастомізованої продукції і запасних частин, які або не можуть бути виготовлені за допомогою традиційних виробничих технологій, які потрібні в малих обсягах.

Виготовлення деталей складної конфігурації (наприклад, що містять внутрішні канали охолодження), які не можна виготовити субтрактивним методом.

Можливість швидкої передачі комп'ютерної 3D-моделі в будь-яку точку світу, де встановлений відповідний принтер, що дозволяє організувати локальне виробництво в світових масштабах.

- Близькість одержуваної форми виробу до заданої, що істотно скорочує витрати матеріалу і відходи виробництва.

- Малу тривалість стадій розробки і швидкий запуск виробу у виробництво.

- Можливість оперативного виготовлення оснащення (або відсутність необхідності в ній).

- Друк конструкцій будь-якої складності без подорожчання (принцип "складність за безкоштовно" — коли виробництво однієї деталі коштує стільки ж, скільки і великої партії).

- Економічну доцільність дрібносерійного виробництва і випуску кастомізованої продукції.

Можливість оперативного внесення змін до проекту вже на етапі виробництва.

- Топологічну оптимізацію під спеціальні вимоги (зміна конструктивних елементів з метою зниження масогабаритних характеристик і поліпшення функціональних особливостей, без зниження міцності і довговічності виробу).

- Децентралізацію виробництва, спрощення логістики, скорочення часу поставок, зменшення обсягів складських запасів.

- Можливість об'єднання декількох компонентів в одну деталь, що спрощує складання і прискорює виробництво.

Можливість розробки дизайну продуктів, який раніше був недосяжний або був занадто дорогим для виготовлення традиційними методами (механічна обробка на верстатах з ЧПК, лиття тощо).

- Друк запчастин для ремонту в місцях його проведення.

- Друк за запитом в момент виникнення потреби.

- Ефективне застосування робототехніки; роботизовані машини тривимірного друку здатні автоматизувати постобробку надрукованих деталей.

Обмеження, характерні для адитивних технологій на сучасному етапі розвитку

Незважаючи на незаперечні переваги 3D-друку, існують принципові обмеження, які стримують розширення сфери застосування АП:

- масштаб виробництва (крупносерійне виробництво виходить занадто дорогим);
- розмір деталі (обмеження в розмірах виробу);
- точність виготовлення (визначається мінімально досяжною товщиною шару);
- швидкість (відносно низька продуктивність в порівнянні, наприклад, з методом формування);
- собівартість (дорожнеча деяких матеріалів, використовуваних для друку);
- енерговитрати (висока енергоємність виробництва);
- матеріали (відносно вузький вибір матеріалів);
- постобробка (фінішна обробка складних поверхонь);
- та інші. [24]

4.7 Приклади застосування

Технологія SLM ще не стала стандартом у виробництві, але її вже використовують великі промислові компанії: машинобудівні, аерокосмічні, виробники авто та інші. [20]

AUDI

У компанії AUDI вважають SLM найбільш відповідною технологією для створення складних металевих деталей, і чим складніше деталь, тим більше для неї підходить 3D-друк. Виробництво таких деталей традиційними методами відняло б значно більше часу і коштів. Також перспективною вважають 3D-друк деталей на місцях, віддалених підрозділах, так як вона здатна серйозно скоротити витрати на логістику і складування.



Рисунок 4.17 – Металеві 3D-друковані конектори системи охолодження двигуна AUDI W12

PORSCHE

Німецький автовиробник використовує 3D-друк у виробництві запасних частин для свого підрозділу класичних автомобілів.

В обслуговуванні сімейства автомобілів Porsche Classic застосовується близько 52 000 різних деталей, які необхідно замінювати на вимогу власників авто, деталі ці настільки ж раритетні, як самі машини. Та й при роботі з тими деталями, що є в наявності, необхідно враховувати витрати на логістику і зберігання.

Впровадження компанією технологій селективного лазерного плавлення (SLM) і селективного лазерного спікання (SLS) забезпечує вирішення цих проблем.

При виробництві в невеликих кількостях, на відміну від серійного, використання класичних методів економічно не вигідно. Оцінюючи альтернативи, фахівці Porsche зупинилися на адитивному виробництві, з використанням SLM для металевих деталей і SLS для пластмасових.



Рисунок 4.18 – Приклад застосовуваних 3D-друкованих деталей сімейства автомобілів Porsche Classic

SpaceX і NASA

Лідери освоєння космосу, такі як SpaceX під управлінням Ілона Маска і NASA, застосовують металевий 3D-друк для виготовлення деталей ракетних кораблів, що значно знизило витрати і підвищило продуктивність при їх створенні. Наприклад, SpaceX в значній мірі спирався на нестандартні металеві деталі при створенні камери згоряння двигуна SpaceX SuperDraco.

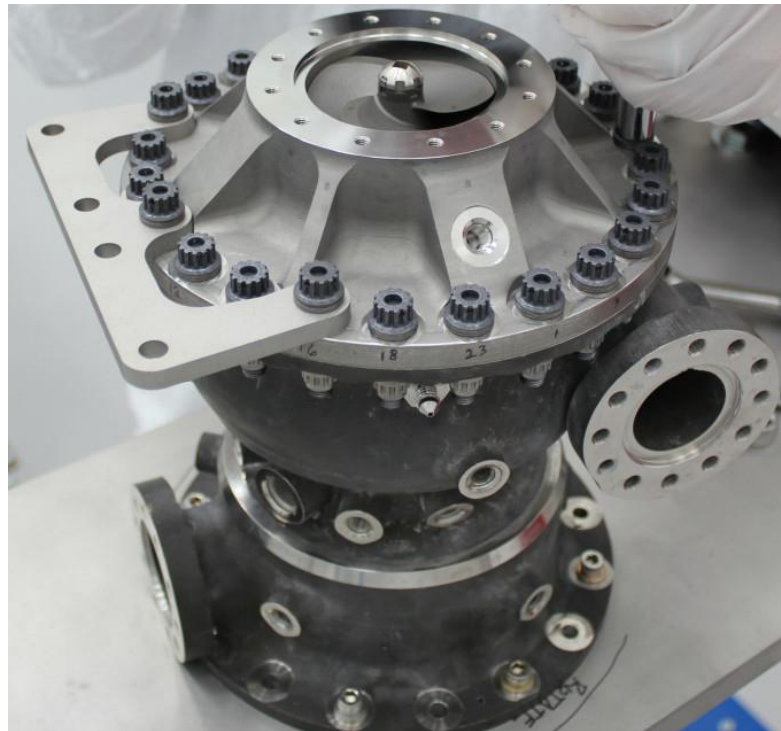


Рисунок 4.19 – Паливний насос для ракетного двигуна NASA

NASA розробило паливний насос для ракетного двигуна, що складається з на 45% меншої кількості деталей, ніж виготовлені традиційними методами аналоги.

Не тільки розробка таких деталей забирає менше часу, але і самі вони виходять значно міцніше і легше, так як багато раніше окремі деталі друкуються тепер цілком.

4.8 Переваги 3D друку в авіабудуванні

Набагато простіше. Традиційні технології, які використовуються в авіаційній промисловості, базуються на ручному зварюванні, застосуванні ЧПК, фрезерувальних верстатів, ливарних форм. Такий підхід вимагає великих витрат праці, часу і сировини. [19]

Метод селективного лазерного спікання, як і пошарове наплавлення, здійснюється в автоматичному режимі, будучи більш швидким і економним.

Обладнання може працювати цілодобово. При цьому кількість відходів на 70-95% менше. Готові деталі виходять легше, завдяки чому знижується вага машини.

У порівнянні з класичними методами, адитивний друк знімає виробничі обмеження – можна робити високоточні запчастини без попередньої підготовки виробничої лінії, спрощуючи етап прототипування.

4.8.1 Літаки, надруковані на 3D-принтері

Піонером галузі стала компанія GE Aviation. Виробник авіаційних двигунів звернув увагу на те, що використання різних сплавів в деталі істотно покращує її фізико-технічні властивості і дає можливість вивести льотні характеристики літака на принципово новий рівень. Традиційний метод лиття не дозволяє об'єднати різні матеріали в рамках одного технологічного процесу. [23]

У GE Aviation почали працювати над удосконаленням форсунок. Для виробництва однієї деталі необхідно окремо виготовити 20 елементів, після чого з'єднати їх в одній запчастині. 3D-принтер по металу дає можливість виготовити

деталь з цілісного шматка матеріалу, економлячи час і гроші. Дослідні зразки форсунок пройшли сертифікацію в 2016 році. Тепер виробник має намір випускати по 25000 деталей в рік, зроблених за допомогою принтера для тривимірної друку.

В науковій лабораторії Airbus пішли ще далі. Інженери з Гамбурга створили безпілотний літальний апарат, надрукований на 3D принтері. Примітно, що мова йде майже про всі елементи корпусу, крім модуля дистанційного керування та електронних пропелерів. Безпілотник назвали «Thor».

Чотириметровий літак успішно піднявся в повітря і подолав 40 кілометровий маршрут з Гамбурга в Штаб, де здійснив посадку на заводі компанії. Проект носить експериментальний характер. На ньому будуть тестувати різні конструкції фюзеляжу, планера, форми крила та інших елементів корпусу. На базі «Тора» зроблять літак з цілним корпусом, максимально наближений до серійних моделей.

3D друк вже використовується в серійних літаках Airbus. У широкофюзеляжних лайнерах A350 встановлюється надрукований кронштейн у складі пілона двигуна. Деталь виготовляється з титанового порошку. В експериментальних моделях A350 і вузькофюзеляжних A320neo тестуються більше 1000 деталей, зроблених методом лазерного спікання. Серед них переважно елементи інтер'єру.

Виробник авіадвигунів Safran Helicopter Engines в 2017 році представила лінійку газотурбінних двигунів Aneto. Компактний силовий агрегат на 30% потужніший, ніж установки аналогічних розмірів. При цьому пристрій залишається надійним і економічним. В процесі складання використовуються компоненти, зроблені методом тривимірного друку – впускні напрямні лопатки і обертаюча камера згоряння. Компанія налітала 25 годин, 35 раз піднявши машини в повітря, – проблем не виявлено!

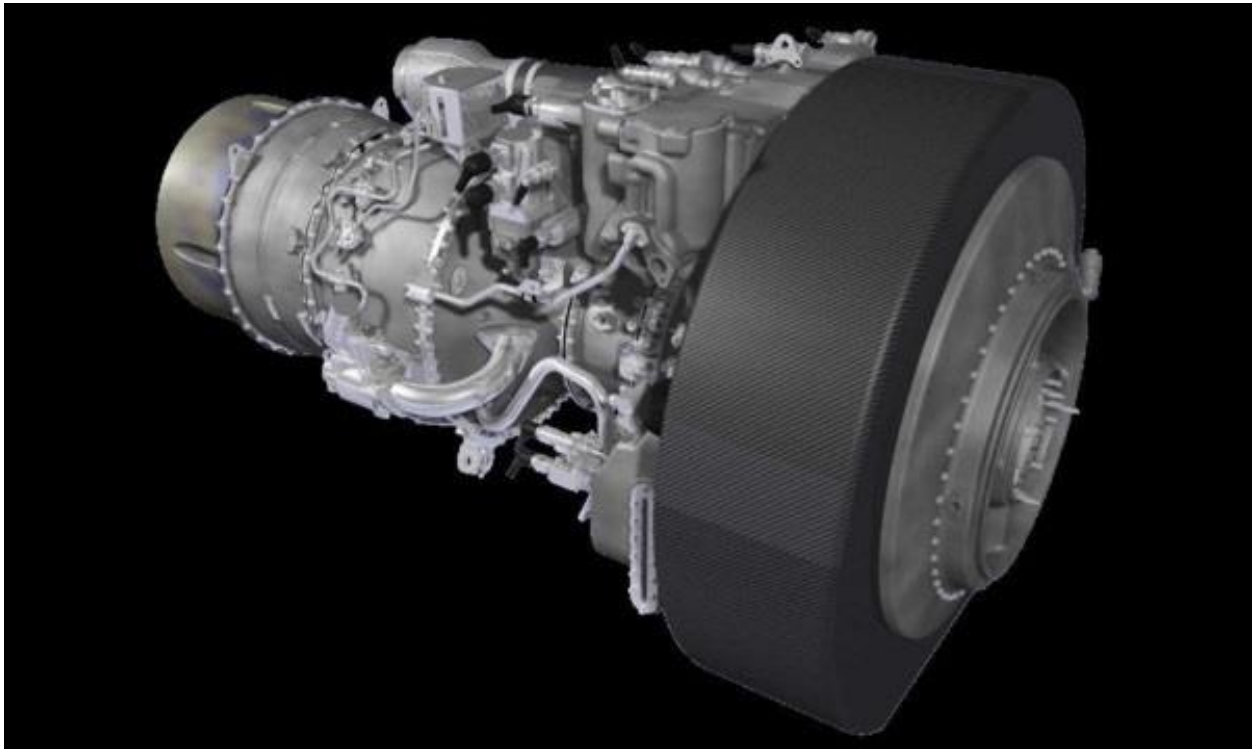


Рисунок 4.20 – Газотурбінний двигун Aneto

В американському «Боїнг» не відстають від європейських колег. Першою серійною моделлю, в якій будуть використовуватися надруковані металеві елементи, стане лайнер 787. Виробник уклав контракт з норвезькою Norsk Titanium на друк титанових запчастин в промислових масштабах. Собівартість титанових комплектуючих досягає 17 мільйонів доларів – вартість літака \$265 млн. Boeing заявляє, що у разі успіху, зможуть знизити вартість моделі на 2-3 мільйони доларів.

4.9 Український виробник адитивних технологій

Заснована влітку 2018-го, дніпровська компанія Additive Laser Technology розробила високоточний 3D-принтер, який дозволяє знизити вартість друку деталей для багатьох промислових галузей. [18]

Особливістю принтера є те, що принтери ALT можуть працювати з будь-якими видами металів і їх сплавами. Повідомляється, що аналогічна модель в Європі коштує близько півмільйона доларів, в той час як вартість української розробки становить \$100 тис, споживає менше електроенергії і займає менше місця.

Компанія з Дніпра продає три види принтера з різними габаритами друку і кількістю лазерів.



Рисунок 4.21 – 3D-принтер ALT

Алфа 150 друкує деталі розміром 150х150х180мм з допомогою одного лазера на 500 Вт; два лазера з такою ж потужністю в моделі Алфа 280 можуть створювати вироби розміром 280х280х300мм; і самий потужний варіант - Алфа 500 – має чотири 500-ватних лазера, які друкують металеві деталі не більше 400х800х600мм. [18]

«У світі існує всього кілька компаній-гігантів-General Electric, EOS, DMG, що володіють даною технологією друку з металів. Вартість їх 3D-принтерів обчислюється мільйонами євро, використання сторонньої сировини (металевого порошку) обмежене виробником, а передача технології заборонена. Все це обмежує

масове використання 3D-друку металами», - розповів засновник ALT Сергій Аджамський. [18]



Рисунок 4.22 – Процес друку деталі

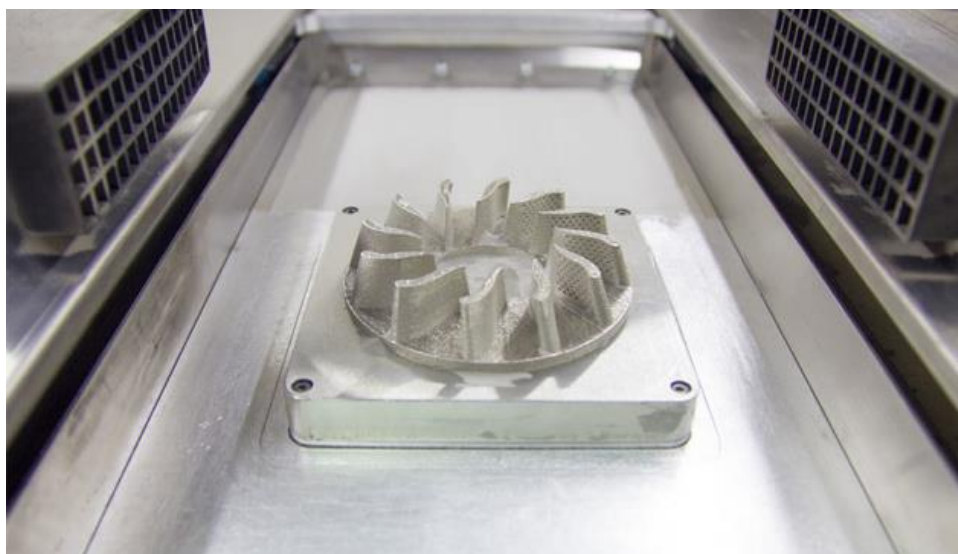


Рисунок 4.23 – Готова деталь

На принтерах Алфа можна друкувати лопатки турбін для літаків Airbus A320neo, Boeing 737 MAX і COMAC C919 і двигунів ракет-носіїв. У компанії говорять, що в першу чергу орієнтуються на виробництво запчастин для авіаційної галузі, машинобудування, ядерної енергетики, але також планують друкувати тазостегнові суглоби.

Висновок

Металеві адитивні технології виробництва, такі як SLM і DMLS, особливо корисні для створення унікальних металевих деталей які не виробляються серійно, які повністю функціональні та отримані в найкоротші терміни. Деякі з них не можуть бути виготовлені традиційними методами, в силу їх технологічних обмежень.

Сплави, використовувані в SLM, витримують високий тиск газу і високу температуру, що також дозволяє використовувати деталі, виготовлені за допомогою даної технології у різних галузях машинобудування і хімічної промисловості.

Середня вартість 3D-принтера по металу і самого технологічного процесу на одиницю деталі поки вище, ніж у більшості традиційних обробних верстатів деталі порівнянних розмірів.

Скрізь, де потрібна виготовлення унікальних або малосерійних деталей, 3D-друк металами і сплавами вже на голову обійшла традиційних суперників у швидкості і собівартості виробництва, а в деяких випадках і в якості.

ВИСНОВКИ

Випускна робота магістра включає в себе наступні частини: конструкторську, технологічну, економічну та спеціальну.

У конструкторській частині було спроектоване крило пасажирського літака типу Ан-74. Був проведений проектувальний розрахунок, а також проведена модифікація верхньої та нижньої панелей крила, доцільним стало використання тришарової панелі. Наведено технічний опис крила і конструктивно-технологічний аналіз агрегату.

У технологічній частині розроблений технологічний процес на складання спроектованого крила, а також технологічний процес на складання нервюри, проведена оцінка технологічності, аналіз існуючого виробництва та конструктивно-технологічне членування крила. Данна частина також включає аналіз можливих варіантів методів складання і схем ув'язування оснащення, розрахунок точності складання вузла в пристрої, також обрана оптимальна схема складання і ув'язування заготівельного і складального оснащення, розроблена схема базування при складанні спроектованого крила, а також технічні умови на проектування і конструкцію стапеля загального складання крила. Складений директивний технологічний процес монтажу стапеля, порядок монтажу балок і вузлів стапеля складання, спроектовано конструкцію засобів механізації складальних робіт, розроблені технічні умови на поставку підбірок в стапель загального складання. Розроблена організація та автоматизація виробництва, складений цикловий графік на складання крила, організовано робочі місця в цеху, схематично показано обслуговування робочих місць, також умови забезпечення якості виробу, що складається, спроектовано агрегатно-складальний цех і визначено управління виробництвом.

У економічній частині був проведений розрахунок собівартості виробу. Повна собівартість одного виробу (без ПДВ), виходячи з розрахунків, склала 527574,5 грн. Розрахована величина критичної програми випуску продукції на рік

і знайдена точка беззбитковості, яка свідчить, що при випуску дев'яти виробів на рік, виробництво матиме нульовий прибуток.

У спеціальній частині були представлені металеві адитивні технології виробництва, такі як SLM і DMLS, особливо корисні для створення унікальних металевих деталей, які неможливо виготовити традиційними методами виробництва.

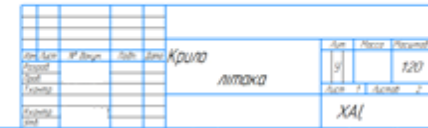
БІБЛІОГРАФІЧНИЙ СПИСОК

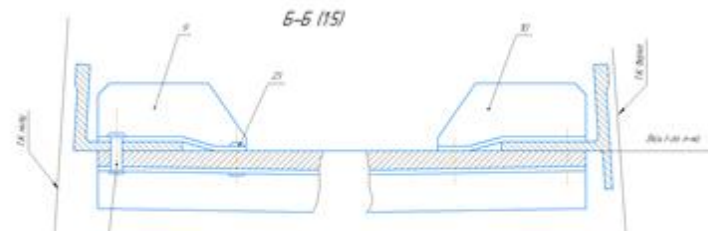
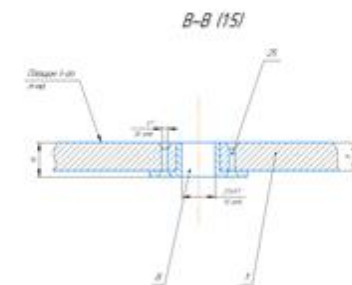
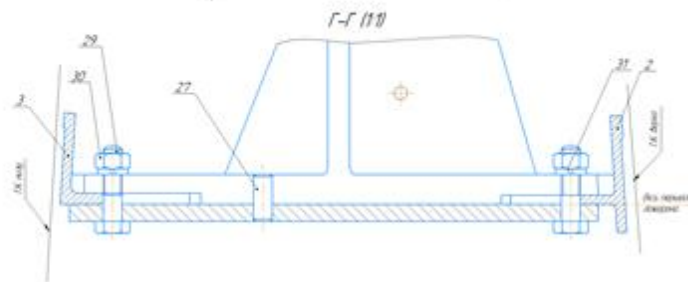
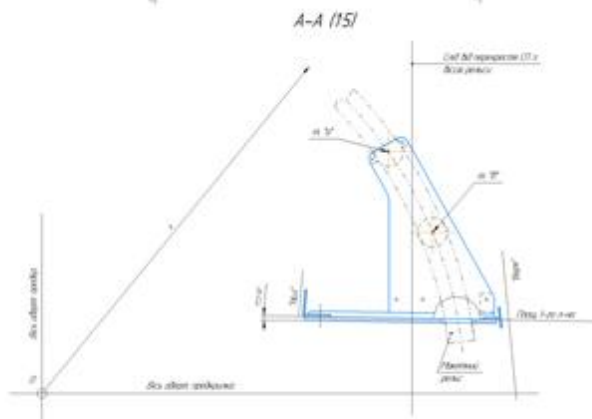
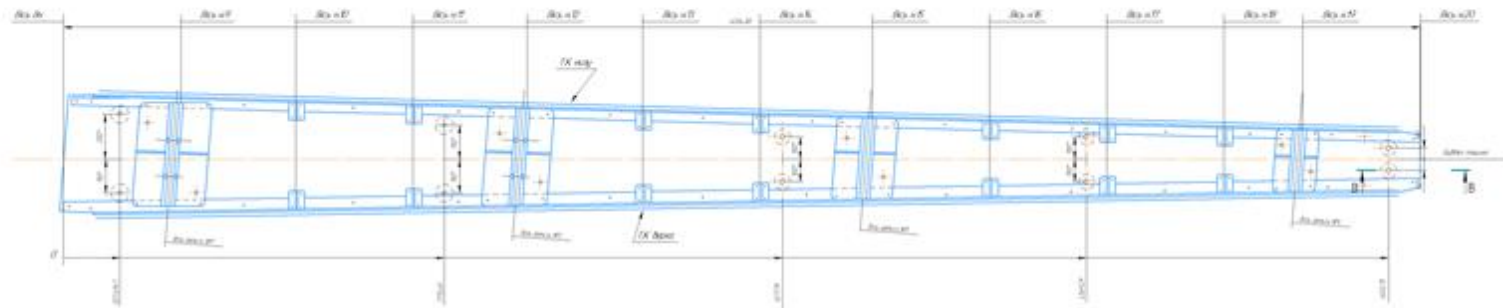
1. Богуслаєв, В. О. Основи технології машинобудування : навч. посіб. Для студ. вищ. навч. закладів / В. О. Богуслаєв, В. І. Ципак, В. К. Яценко. – Запоріжжя : Мотор Січ, 2014. – 336 с.
2. Арсон А. Д., Клименко В. Н. Пехтерев В.Д. Проектирование сжатых панелей. Учебн. пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Харьков: ХАИ, 1980. – 56 с.
3. Житомирский Г.И. Конструкция самолетов: Учебник для студентов авиац. спец-й вузов. – Машиностроение, 1991. – 400 с.
4. В.Д. Евсеев. Расчет крыла большого удлинения: Метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Харьк. авиац. ин-т, 1984. – 32 с.
5. ДСТУ ISO 9001:2009. Системи управління якістю. Вимоги (ISO 9001:2008, IDT). Чинний від 22.06.2009 р. – К.: Держспоживстандарт України, 2009. – VII, 26 с.
6. Кириченко Л.С. Сертифікація та якість продукції в сучасних умовах господарювання / Л.С. Кириченко, Н.М. Чернухіна. – Львів, 2015. – 215 с.
7. Кравчук І. С., Архипов М. І., Туренко С. М., Штарнов В. І. Захист повітряних об'єктів від ракет з інфрачервоним самонаведенням. - К.: Видавничий дім «Інтернаука», 2020. - 296 с.
8. Проектування деталей, вузлів і агрегатів літака: навч. посіб. / Л.А. Малащенко, В.І. Рябков, А.А. Кобилянський, О. Г. Лебединський. Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 1996. - 86 с.
9. Спеціальні технології і оснащення авіаційного виробництва : навч. посіб. / В. В. Коллеров, Ю. В. Д'яченко, В. Т. Сікульський та ін. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2017. – 72 с.
10. Технологія виробництва деталей авіаційно-космічної техніки / В.Г. Данченко, Ю.В. Д'яченко, В.В. Воронько. – Навч. посібник. – Харків: Нац. аерокосм. ун-т «Харк. авіац. ін-т», 2005. – 100 с.

11. Технологія виготовлення деталей літальних апаратів з видаленням припуску : підручник. Ч. 1 / Ю. В. Д'яченко, В. Т. Сікульський, І. О. Воронько та ін. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2023. – 232 с.
12. Чумак, М. Г. Матеріали та технологія машинобудування : підручник / М. Г. Чумак. – Київ : Либідь, 2018. – 368 с.
13. Маркетингові дослідження: навчальний посібник / Н.О. Мартинович, В.Г. Горник, Е.Б. Бойченко. Київ: «Видавництво Людмила», 2021. - 323 с.
14. Арсон А. Д., Клименко В. Н. Пехтерев В.Д. Проектирование сжатых панелей. Учебн. пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Харьков: ХАИ, 1980. – 56 с.
15. Житомирский Г.И. Конструкция самолетов: Учебник для студентов авиац. спец-й вузов. – Машиностроение, 1991. – 400 с.
16. В.Д. Евсеев. Расчет крыла большого удлинения: Метод. пособие по курсовому и дипломному проектированию. – Харьк. авиац. ин-т, 1984. – 32 с.
17. Малащенко Л. А. Проектирование подвижных частей крыла и оперения. Учебное пособие для курсового и дипломного проектирования по курсу «Конструкция самолетов и вертолетов». – Харьков: ХАИ, 2004. – 54 с.
18. Технология производства летательных аппаратов (курсовое проектирование. Учеб. пособие по курсовому и дипломному проектированию / Под общ. ред. В. Г. Кононенко, – Киев: Вища школа, 1974. – 224 с.
19. Григорьев В. П. Приспособления для сборки узлов и агрегатов самолетов и вертолетов. – Машиностроение, 1989. – 87с.
20. Митрофанов А.А. Контроль сборки летательных аппаратов. Машиностроение, 1989.–135 с.
21. Набатов А. С. Проектирования технологических процессов в производстве летательных аппаратов и двигателей. – Харьков: ХАИ, 1987. – 96 с.
22. Бабушкин А.И. Методы сборки самолетных конструкций. – Машиностроение, 1985. – 248 с.

23. Глебов Т. Н., Щербина В. А., Шестаков Г. А. Технологическое проектирование цехов. Учебное пособие. – Харьков: ХАИ, 1985. – 93 с.
24. Константинов Ю. С. Техничко-экономическое проектирование цехов. Учебное пособие. – Харьков: ХАИ, 1988. – 67 с.
25. Гавва В. Н., Голованова М. А. Экономическая оценка инженерных решений: Учеб. пособие. – Харьков: Гос. аэрокосм. ун-т «ХАИ», 1999. – 135 с.
26. Бабушкин, А. И. Экономика предприятия: учеб. пособие / А. И. Бабушкин. – Х.: Нац. аэрокосм. ун-т «Харь. авиац. ин-т», 2003. – 449 с.

ДОДАТКИ

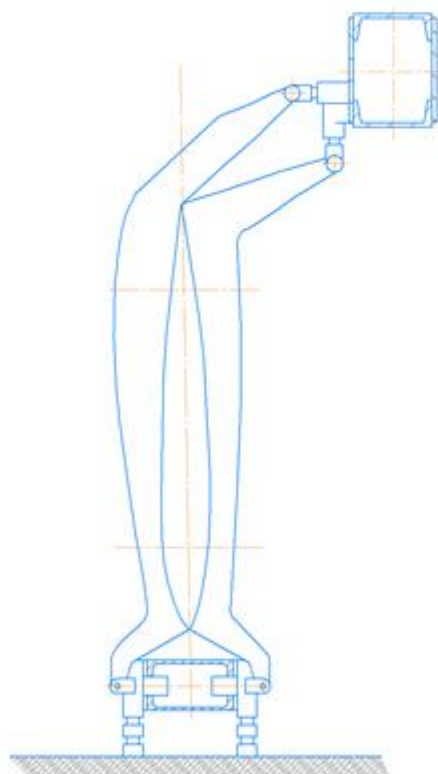




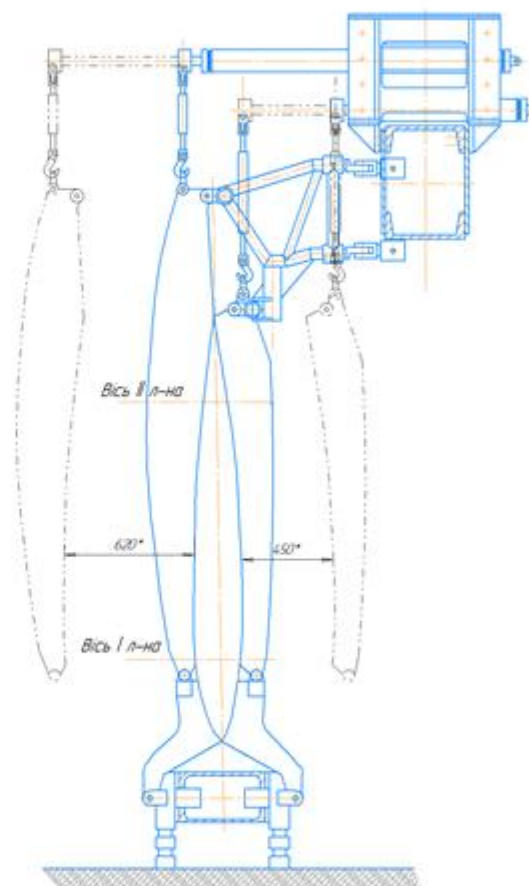
1. *Сколько делится на 3 и на 5 число 6123456789? Выпишите все возможные делители числа 6123456789, кратные 3 и 5.*
2. *Найдите наименьшее натуральное число, которое делится на 3 и 5.*
3. *Найдите наименьшее натуральное число, которое делится на 3 и 5.*
4. *Найдите наименьшее натуральное число, которое делится на 3 и 5.*
5. *Найдите наименьшее натуральное число, которое делится на 3 и 5.*
6. *Найдите наименьшее натуральное число, которое делится на 3 и 5.*
7. *Найдите наименьшее натуральное число, которое делится на 3 и 5.*
8. *Найдите наименьшее натуральное число, которое делится на 3 и 5.*
9. *Найдите наименьшее натуральное число, которое делится на 3 и 5.*
10. *Найдите наименьшее натуральное число, которое делится на 3 и 5.*

[illegible]

Початковий варіант конструкції стапеля
(без використання механізації)



Модифікований варіант конструкції стапеля
(з використанням механізації)



Лист	№	Всього	Листів	Листів
1	1	1	1	1
Механізація				
стапеля складання				
ХАІ				

