

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 рівень)

на тему «Удосконалення технічної підготовки виробництва легких літаків»  
ХАІ.104.163н.24В.134.1801048 ПЗ

Виконав: здобувач 2 курсу, групи № 163н,  
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)

Кошеленко К. Р.  
(прізвище та ініціали здобувача)

Керівник Юрій ВОРОБІЙОВ  
(ім'я та прізвище)

Рецензент \_\_\_\_\_  
(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 № 104**

\_\_\_\_\_ Катерина МАЙОРОВА \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я та прізвище)

«\_\_\_» \_\_\_\_\_ 2024 р.

**ЗАВДАННЯ**  
**НА КВАЛІФІКАЦІЙНУ РОБОТУ**

\_\_\_\_\_ Кошеленко Кирило Романовичу \_\_\_\_\_

(прізвище, ім'я, по батькові)

1. Тема кваліфікаційної роботи «Удосконалення технічної підготовки виробництва легких літаків»,

керівник проєкту (роботи) Воробйов Юрій Анатолійович, д.т.н., професор

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

затверджені наказом Університету № \_\_\_\_\_ від «23» листопада 2024 року.

2. Термін подання здобувачем кваліфікаційної роботи 21 червня 2024 р.

3. Вихідні дані до роботи матеріали переддипломної практики, науково-технічної літератури, ресурсів Інтернету.

4. Зміст пояснювальної записки (перелік завдань, які потрібно розв'язати)  
Розділ 1. Аналіз стану питання і постановка задач дослідження: загальна характеристика технічної підготовки виробництва літаків; ступінь вивченості проблеми; об'єкт, предмет, мета та задачі дослідження. Розділ 2 Удосконалення конструкторської підготовки виробництва: процес проектування легких літаків; застосування методів оптимального проектування; застосування технології низхідного проектування. Розділ 3 Удосконалення технологічної підготовки

виробництва: напрямки удосконалення виробництва легких літаків; моделі і методи розрахунку термінів виробництва легких літаків; застосування систем чисельного моделювання для вирішення завдань проектування та технологічної підготовки виробництва легких літаків. Розділ 4 Моделювання ринкових показників легких літаків: оцінки рівня конкурентоспроможності легких літаків.

5. Перелік графічного матеріалу презентація кваліфікаційної роботи.

6. Консультанти розділів кваліфікаційної роботи

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		Завдання видав	Завдання прийняв
Розділ 1. Аналіз стану питання і постановка задач дослідження	Воробйов Ю. А., професор	26.04.2024	21.06.2024
Розділ 2. Удосконалення конструкторської підготовки виробництва	Воробйов Ю. А., професор	26.04.2024	21.06.2024
Розділ 3. Удосконалення технологічної підготовки виробництва	Воробйов Ю. А., професор	26.04.2024	21.06.2024
Розділ 4. Моделювання ринкових показників легких літаків	Воробйов Ю. А., професор	26.04.2024	21.06.2024

Нормоконтроль \_\_\_\_\_ « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.  
(підпис) (ім'я та прізвище)

7. Дата видачі завдання « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 20\_\_ р.

#### КАЛЕНДАРНИЙ ПЛАН

№ п/п	Назва етапів кваліфікаційної роботи	Строк виконання етапів кваліфікаційної роботи	Примітка
1	Розділ 1. Аналіз стану питання і постановка задач дослідження	21.06.2024	
2	Розділ 2. Удосконалення конструкторської підготовки виробництва	21.06.2024	
3	Розділ 3. Удосконалення технологічної підготовки виробництва	21.06.2024	
4	Розділ 4. Моделювання ринкових показників легких літаків	21.06.2024	

**Здобувач** \_\_\_\_\_  
(підпис)

**Кошеленко К. Р.** \_\_\_\_\_  
(прізвище та ініціали)

**Керівник кваліфікаційної роботи** \_\_\_\_\_ **Юрій ВОРОБІЙОВ** \_\_\_\_\_  
(підпис) (ім'я та прізвище)

## ЗМІСТ

Реферат .....	6
Вступ.....	7
Розділ 1 Аналіз стану питання і постановка задач дослідження.....	8
1.1 Вступ .....	9
1.2 Загальна характеристика технічної підготовки виробництва літаків .....	10
Висновки по розділу 1 .....	13
Розділ 2 Удосконалення конструкторської підготовки виробництва.....	14
2.1 Процес проєктування легких літаків .....	15
Концепції легких літаків .....	16
2.2 Застосування методів оптимального проєктування і міждисциплінарної оптимізації легких літаків .....	20
2.2 Застосування технології низхідного проєктування.....	25
Висновки по розділу 2.....	30
Розділ 3 Удосконалення технологічної підготовки виробництва .....	32
3.1 Напрямки вдосконалення виробництва легких літаків .....	33
3.2 Моделі і методи розрахунку термінів виробництва легких літаків .....	40
3.2.1 Моделі розрахунку параметрів і аналізу чутливості орієнтованого графу.....	40
3.2.2 Приклад розрахунку параметрів орієнтованого графу складання нервюри крила літака .....	43
3.3 Розроблення нових технологій виробництва легких літаків.....	46
Лиття під тиском термопластичних композиційних матеріалів.....	48
Автоматизоване вкладання стрічок (ATL) з використанням роботизованих комплексів .....	50
Адитивні технології.....	51
Висновки по розділу 3 .....	52
Розділ 4 Моделювання ринкових показників легких літаків.....	54
4.1 Вступ .....	55

4.2 Оцінки рівня конкурентоспроможності легких літаків .....	56
Висновки по розділу 4.....	60
СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	61

## РЕФЕРАТ

Кваліфікаційна робота магістра: 63 с., 6 табл., 12 рис., 32 джерела.

ЛЕГКИЙ ЛІТАК, ТЕХНІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА, КОНСТРУКТОРСЬКА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА, ТЕХНОЛОГІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА; ОПТИМАЛЬНЕ ПРОЄКТУВАННЯ, ТЕХНОЛОГІЯ НИЗХІДНОГО ПРОЄКТУВАННЯ, ТЕРМІН ВИРОБНИЦТВА, ОРІЄНТОВАНИЙ ГРАФ, ЧИСЕЛЬНЕ МОДЕЛЮВАННЯ, РИНКОВІ ПОКАЗНИКИ, КОНКУРЕНТОСПРОМОЖНІСТЬ

Об'єкт дослідження – легкий літак.

Предмет дослідження – технічна підготовка виробництва.

Мета роботи – зменшення собівартості, часу виробництва за рахунок удосконалення технічної підготовки виробництва легких літаків.

Методи дослідження – системний та порівняльний аналіз науково-технічної літератури з проблеми технічної підготовки виробництва легких літаків; причинно-наслідкові зв'язки собівартості, часу виробництва, якості легких літаків від стану удосконалення технічної підготовки виробництва.

Проведено аналіз сучасного стану технічної підготовки виробництва легких літаків на провідних світових підприємствах.

Розглянуто процес проектування легких літаків, запропоновано використовувати методи оптимального проектування і міждисциплінарної оптимізації легких літаків, технології низхідного проектування.

Надано напрямки удосконалення технологічної підготовки виробництва; запропоновані моделі і методи розрахунку термінів виробництва легких літаків; проведено аналіз стану застосування систем чисельного моделювання для вирішення завдань проектування та технологічної підготовки виробництва легких літаків.

Виконано моделювання ринкових показників легких літаків; розроблено модель оцінки рівня конкурентоспроможності легких літаків.

## ВСТУП

Авіаційна техніка (далі – АТ) є однією з передової галуззю промислового виробництва, що споживає і дає імпульс самим прогресивним методам отримання деталей і виробів.

На даний момент на ринку зростає попит на легкі літаки, які повинні відповідати наступним вимогам: надійності, технологічності, економічності, безпеки та ін.

Літальні апарати авіації загального призначення (далі – АЗП) є зручним та популярним транспортним засобом. Споживачами продукції міжнародного ринку АЗП є приватні особи, організації, сільськогосподарські об'єднання, аероклуби, і навіть державні органи у світі.

На шляху свого розвитку міжнародний ринок малої авіації стикається з безліччю проблем, включаючи навіть складнощі з ідентифікацією продукту, що реалізується на ньому.

Створення нових видів продукції здійснюється в процесі технічної підготовки виробництва, що відбувається поза рамками виробничого процесу та складається з конструкторської, технологічної та організаційної підготовки виробництва. Завдання технічної підготовки виробництва полягає у тому, щоб забезпечити необхідні умови для функціонування виробничого процесу.

Від рівня вдосконалення технічної підготовки виробництва залежать собівартість і якість літаків, час їх постачання замовникам, витрати на технічне обслуговування та ремонт.

**РОЗДІЛ 1 АНАЛІЗ СТАНУ ПИТАННЯ І ПОСТАНОВКА ЗАДАЧ  
ДОСЛІДЖЕННЯ**



## 1.1 Вступ

АЗП – вертольоти та гвинтові літаки з кількістю місць (за винятком місць пілотів) не більше 19 і максимальною сертифікованою злітною вагою не більше 8,6 т. Під малою авіацією або авіацією загального призначення в усьому світі прийнято розуміти всю решту авіації, що виходить за рамки військової та комерційної. Насправді для одних вона – зручний засіб пересування, для других – вигідний транспорт для перевезення вантажів, для третіх – задоволення. У всьому світі 89 % усіх цивільних повітряних суден (далі – ПС) належать до малої авіації, в Україні – не більше 12 %, у Росії – менше 10 %. Так було в США близько 200 тис. літаків малої авіації загального призначення; в Україні близько 4500, у Росії не більше 10 тисяч.

АЗП використовується фізичними чи юридичними особами (суб'єкти малої авіації) для задоволення власних потреб відповідно до встановленими нею правилами і нормами. ПС АЗП – літальні апарати (далі – ЛА), призначені для виконання спортивних польотів, навчання пілотів-спортсменів, пілотів-аматорів, надлегкі ЛА, повітряні кулі, відновлені ПС старого зразка (історичні), ЛА, побудовані в одиничному примірнику за самостійним проектом, а також будь-які інші ЛА, які перебувають у володінні, користуванні або розпорядженні суб'єкта малої авіації, що використовуються ним у некомерційних цілях. Мала авіація є складовою частиною глобальної транспортної системи багатьох розвинених країн світу, служить гнучким, швидким та ефективним засобом зв'язку віддалених районів з діловими центрами, утворює транспортну мережу, яка доповнює, а за багатьма параметрами і перевершує такі транспортні системи, як повітряний, залізничний, річковий або автомобільний транспорт, що зумовлює активне зростання її популярності останніми роками.

Вираз «ці маленькі літаки» дає неправильне уявлення про галузь, прибуток від якої становить цифру з багатьма нулями і яка грає найважливішу роль економіці багатьох країн. Тільки в США ПС, які стосуються авіації загального призначення, щорічно перевозить близько 145 мільйонів пасажирів. Близько 89 % всіх цивільних ПС світу працюють у рамках авіації загального призначення (далі – АЗП). Вона є складовою глобальної системи, доповнює комерційну авіацію та інші види транспорту і є гнучким, швидким і ефективним засобом пересування, забезпечуючи ділову мобільність. Мала авіація міцно зайняла свою нішу у всьому світі завдяки своїй універсальності. Сфера її можливого застосування включає такі досить важливі сегменти ринку АЗП:

1. ділова авіація – адміністративні перевезення;
2. сільське господарство – агрохімічний захист рослин від бур'янів та

шкідників сільгоспкультур, підживлення добривами;

3. геологія – перевезення вантажів, устаткування, геологів, зйомка території;

4. охорона навколишнього середовища – підрахунок тварин, птахів, патрулювання;

5. картографія – аерофотозйомка, дешифрування;

6. зв'язок – доставка пошти, перевірка ліній зв'язку;

7. транспорт – перевезення вантажів та людей, оперативна доставка обладнання;

8. лісове господарство – патрулювання, захист лісу, аеросів;

9. рибне господарство – риборозвідка, рибоохорона;

10. патрулювання газонафтопроводів та ліній електропередач;

11. демонстраційні та прогулянкові польоти;

12. прикордонна служба патрулювання Державного кордону;

13. МНС – термінова доставка медикаментів та вантажів до районів лих.

З появою позитивних тенденцій у розвитку низки галузей економіки країни виникає нагальна потреба у розробленні нового покоління малої авіації України. Наразі порівняно численний парк легких цивільних літаків малої авіації, який постачають виробники українських фірм «Лілієнталь» (м. Харків), дослідно-конструкторське бюро авіації загального призначення (ОКБ АОН) (м. Київ), «Аеропракт» (КМУГА, м. Київ), «Аеропродіт» (м. Київ), ТОВ «АЕРОС», українсько-німецька фірма «Ост-Вест Консалтинг» (OWC) (м. Херсон), Конструкторське бюро експериментального літакобудування «Сталкер» (КБЕС) (м. Краматорськ) тощо вже не повною мірою відповідає потребам українського ринку в авіаперевезеннях та інших авіапослугах. Тільки мотодельтаплани сертифіковано для комерційних робіт. Літаки Х-32 СГ «Бекас», А-20СХ проходять підконтрольну експлуатацію з метою надалі отримати сертифікат.

Літаки СТ виробництва фірми «Ост-Вест Консалтинг» мають німецький сертифікат та продаються на західному ринку. Такий літак на західному ринку коштує близько 50 тисяч Євро. Керівники виробництва літака вважають, що це ціна гідна для відпрацьованої моделі навіть для України, враховуючи, що сьогодні країною багато бізнесменів роз'їжджають на «Мерседесах» не меншу вартість.

## **1.2 Загальна характеристика технічної підготовки виробництва літаків**

Технічна підготовка виробництва літаків – процес безпосереднього застосування праці колективу працівників з метою розробки і організації

випуску нових видів продукції або модернізації виготовлених виробів [1]. Це особливий вид діяльності, що поєднує вироблення науково-технічної інформації з її перетворенням на матеріальний об'єкт – нову або модернізовану техніку.

Однією з особливостей авіаційного виробництва є часта зміна його об'єктів. Це тягне за собою часту повторюваність робіт з технічної підготовки виробництва, частка яких у повному циклі створення, освоєння та серійного виробництва літаків безперервно збільшується.

Основними задачами технічної підготовки виробництва є:

- забезпечення конструкторської і технологічної підготовки нових конкурентоспроможних виробів і вдосконалення існуючих видів виробів, а також вдосконалення і проектування нових технологічних процесів (далі – ТП);
- своєчасне забезпечення окремих підрозділів відповідними кресленнями (електронними моделями (далі – ЕМ)) та технічною документацією.

Особливо трудомістка технічна підготовка виробництва для складально-монтажних та випробувальних робіт (далі – ТПВСП).

ТПВСП повинна забезпечити повну технологічну готовність складального виробництва до випуску виробів вищої якості відповідно до заданих техніко-економічних показників, що визначають технічний рівень та мінімальні трудові та матеріальні витрати. Модель ТПВСП має бути орієнтована на оптимальний для даних умов рівень механізації та автоматизації виробництва.

Практика світового авіабудування показує, що успішна робота виробника АТ на ринку вимагає постійного вдосконалення діяльності, пов'язаної з безперервним поліпшенням якості продукції, що випускається. Рішення даної проблеми в першу чергу пов'язано з ефективністю прийнятих конструкторських і технологічних рішень, вдосконаленням виробничих процесів і технології виготовлення. Здійснення перерахованих заходів вимагає великих капіталовкладень і часових ресурсів. Це збільшує економічний ризик виробника АТ, пов'язаний з небезпекою понести великі збитки, якщо продукція не матиме достатнього попиту.

Найбільш перспективним рішенням для зниження зазначеного ризику є забезпечення якості продукції на початкових етапах конструкторсько-технологічного проектування. Створення складних технічних продуктів для машинобудування, таких як сучасні літаки, являє собою поєднання процесів, кожен з яких несе відповідальність за надання певних експлуатаційних показників продукту. Ці процеси взаємопов'язані. Вони можуть починатися і закінчуватися на різних етапах життєвого циклу виробу (далі – ЖЦВ) та мати різну довжину в часі.

Технічна підготовка виробництва на авіаційному підприємстві включає комплекс послідовно пов'язаних наукових, проектно-конструкторських, технологічних, організаційно-економічних та інших заходів, направлених на створення і впровадження у виробництво нових видів виробів, ТП і вдосконалення раніше освоєних конструкцій та технологій.

Метою підготовки виробництва є його приведення до стану, при якому можна забезпечити потребу в продукції, що пропонується.

Технічна підготовка виробництва літака, як і будь-якої товарної продукції, складається з таких, пов'язаних між собою, етапів:

- вивчення попиту й формування концепції створення літака як об'єкта виробництва і як товару;
- виконання передпроектних робіт і встановлення джерел фінансування (оптовий покупець і кредитування);
- проведення науково-дослідних, проектних і дослідно-конструкторських робіт, на основі результатів яких буде розроблено конструкторську документацію й досвідний зразок;
- виготовлення, перевірка й дороблення експлуатаційних якостей літака разом із замовником;
- підготовка виробництва дослідного й першого, призначеного до серійного випуску, літака;
- організація збуту, обслуговування і експлуатації виробу, ремонту і утилізації;
- організація й забезпечення роботи супровідних виробництв.

У підсумку слід забезпечити технічну готовність виробництва (підприємства) до випуску й збуту виробів належної якості або їхнього удосконалювання у визначених обсягах, термінах випуску й ресурсах.

Наведений зміст робіт обумовлює види технічної підготовки виробництва – конструкторську, технологічну, організаційно-економічну, що доповнюють одна одну.

Конструкторська підготовка виробництва охоплює розроблення конструкторської документації, креслень загальних видів агрегатів, складових одиниць (далі – Скл.Од.) різного рівня, креслень деталей, а також специфікацій, технічних вимог та інших документів.

Для конкретного виробництва (завод, цех) конструкторську документацію відпрацьовують з урахуванням специфіки й можливих змінювань у постачанні й модифікаціях. Для цього до спільної технологічної бригади запрошують робітників технологічних служб підприємства-виробника.

Технологічна підготовка виробництва (далі – ТПВ) – це комплекс робіт щодо приведення підприємства до технологічної готовності для випуску виробів встановленого рівня якості й техніко-економічних показників у визначених обсягах і термінах постачання в межах наявних ресурсів.

Завданням організаційної підготовки виробництва (далі – ОПВ) є розробка розрахункових та графічних документів для організації економічно та технічно рентабельного серійного виробництва заданих виробів. Цілі ОПВ: обґрунтований вибір форми організації праці цеху, виробничої ділянки; складання раціональних схем вантажопотоків у цеху та вибір засобів транспортування предметів праці; розробка планування цеху та графіків постачання виробництва усіма необхідними видами ресурсів. Структура робіт при ОПВ передбачає необхідність вибору форми організації праці в цеху та на підприємстві в цілому, яка може формуватися за предметним чи функціональним принципом і залежить від обсягу виробництва та типу ЛА. За встановленим типом виробництва (з урахуванням коефіцієнта закріплення операцій) вибирається потокова або поопераційна форма організації праці з розрахунком її параметрів. Проектується планування цеху з нанесенням виробничих площ основних та допоміжних ділянок штатних служб цеху, складів та намічаються смуги проїздів та проходів у цеху з урахуванням можливості використання наземного та верхнього транспорту. Розробляється схема управління та постачання в цеху, намічаються заходи щодо забезпечення режиму роботи та виконання вимог охорони праці та загальної екології виробничої зони.

### **Висновки по розділу 1**

1. Надано класифікація літальних апаратів авіації загального призначення з аналізом сфери їх використання.
2. Наведено загальна характеристика технічної підготовки виробництва літаків, сформульовані її основні задачі.
3. Описано склад й етапи технічної підготовки виробництва.

**РОЗДІЛ 2 УДОСКОНАЛЕННЯ КОНСТРУКТОРСЬКОЇ  
ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА**

## 2.1 Процес проєктування легких літаків

Проєктування легких літаків підпорядковується певним закономірностям. Схематично процес проєктування легкого літака зображено на рисунку 2.1.

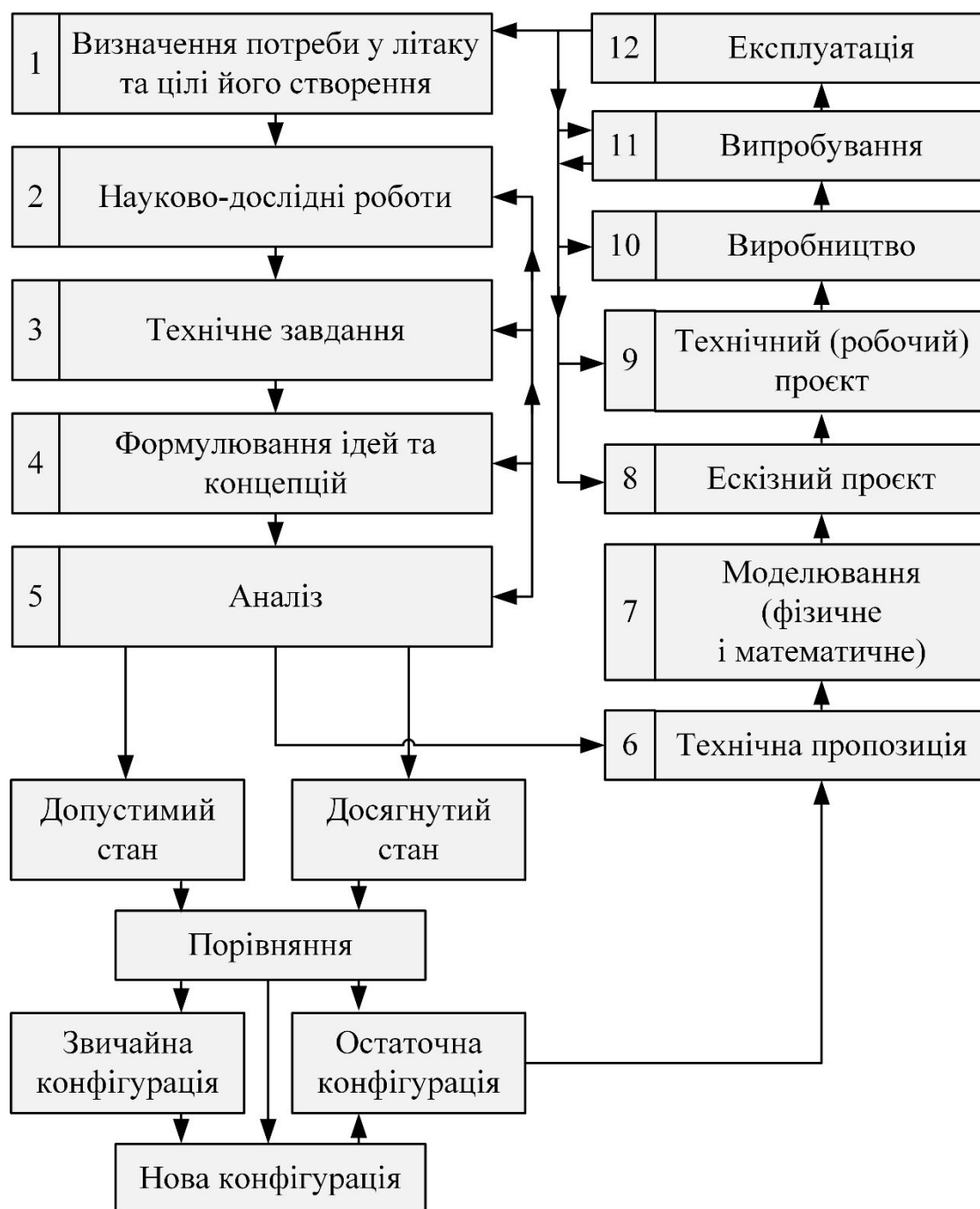


Рисунок 2.1 – Процес проєктування легкого літака

Послідовність етапів (від 1 до 12) та їх кількість є певною мірою умовністю, оскільки деякі з етапів часто виконуються паралельно заради економії часу та коштів, наприклад етапи 1–3, етапи 6–8, 8–10.

Між різними етапами створення літака існують зворотні зв'язки, що допомагають оперативному коригувати проєкт, покращувати його якість,

отримувати нову інформацію для подальшого використання. Наприклад, зворотний зв'язок етапів 12 та 1 допомагає вивчити умови експлуатації та уточнити потребу у модифікації літака або потребу у створенні нового літака.

Розробленню ТЗ (етап 3) передуює НДР (етап 2), що проводиться для обґрунтування вимог до літака та обмежень його льотно-технічних та інших показників (безпека експлуатації, ресурс конструкції, вартість, комфорт, шум тощо).

У технічній пропозиції (етап 6) або ескізному проекті (етап 8) нерідко тепер обґрунтовується необхідність та раціональність створення уніфікованої серії літаків різного призначення (на базі вихідного варіанту) та створюється план модифікацій літака відповідно до прогнозованої зміни потоку пасажирів, вантажів та іншого цільового навантаження.

Розглянемо докладніше порівняно новий етап створення літаків – формулювання ідей і концепцій (етап 4).

### **Концепції легких літаків**

Розглянемо часткові технічні ідеї (концепції), створені задля поліпшення льотних й у першу чергу злітно-посадкових характеристик, і навіть зменшення вартості, економію палива і зниження рівня шуму легких літаків. Деякі з цих ідей перевірені на практиці, інші поки що не є загально визнаними.

Всі завдання пошуку оптимуму схеми та параметрів літаків можна умовно поділити на прямі та зворотні. Характерною особливістю прямих завдань є постановка «у стилі замовника»; відомі величина, склад та умови розміщення цільового навантаження, розрахункова дальність (або час) польоту та обмеження з базування, безпеки польоту, шуму на місцевості тощо. Потрібно оптимізувати схему та параметри літака, а також тип силової установки, якщо двигун не заданий.

Зворотні задачі передбачають завдання злітної маси. Вільною оптимізованою величиною в цьому випадку є цільове навантаження, або розрахункова дальність польоту. Зворотні завдання простіші у вирішенні, але страждають деякою штучністю (можливі малореальні компонування літака за істотної зміни величини цільової навантаження чи неприйнятні дальності польоту).

В роботі [2] В. М. Шейніним сформульовано завдання планування модифікацій цивільних літаків. Це завдання можна розглядати як самостійний напрям теорії оптимального проектування літаків.

Планування модифікацій полягає у вирішенні наступного завдання: яким



чином слід змінювати в часі літак, адаптувати його відповідно до умов і потреб експлуатації; що змінюються, щоб сумарні витрати на створення та експлуатацію парку всіх літаків даного типу за весь час їх існування були б найменшими?

З цієї постановки видно, що:

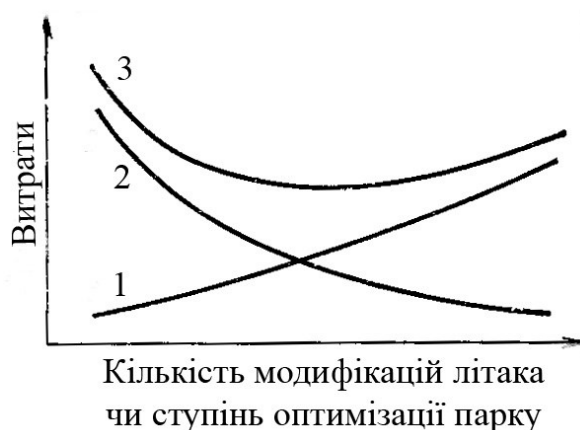
- з'явилася нова незалежна змінна (координата) оптимізації – час;
- літак розглядається як частина складної авіаційної системи (частина комплексу);
- як критерій приймаються сумарні витрати на створення та експлуатацію парку (авіаційного комплексу).

Причинами, які зробили актуальним це завдання, є:

- протиріччя між зміною умов експлуатації (наприклад, зростанням пасажирського та вантажного потоків з часом) та незмінністю розмірів та інших характеристик літака;
- збільшення вартості створення нових літаків.

Тому зараз великі надії покладаються на модифікацію літаків.

Однією з конкретних і найцікавіших завдань планування модифікацій є наступне: які частини літака й у які терміни (тобто, скільки разів) доцільно модифікувати? Якщо модифікації проводити часто можна зменшити витрати на експлуатацію внаслідок збільшення ступеня оптимізації літака. Однак при цьому збільшаться витрати на проектування, будівництво та випробування літака (рисунок 2.2). З рисунку 2.2 видно, що тепер йдеться про оптимізацію самого ступеня оптимізації.



- 1 – витрати на експлуатацію; 2 – витрати на проектування та виготовлення;  
3 – сумарні витрати

Рисунок 2.2 – Схема оптимізації кількості модифікацій літака

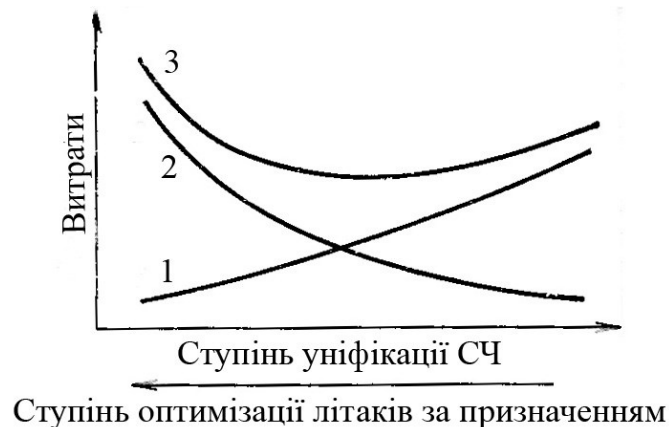
Введення нової координати, часу, суттєво ускладнює завдання оптимального проектування і водночас дає конструктору нові цікаві можливості, обумовлені економікою.

Останнім часом виникле ще одне цікаве відгалуження теорії оптимального проектування – уніфікація частин літака та літаків парку.

Поява цього нового напрямку, як і планування модифікацій, має прагнення заощадити витрати та час створення нових зразків літаків.

Завдання про оптимальну міру уніфікації частин літака за критерієм «сумарні витрати» можна сформулювати в такий спосіб.

Допустимо, що потрібно спроектувати літак для виконання заданого обсягу роботи. Якщо прагнути найбільшої уніфікації частин літака (з раніше створеними частинами літаків чи літаками іншого призначення), то ступінь оптимізації параметрів нового літака зменшується, унаслідок чого зростають витрати на експлуатацію. Однак при цьому зменшуватимуться витрати на проектування та виготовлення літака (рисунок 2.3).



- 1 – за рахунок експлуатації; 2 – за рахунок проектування та виготовлення;  
3 – сумарні витрати

Рисунок 2.3 – Процес виникнення оптимуму уніфікації агрегатів літака

Очевидно, що можливий такий ступінь уніфікації (або оптимізації), за якого сумарні витрати будуть мінімальними.

Велике значення у цих завданнях має стратегія уніфікації, а також серійність виробу.

Завдання про уніфікацію у процесі проектування агрегатів легких багатоцільових літаків формулюються аналогічно: якщо агрегати літака оптимізувати для кожного призначення, можна зменшити витрати на експлуатацію. Однак у цьому випадку агрегатів і типів літаків треба зробити стільки ж, скільки є призначень літака. Очевидно, що цей шлях веде до збільшення витрат на проектування та виготовлення. Ступінь уніфікації тут найменший.

Якщо взяти протилежний випадок – застосування однакових агрегатів (одного типу літака) для всіх призначень, результат може бути негативним за

рахунок витрат на експлуатацію.

Звідси видно можливість існування оптимальної уніфікації агрегатів та типів літаків за призначенням.

Якщо конструктора цікавить лише оптимізація схеми літака, параметри крила «заморожуються». Зустрічається й інше обмежене завдання: знайти оптимальні параметри крила за відомої схеми та компоновання літака (відомі розміри фюзеляжу та розміщення вантажів). Це завдання, як і завдання вибору схеми, може вирішуватись для кількох типів силових установок. У будь-якому випадку, при всіх постановках завдань необхідний розрахунок варіанта літака, що відрізняється схемою, типом силової установки, параметрами агрегатів та льотними характеристиками.

Розрахунок варіанта літака, що є основою будь-якого обчислювального алгоритму ескізного проєктування, є, по суті, послідовністю визначення льотних, вагових та економічних характеристик залежно від прийнятих вихідних даних та обмежень. Кінцевою метою розрахунку варіанта літака є визначення чисельного значення критерію оцінки. Схема одного з таких алгоритмів наведена на рисунку 2.4.

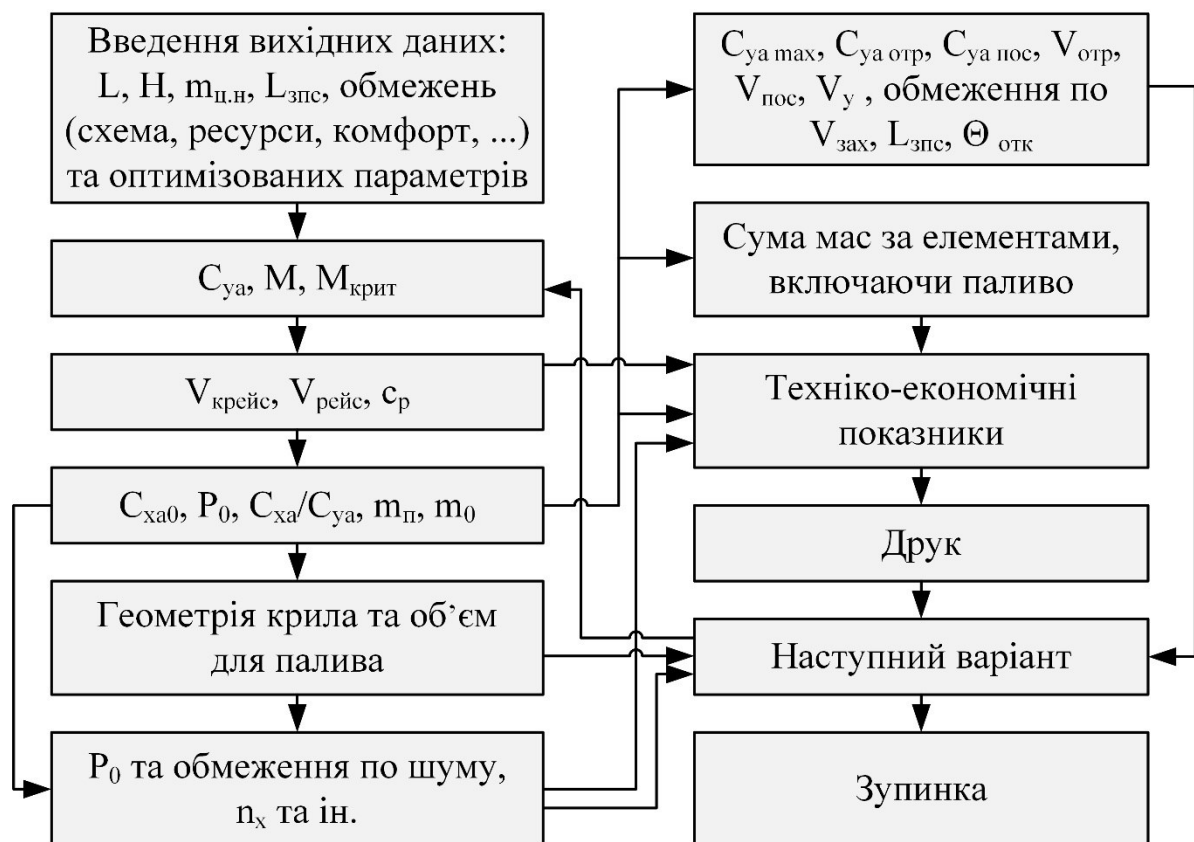


Рисунок 2.4 – Схема розрахунку варіанта легкого неманевреного літака

Варіант літака, у якого значення критерію найкраще (мінімальна злітна маса, найменша вартість експлуатації тощо), теоретично вважається

оптимальним. При остаточному виборі рішення необхідно враховувати різні обставини, які завжди вдається запровадити у програму рахунки. Прикладами таких обставин можуть бути: ресурс конструкції, простота обслуговування та експлуатації літака та двигунів, комфорт пасажирів та екіпажу, рівень шуму на місцевості, можливість експлуатації на невідготовлених ґрунтових аеродромах, безпека при аварійних ситуаціях, можливість розвитку літака, надійність двигунів, технологічність конструкції тощо.

## **2.2 Застосування методів оптимального проєктування і міждисциплінарної оптимізації легких літаків**

У процесі розробки літака можливі різні компроміси. Повинні бути прийняті рішення у зв'язку з оцінкою та вибором відповідних компонентів, підсистем, можливого рівня автоматизації, запасних частин, різних засобів обслуговування тощо. Однією з найефективніших технологій вивчення компромісу є міждисциплінарна оптимізація (далі – МДО) [2]. Дослідники з академічних інститутів, промисловості та галузевих інститутів продовжують покращувати методи МДО та її застосування до вирішення практичних завдань промисловості. МДО є поле інженерного мистецтва, яке використовує методи оптимізації для вирішення завдань проєктування, що включають кілька дисциплін. МДО дозволяє проєктувальнику включити усі важливі дисципліни та розглядати їх одночасно. Оптимальне рішення спільних завдань перевершує пошук конструкції шляхом оптимізації кожної дисципліни послідовно, оскільки може враховувати взаємодію між дисциплінами. Проте спроба враховувати взаємовплив усіх дисциплін одночасно значно збільшує складність завдання.

Проте існують завдання, на вирішення яких нині відсутні математизовані методи оптимізації. Це завдання пошуку найкращого варіанта з запропонованих, і вони пов'язані з наявністю ряду неформалізованих факторів, які істотно впливають на остаточний вибір. Пропонуються різні способи розв'язання таких завдань [4].

У різних проєктувальників літаків існують свої переваги в процесах проєктування. Ці пріоритети ґрунтуються на різних цілях, вимогах та розв'язуваних задачах. Існує чотири основні групи авіаційних проєктувальників: 1) військові авіаційні проєктувальники; 2) проєктувальники цивільних пасажирських літаків; 3) проєктувальники літаків авіації загального призначення (далі – АЗП); 4) проєктувальники літаків домашнього виробництва. Ці чотири групи проєктувальників мають різні інтереси, пріоритети та критерії розробки. Існує приблизно 10 основних показників якості для кожного проєктувальника

конфігурації (компонувальної схеми) літака. Вони такі: вартість продукції, характеристики літака, льотні якості, період розроблення, краса (для цивільних літаків) або загрозливий вигляд (для військових літаків), ремонтпридатність, технологічність, вага літака, можливість утилізації та вимоги малої помітності.

У таблиці 2.1 показано пріоритети для кожної з перерахованих груп проєктувальників літаків по відношенню до 10 показників якості. Розподіл цих пріоритетів є підхід автора роботи [4] і в деяких випадках вони можуть відрізнятися. Корисним джерелом для визначення пріоритетів у процесі розробки конструктивної схеми можуть бути огляди, присвячені розробкам конструкції більш ранніх технічних об'єктів, оскільки вони показують численні цілі та проблеми цих проєктів [5].

Таблиця 2.1 – Цілі розроблення та їх пріоритетність (від 0 до 10) у різних груп проєктувальників

Критерій оцінки	Проєктувальник військових літаків	Проєктувальник цивільних транспортних літаків	Проєктувальник легких літаків АЗП	Проєктувальник літаків домашньої побудови
Вартість	4	2	1	1
Характеристики	1	3	2	3
Літні якості	2	1	3	7
Тривалість розроблення	5	9	8	6
Краса (або бруталність)	10	7	4	5
Ремонтпридатність	7	5	6	9
Технологічність (простота конструкції)	6	6	7	4
Вага літака	8	4	5	2
Придатність до утилізації	9	7	9	8
Рівень помітності	3	0	0	0

Серед 10 показників (або критеріїв) якості ранг «1» є найвищим пріоритетом, а ранг «10» – найнижчий пріоритет. Ранг «0» у цій таблиці означає, що показник якості не є критерієм для цього проєктувальника. Як свідчить табл. 2.1, пріоритетом для проєктувальника військових літаків є характеристики літака, у той час як для проєктувальника літаків домашньої побудови в пріоритеті знаходиться вартість, а для трьох інших груп проєктувальників це не важливо взагалі. Ці пріоритети відображають відносну важливість окремих показників

якості у поданні проєктувальників.

При оцінці конструкції ранній етап, на якому повністю усвідомлюється критерій проєктування, є етапом створення прототипу по відношенню до наявних альтернатив або схем конструкції. Цей прототип визначається шляхом ітеративного процесу аналізу вимог (тобто визначення потреб, аналізу реалізованості, визначення експлуатаційних вимог до літака, вибору концепції обслуговування та планування виведення з експлуатації та утилізації). Пріоритети, наведені у табл. 2.1 можуть бути використані в процесі оптимального проєктування на етапі концептуальної розробки.

Поки вкрай мало методів, що дозволяють вибрати найкращу структуру технічного об'єкта (вибір схеми компоновання відноситься до такого класу завдань), оскільки фактори, що характеризують структуру, часто носять якісний характер. Є можливість застосування методів нечіткої логіки для вирішення таких завдань. Ці методи не є загальноприйнятими, але можуть бути застосовані в таких завданнях. Опис цього методу доречно, оскільки він відноситься до вирішення задачі оптимального вибору.

У процесі використання підходу пропонується виконати послідовність дій, які відповідають схемі рисунку 2.5.



Рисунок 2.5 – Етапи оптимізації конструктивної схеми

Як випливає з цього рисунка, існує петля зворотного зв'язку, яка показує ітеративну природу процесу розробки схеми.

Підхід, запропонований автором роботи [4], дозволяє оцінити характеристики систем, тому ми можемо порівняти дві конструкції кількісно. Модель оптимізації схеми містить параметри та змінні прийняття рішення. Проектні параметри визначають завдання, але числові значення змінних прийняття рішення будуть визначені під час отримання оптимальної конфігурації. Ці змінні ухвалення рішення називаються проектними змінними. Список змінних ухвалення рішення, наприклад, для шасі літака, ілюструється таблицею 2.2. Число змінних залежить від класифікації літака і оскільки це число зростає, визначає складність рішення.

Таблиця 2.2 – Взаємозв'язок між варіантами конструкції шасі та критеріями проектування

Проектний параметр	Критерій								
	Вартість	Характеристики	Літні якості	Час розробки	Краса	Ремонто-придатність	Технологічність	Вага	Можливість утилізації
Невисувне	Дешеві (1)	Найгірші (10)	Кращі (10)	Короткий (10)	Найгірша (1)	Найкраща (10)	Найкраща (10)	Легкі (10)	Найкраща (8)
Висувне	Дорогі (10)	Найкращі (1)	Найгірші (1)	Тривалий (1)	Найкраща (10)	Найгірша (1)	Найгірша (1)	Важкі (1)	Найгірша (3)
Частково висувне	Середні (5)	Середнє (5)	Середні (5)	Середній (5)	Середня (5)	Середня (5)	Середня (5)	Середні (5)	Середня (5)

Примітка. Слід зазначити протиріччя між числовими оцінками та словесним визначенням критеріїв, наведених у таблиці. Наприклад, для невисувного шасі льотні якості вказані як «найкращі», але при цьому числова оцінка дорівнює 10, що відповідає найнижчому пріоритету. Іншими словами, числова оцінка правильна, але це не відповідає якісній оцінці. У таблиці є низку подібних протиріч.

Змінні, що характеризують схему, можуть бути одного з трьох типів: 1) безперервні; 2) дискретні; 3) цілі. Проектні змінні є безперервними, якщо вони можуть мати дійсні значення. Якщо проектна змінна може набувати лише фіксованого значення, вона є дискретною. Наприклад, шасі буває тільки таким, що не висувається, висувається або частково висувається. Це можливо, наприклад, у разі, коли існує вибір числа двигунів з кінцевого списку (скажімо, 1, 2, 3 або 4). У деяких ситуаціях кількість двигунів може набувати лише цілого значення, такі проектні змінні відомі як цілі змінні.

Кожен параметр оцінюється числом в діапазоні від 0 до 1. Нуль означає, що проектний параметр не впливає на мету проектування (або дуже мало впливає). Одиниця означає, що цей проектний параметр має найбільший вплив на мету проектування. Відсотки переваг розбиваються серед усіх переваг таким чином, що їхня сума становить 100 % (таблиця 2.3).

Таблиця 2.3 – Три варіанти ваг (%) для проєктувальника легкого літака

Критерій	Пріоритет	Проектувальник №1	Проектувальник №2	Проектувальник №3
Вартість	10	8	9	9
Характеристики	9	50	40	30
Літні якості	2	10	15	20
Час розробки	5	7	7	8
Погрозливий вигляд	1	1	1	5
Ремонтопридатність	7	4	5	5
Технологічність	6	6	6	7
Вага літака	8	3	4	4
Можливість утилізації	4	2	2	2
Мала помітність	3	9	11	11
Всього		100	100	100

З погляду більш загального підходу весь процес концептуального проєктування може бути розбитий на сім інтелектуальних (як їх називає Джон Андерсон [6]) «відправних точок» – сім аспектів, які закріплюють концептуальний розумовий процес проєктування, але дозволяють різним, більш детальним поглядам поширюватися в всіх напрямках від кожної (гіпотетичної) точки повороту. Отже, концептуальне проєктування може бути представлене як масив з цих семи відправних точок, закріплених у стратегічних розташуваннях в деякому інтелектуальному просторі, ці точки повороту пов'язані великою павутиною докладних підходів. Мережі, побудовані різними людьми, відрізнялися б, хоча точки повороту повинні бути тими самими внаслідок їхнього фундаментального значення. По відношенню до процесу концептуального проєктування літака ці сім відправних точок показано на рисунку 2.6 [6].

Особливістю проєктування складних технічних об'єктів, наприклад, літаків, є те, що їм немає правильної відповіді – лише найкраща відповідь у заданий час. Причина полягає в наступному: проєктування цих об'єктів становить баланс між рядом вимог, що конфліктують. Наприклад, для літака потрібно знайти баланс між наступними факторами:

- технічними (характеристики, живучість, помітність, зовнішній вигляд);
- економічними (ціна, вартість життєвого циклу);
- політичними (концепція, окупність, ризик тощо);
- тимчасовими (коли необхідно? Необхідність бути першим на ринку);
- впливу на навколишнє середовище (обмеження енергетичних ресурсів, шум, викид вуглекислого газу).



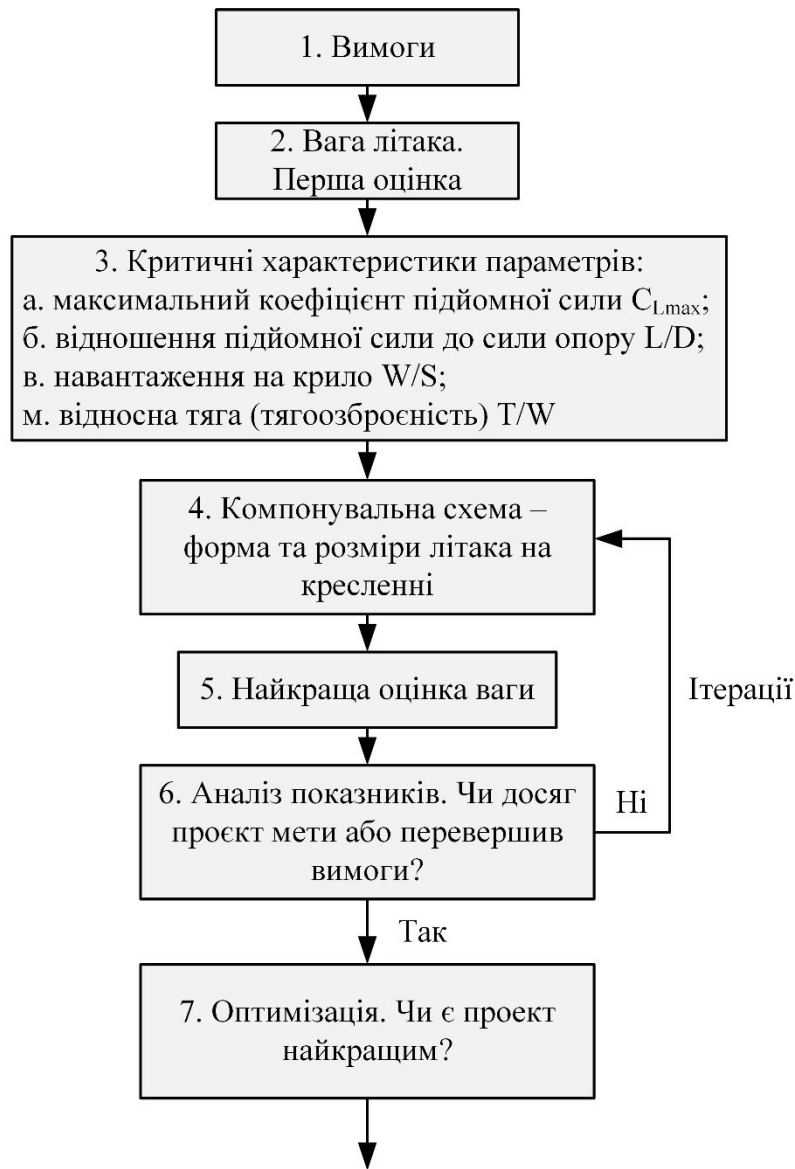


Рисунок 2.6 – Сім відправних точок концептуального проектування

Пріоритети цих вимог змінюються у часі. Технічний об’єкт міг бути розроблений відповідно до певних технічних та економічних вимог, але якщо державне управління змінюється, то пріоритетна вимога стає політичною або екологічною. Порада проектувальнику полягає в тому, щоб залишитись гнучким і розвивати стійкий дизайн наскільки це можливо, щоб він вижив, оскільки вимоги змінюються з часом. Проектувальника можна закликати до компромісу, балансу та гнучкості. До цих закликів можна додати ще й наявність гарного інструменту, що дозволяє поряд із традиційними інструментами, що застосовуються під час проектування, досягти цих цілей.

## 2.2 Застосування технології низхідного проектування

Як відомо, процес проектування виробів з використанням САПР може бути реалізований у вигляді двох можливих принципово відмінних один від одного

методів: висхідного (знизу – вгору) і низхідного (зверху – вниз) проєктування [7]. Принципову відмінність цих методів надано на рисунку 2.7.

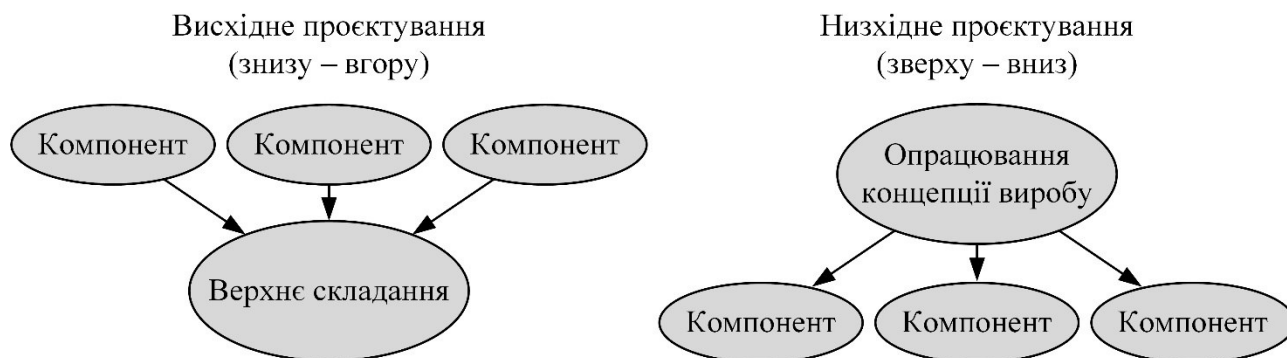


Рисунок 2.7 – Методи проєктування виробів

При традиційному підході до проєктування з використанням тривимірних САПР (Bottom-Up Design, проєктування «знизу – вгору») нові вироби проєктуються так, що спочатку розробляють, тобто створюють електронні моделі окремих деталей, незалежно один від одного. Потім з них, як із складових частин, створюють окремі складання, підзбірки та вже на завершальному етапі створюється збірна конструкція в цілому, яка визначає наприкінці процесу склад виробу та, відповідно, його специфікацію. Важливо відзначити, що конструктор розробляє деталі індивідуально та незалежно від складання.

Одним із неприємних для конструктора наслідків цього методу проєктування є те, що після остаточного складання з'ясується, що моделі деталей, будучи спроектованими незалежно одна від одної, можуть входити до складання некоректно, наприклад, вони можуть перетинатися одна з одною. Звичайно ці колізії повинні потім виправлятися, але це вимагає ручного коригування кожної моделі, що входить у некоректне складання. Зі збільшенням розміру складальної одиниці (далі – Скл.Од.) ці виправлення можуть забирати все більше і більше часу.

Ще один неприємний момент цього методу проєктування полягає в тому, що, якщо параметри моделей залежать один від одного, але їх взаємозв'язки не задані, то внесення змін до конструкції стає трудомісткою справою та займає багато часу. Конструктор змушений змінювати параметри кожної деталі окремо, а потім перевіряти Скл.Од. на перетин компонентів, механізм – на працездатність тощо. Наявність великої кількості перехресних посилань ускладнює проведення конструктивних змін під час опрацювання різних варіантів конструкції виробу. Однак, незважаючи на зазначені обставини, метод висхідного проєктування досить широко застосовується в проєктуванні виробів, специфікою яких є мінімальна кількість змін та заздалегідь певна конструкція

всіх компонентів.

Альтернативою розглянутому методу є метод низхідного проектування (Top Down Design, проектування «зверху – вниз»), коли виріб розробляється спочатку як концептуальна модель, а потім, у процесі проектування, поступово розвивається у повноцінну модель з деталями та підзбірками. Конструктор із самого початку працює з деталлю, створюючи її електронну модель, як із частиною одного великого виробу, маючи при цьому можливість відстежувати зв'язки між компонентами. Головною особливістю низхідного проектування є те, що концептуальна інформація про виріб міститься на більш високому рівні, а потім розподіляється на нижчі рівні структури проекту. За такої схеми більшість концептуальної інформації стає доступною для будь-якого конструктора, що входить до проектною команди, і може бути використана або включена в конструкцію вхідних деталей та підбірок. Ключова перевага методу полягає в тому, що, фіксуючи всю концептуальну інформацію в одному джерелі, ми суттєво полегшуємо її зміну у разі потреби. Відзначимо ще один важливий факт: оскільки на цю інформацію посилаються проєктовані компоненти, то після зміни концептуальної моделі система автоматично змінить компоненти, які мають посилання на цю модель.

При низхідному проектуванні основна інформація про геометрію виробу міститься в моделі каркасу або майстер-геометрії S. Усі компоненти спроектовані з прив'язками до майстер-геометрії. Зміна геометрії каркасу керує геометрією всієї Скл.Од. На базі одного каркаса може бути опрацьовано декілька варіантів комплектації виробу. Використання низхідного проектування передбачає створення багаторівневої керуючої структури, що містить всю основну геометрію та базові параметри виробу, що проєктується. В основі керуючої структури лежать моделі майстер-геометрії. Стосовно системи автоматизованого проектування Pro/ENGINEER моделі є скелетони. Дані з майстер-геометрії верхнього рівня передаються на нижчий рівень і доповнюються уточнювальною геометрією, дозволяючи таким чином сформулювати повну концептуальну схему виробу, що проєктується. Розгалужена схема керуючої структури дає змогу організувати паралельну роботу різних підрозділів проєктантів та конструкторів. Заключним етапом є створення реальних конструкторських моделей деталей та вузлів з посиланнями на майстер-геометрію та випуск комплекту конструкторської документації на виріб.

Розробка нового виробу методом низхідного проектування дозволяє повною мірою забезпечити підтримку наступних сторін реального процесу

проєктування:

- попереднє розроблення структури виробу;
- опрацювання концепції на стадії тривимірного ескізного проєкту;
- детальне опрацювання конструкції виробу на стадії робочого проєкту;
- можливість організації паралельної роботи груп проєктувальників та конструкторів за рахунок використання як вихідний інформації загальної геометрії, що розподіляється через структуру каркасних моделей (скелетонів);
  - можливість здійснення контролю за прив'язками та управління потоком інформації в рамках проєкту;
  - можливість швидкого оновлення стану загальної геометрії у робочих групах за зміни початкових умов проєкту;
  - можливість виключення циклічних посилань.

Використання методу низхідного проєктування дає можливість не тільки розробленню та випуску конструкторської документації (далі – КД) на базі моделей Скл.Од. та деталей виробу, але виконання інших робіт з підготовки виробництва, включаючи:

- підготовку та запуск КД у виробництво;
- розроблення моделей та КД складальної оснастки на основі конструкторських даних як вхідної інформації; розроблення робочого та контрольного оснащення, а також розроблення керуючих програм (далі – Кер.Пр.) для верстатів з ЧПК на базі моделей деталей.

Слід зазначити, що подальший розвиток цього методу для проєктування виробів авіаційної та ракетно-космічної техніки дозволило створити новий тип методології низхідного проєктування, а саме підхід, відомий як Enterprise Top Down Design (ETDD). Підхід ETDD включає наступні ключові моменти:

- створення концептуальної архітектури виробу;
- розроблення деталізованої проєктної структури виробу;
- проєктування та конструювання деталей та підзбірок;
- ведення інтегрованої бази даних про виріб.

Особливістю цього підходу є використання системи PDM (Product Data Management – управління інженерними даними) для організації та ведення електронного сховища всієї інформації про створюваний виріб протягом усього його життєвого циклу. По суті, в цій базі даних створюється повний електронний макет виробу (далі – ПЕМВ) з усією супутньою інформацією, включаючи електронні моделі (далі – ЕМ) деталей та підзбірок, конструкторську, технологічну та експлуатаційну документацію, результати інженерних розрахунків, документацію з випробувань тощо. Крім того, система PDM

використовується для управління та моніторингу проєкту, забезпечує планування та актуальний та достовірний контроль виконання робіт усіма виконавцями.

Перший досвід ведення проєкту з проєктування за методом низхідного проєктування на основі системи CATIA V5R18 було отримано під час розроблення двомісного легкого літака первинної підготовки пілотів ХАІ-100 (рисунок 2.8).

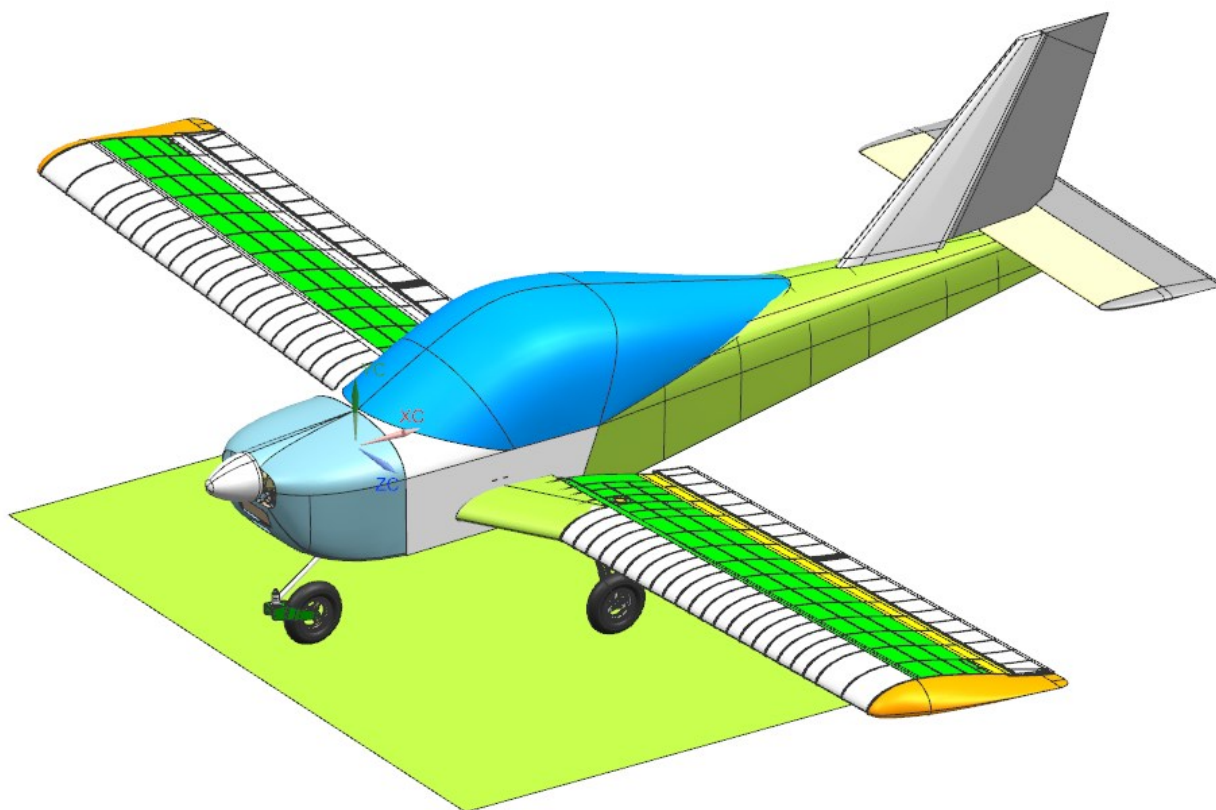


Рисунок 2.8 – Електронний макет літака ХАІ-100 [8]

У ході виконання цієї роботи в практику роботи конструкторів було впроваджено такі елементи методології, як «майстер-геометрія», «керівна структура», «посилання на модель верхнього рівня», «сліди силової конструкції» та ін. Були зроблені електронні тривимірні моделі обшивок літака, що спираються на майстер-геометрію, моделі рубильників, що притискають обшивку, та ін. Ця робота дозволила побачити на конкретних практичних результатах вигоди та переваги нових підходів до організації проєктного процесу. Слід зазначити, що на проєкті легкомоторного літака застосовувалися і низхідне, і висхідне проєктування. Було розроблено майстер-геометрію літака та створено необхідні умови для роботи «зверху – вниз», проте, з різних причин, моделі окремих деталей та Скл.Од. виконувались у технології «знизу – вгору». Але коли тривимірні моделі цих деталей, розроблені різними конструкторами,

не поєднувалися в єдині підбірки, то довелося виконувати багато зайвої роботи з ув'язування складових частин (далі – СЧ). Це стало підтвердженням переваг технології низхідного проектування [7]. Однак технологія висхідного проектування теж має право на життя. Наприклад, якщо проектується агрегат з високим ступенем запозичення або взагалі ведеться оцифрування раніше створеного виробу, то тут доречна технологія висхідного проектування.

Ще один аспект сучасного підходу до проектування – це стосунки з партнерами з кооперації. Відомо, що це є «вузьким місцем» практично у всіх галузях промисловості. Традиційний обмін паперовими документами має замінюватись передачею електронних даних по мережах комунікацій або постачанням на електронних носіях. У ході цієї роботи було розроблено та впроваджено деякі механізми взаємодії, з яких слід згадати обмін габаритно-настановними моделями (далі – ГУМ). У звичайному режимі достатньо отримати від партнера по кооперації ГУМ, виконану в системі САПІА, щоб використовувати її для подальшого розроблення конструкції блоків та вузлів виробу. У разі більш активного спільного опрацювання вузлів застосовуються моделі кордонів. Досвід створення та використання цієї методології показує, що основним позитивним моментом використання низхідного проектування є можливість централізовано проводити зміни по всьому виробу [8].

Зміни ініціалізуються лише на рівні проєктантів і послідовно спускаються вниз – до рівня конструкторів. Конструктори, у свою чергу, переносять ці зміни на моделі деталей. Також важливий аспект полягає в тому, що всі учасники проєкту працюють за єдиною методикою, зрозумілою та прозорою для всіх, що й дозволяє організувати паралельне розроблення вузлів, що ґрунтуються на одних і тих самих вихідних даних. При цьому на будь-якому етапі розроблення можна безболісно передати проєктні роботи від одного фахівця до іншого.

Окреме питання при організації низхідного проектування у великому проєкті – це жорстка вимога до централізованого керування всіма файлами проєкту. Багато моделей мають копії даних з моделей різних рівнів. Необхідно забезпечувати постійний доступ до всіх файлів проєкту всім задіяним у проєкті фахівцям. Таку роль може виконувати тільки PDM-система, в даному випадку система WINDCHILL PDMLink.

## **Висновки по розділу 2**

1. Сформульовано послідовність виконання робіт з конструкторської підготовки виробництва (проектування) легких літаків.
2. Сформульовано концепцію створення легких літаків.

3. Розглянуто роботи та показники щодо планування модифікацій цивільних літаків.

4. Запропоновано методи оптимального проектування і міждисциплінарної оптимізації легких літаків; розглянуто етапи оптимізації конструктивної схеми літака, наведено приклад використання цього метода для різних варіантів конструкції шасі.

5. Запропоновано використання методу концептуального проектування легких літаків.

6. Запропоновано використання технології низхідного проектування легких літаків.

**РОЗДІЛ 3 УДОСКОНАЛЕННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ  
ПІДГОТОВКИ ВИРОБНИЦТВА**



### 3.1 Напрямки вдосконалення виробництва легких літаків

Сучасний етап виробництва легких літаків характеризується такими особливостями:

- застосуванням комп'ютерних технологій під час виконання технологічної підготовки виробництва;
- застосуванням автоматизованих систем керування підприємством;
- застосуванням автоматизованого обладнання з ЧПК;
- технічним переозброєнням підприємств галузі.

Безперервне покращення конструкції та льотно-технічних характеристик літаків АЗП забезпечується використанням у конструкції матеріалів з високими фізико-механічними властивостями, застосуванням прогресивних технологій виготовлення виробів, інформаційних технологій та ін.

Основними напрямками вдосконалення виробництва літаків є:

- застосування прогресивних технологічних методів та процесів;
- автоматизація виробництва;
- використання інформаційних технологій;
- удосконалення нормативно-технологічної документації;
- використання передових досягнень у сфері організації виробництва.

Одним із важливих напрямів підвищення ефективності виробництва є застосування сучасних інформаційних технологій для інтеграції процесів, що виконуються в ході всього життєвого циклу продукції та її компонентів. Цей напрямок реалізується у вигляді впровадження та використання концепції CALS-технологій.

CALS (Continuous Acquisition and Life cycle Support) – безперервна інформаційна підтримка життєвого циклу продукції.

CALS-технології – сучасний підхід до проектування та виробництва високотехнологічної та наукомісткої продукції, що полягає у використанні комп'ютерної техніки та сучасних інформаційних технологій на всіх стадіях ЖЦВ. За рахунок безперервної інформаційної підтримки забезпечуються однакові способи управління процесами та взаємодії всіх учасників цього циклу: замовників продукції, постачальників/виробників продукції, експлуатаційного та ремонтного персоналу.

Інформаційна підтримка реалізується відповідно до вимог системи міжнародних стандартів, що регламентують правила зазначеної взаємодії переважно за допомогою електронного обміну даними.

Цілі CALS-технологій:

- скорочення обсягу паперової документації та пов'язаних із нею витрат

(використання електронної інформації);

- зменшення часу циклу проєктування та виробництва (паралельне виконання робіт);

- зниження кількості помилок (фіксування інформації один раз та використання багато разів);

- інтеграція підприємств;

- покращення реагування на зміну попиту;

- підвищення конкурентоспроможності виробів, спроектованих та вироблених в інтегрованому середовищі з використанням сучасних комп'ютерних технологій та засобів інформаційної підтримки на етапі експлуатації;

- підвищення «прозорості» та «керованості» бізнес-процесів за рахунок можливості їх аналізу та реінжинірингу, що проводяться на основі інтегрованих інформаційних моделей.

Основою CALS-технологій є інтегроване інформаційне середовище (далі – ІС). На практиці термін ІС використовують стосовно конкретного підприємства, якщо мова йде про групу підприємств використовують термін єдиний інформаційний простір (далі – ЄІП).

ІС – сукупність розподілених баз даних, що містять відомості про вироби, виробниче середовище, ресурси та процеси підприємства, що забезпечує коректність, актуальність, безпеку та доступність даних тим суб'єктам виробничо-господарської діяльності, що беруть участь у здійсненні ЖЦВ, кому це необхідно і дозволено. Усі відомості (дані) у ІС зберігаються у вигляді інформаційних об'єктів. В ІС діє єдина система правил подання, зберігання інформації та обміну нею.

ІС має включати до свого складу дві основні бази даних: загальну базу даних про вироби (далі – ЗБДВ) та загальну базу даних про технологічне середовище підприємства (далі – ЗБДП).

ЗБДВ можуть складати три розділи:

- 1) нормативно-довідковий – служить для зберігання даних про матеріали, нормалі, покупні комплектуючі вироби, стандартні розрахункові методи, стандарти тощо;

- 2) довготривалий – містить дані про власні розробки підприємства: про раніше виконані проєкти, типові деталі і вузли власного виробництва, типові і групові технологічні процеси, типове технологічне оснащення, готові і типові методики розрахунку тощо;

- 3) актуальний розділ – містить дані про вироби, що знаходяться на різних

етапах життєвого циклу: про конструкцію та версії виробів, технологію виготовлення, конкретні примірники та партії виробів, що знаходяться як у виробництві, так і на постпродажних стадіях.

ЗБДП може складатися з наступних розділів:

1) економіка та фінанси – містить відомості про кон'юнктуру ринку, про стан фінансових ресурсів підприємства, про портфель замовлень тощо;

2) зовнішні зв'язки підприємства – містяться відомості про фактичних та можливих постачальників та споживачів;

3) виробничо-технологічне середовище підприємства – містяться відомості про виробничу структуру підприємства, ЗТО, транспортно-складську систему підприємства, кадри тощо;

4) система якості – містяться дані про структуру, що діє на підприємстві системи якості, стандарти якості, посадові інструкції в галузі якості та інші відомості щодо системи якості.

Основний зміст концепції CALS, що принципово відрізняється її від інших, становлять інваріантні поняття, які реалізуються (повністю або частково) протягом життєвого циклу виробу (далі – ЖЦВ). Ці інваріантні поняття умовно поділяються на дві групи:

1) основні CALS-принципи;

2) базові CALS-технології.

До основних принципів відносяться:

– безпаперовий обмін даними з використанням електронно-цифрового підпису;

– паралельний інжиніринг (Concurrent Engineering);

– аналіз та реінжиніринг бізнес-процесів (Business-processes analysis and reengineering):

– системна організація поствиробничих процесів ЖЦВ – інтегрована логістична підтримка ІЛП (Integrated Logistic Support).

До базових технологій відносяться:

– управління проектами (Project Management);

– керування даними про виріб (Product Data Management);

– управління конфігурацією виробу (Configuration Management);

– управління ІС;

– управління якістю (Quality Management);

– керування потоками робіт (Workflow Management);

– управління змінами виробничих та організаційних структур (Change Management).

CALS-технології реалізуються силами багатопрофільних робочих груп, що складаються з експертів різних спеціальностей. Нормативну базу розробок становлять міжнародні та національні стандарти, що регламентують виконання процесів зі створення та застосування CALS-технології.

В ІС інформація створюється, перетворюється, зберігається та передається від одного учасника до іншого за допомогою програмних засобів.

До програмних систем, що використовуються на різних етапах ЖЦВ, належать

- автоматизовані системи конструкторського та технологічного проектування (CAD, CAE, CAM, CAPP);
- програмні засоби керування даними про виріб (PDM);
- автоматизовані системи керування підприємством (MRP, ERP-системи);
- програмні засоби моделювання та аналізу бізнес-процесів (CA ERwin Process Modeler, Design/IDEF, Business Studio);
- програмні засоби керування потоками робіт (WFM);
- програмно-методичні засоби аналізу логістичної підтримки та ведення баз даних за результатами аналізу (LSA/LSAR) та ін.

Використання CALS-технологій дозволяє скоротити:

- витрати на проектування до 30 %;
- час розробки виробів від 40 до 60 %;
- витрати на підготовку технічної документації від 20 до 40 %;
- терміни технологічної підготовки у 2 рази;
- витрати розробку експлуатаційної документації до 30 %.

При вирішенні завдань конструкторської підготовки із застосуванням інформаційних технологій нині в авіаційній промисловості досягнуто значних успіхів. Проектування літака виконується з використанням графічних систем автоматизованого проектування. При вирішенні завдань, пов'язаних із розрахунками на міцність, використовуються системи кінцево-елементного аналізу. Відпрацьовано методологію розробки електронних моделей (далі – ЕМ) та їх використання при вирішенні різних завдань технологічної підготовки виробництва (далі – ТПВ). Розробка ТП виконується з використанням програмних систем.

Передові підприємства авіаційної промисловості впроваджують систему безплатової підготовки виробництва.

Ведуться роботи з розробки та впровадження автоматизованих систем менеджменту якості (далі – АСМК).

Важливим фактором підвищення виробництва літаків є використання

прогресивних технологій та обладнання [1, 29].

У механообробному виробництві:

– широке використання високошвидкісної обробки та багатоопераційних верстатів;

– використання дзеркального фрезерування;

– використання дробоструминної обробки.

У ливарному виробництві:

– розширення застосування методів швидкого прототипування;

– застосування методів вакуумно-плівкового формування;

– застосування лиття під низьким тиском;

– застосування лиття в фанеровані кокілі.

У заготівельно-штампувальному виробництві – використання верстатів із ЧПК для формоутворення довгомірних обшивок.

В агрегатно-складальному виробництві:

– використання прогресивного ручного механізованого інструменту;

– використання зміцнювальних методів обробки отворів підвищення ресурсу болтових з'єднань;

– впровадження та використання клепальних автоматів з ЧПК;

– використання стикувальних стендів із ЧПК.

У виробництві виробів із композитних матеріалів:

– використання нових матеріалів з високими характеристиками міцності та пружності;

– розробка ТП виготовлення виробів інтегральної конструкції.

До організаційних заходів удосконалення відноситься використання потокового методу та групового методу виробництва.

Важливим фактором удосконалення виробничих систем підприємств авіаційної промисловості є використання методів ощадливого виробництва (Lean production). Застосування технологій ощадливого виробництва (Лін-технологій) дозволяє підвищити ефективність роботи підприємств: скорочення виробничого циклу, зниження витрат, підвищення якості продукції.

Підвищення ефективності досягається за рахунок зниження витрат у процесі виробництва виробів.

Втратами вважаються всі дії, що споживають ресурси та не створюють цінності для споживача. З погляду виробництва цінністю для споживача є ті дії, які забезпечують необхідні властивості продукції і на які він готовий заплатити.

Основні види витрат [30]:

1. Втрати через надвиробництво (Виробництво виробів, які не

користуються попитом; виробництво продукції в більшому обсязі раніше або швидше, ніж це потрібно на наступному етапі процесу).

2. Втрати часу через очікування (перерви у роботі, пов'язані з очікуванням людей, матеріалів, обладнання чи інформації).

3. Втрати через надмірну обробку (додаткова обробка виробу через низьку якість інструменту, помилок проєктування та ін.).

4. Втрати через зайві рухи при виконанні операцій (будь-яке переміщення людей, інструменту або обладнання, яке не додає цінність кінцевому продукту).

5. Втрати через зайві запаси (будь-яке надлишкове надходження продукції у виробничий процес, будь то сировина, напівфабрикат або готовий продукт).

6. Втрати під час транспортування (при транспортуванні виробів чи складових частин, матеріалів усередині цеху чи підприємства).

7. Втрати через випуск дефектної продукції (продукції, що вимагає перевірки, сортування, утилізації, заміни або доопрацювання).

8. Втрати через невикористаний потенціал персоналу – втрати часу, ідей, навичок, можливостей удосконалення та набуття досвіду співробітників.

Основними принципами ощадливого виробництва є:

1. Визначення цінності товару – розуміння того, що є цінністю споживача.

2. Визначення потоку створення цінності даного продукту – аналіз діючої системи виробництва та визначення втрат.

3. Забезпечення безперервного потоку створення цінності продукту – створення виробничого потоку, що забезпечує безперервний рух від сировини до готової продукції.

4. Використання системи витягування продукту – організація виробництва виробів так, щоб операції у попередній стадії виконувались за запитом з наступної стадії обробки.

5. Безперервне вдосконалення – постійне поліпшення діяльності з метою збільшення цінності та зменшення втрат.

Принципи реалізуються за допомогою методів та інструментів.

К методам ощадливого виробництва належать:

– система організації робочого місця (Система 5S) – система наведення порядку, чистоти та зміцнення дисципліни, що складається з п'яти принципів: сортування, раціональне розташування, прибирання, стандартизації, вдосконалення;

– картування потоку створення цінності(Value Stream Mapping) – складання карток із описом всіх видів дій, виконуваних у ході створення цінності продукту чи сімейства продуктів. Складаються карти поточного стану процесу

із зазначенням втрат. Потім розробляються карти майбутнього стану з урахуванням застосування заходів щодо зниження втрат;

- організація одиничного виробничого потоку – метод роботи, при якому верстат або процес (наприклад, проектування, прийняття замовлення або виробництво) обробляє не більше одного виробу одночасно;

- візуальне управління та контроль – способи та технічні пристрої, що інформують про те, як повинна виконуватися робота або що дозволяють оцінити поточний стан процесу – норму чи відхилення;

- система швидкого переналагодження обладнання (SMED – Single Minute Exchange of Dies) – правила та процедури, що дозволяють виконати переналагодження (наприклад, зміну прес-форм) виробничого обладнання за мінімальний час;

- система загального обслуговування обладнання (TPM – Total Productive Maintenance) – комплекс заходів, спрямованих на те, щоб технологічне обладнання постійно знаходилося у працездатному стані, забезпечувався випуск якісної продукції, виконувались вимоги безпечної роботи, знижувався вплив на навколишнє середовище;

- використання системи «точно вчасно» (JIT – Just-in-time) – системи, що забезпечують постачання предметів праці в необхідний час та в потрібній кількості в міру необхідності;

- стандартизована робота – робота із застосуванням документів (стандартних операційних процедур) з точним описом кожної дії для кожного процесу та виконавця;

- система запобігання випуску бракованої продукції – використання методів та пристроїв, що запобігають появі дефектів;

- система безперервного вдосконалення (Кайдзен) – принципи та методи, що забезпечують безперервне, постійне покращення діяльності підприємства.

Інструментами ощадливого виробництва є:

- карти поточного та майбутнього станів потоку створення цінності;

- діаграма «спагеті»;

- дошки (андони) з інформацією;

- звукова сигналізація;

- картки КАНБАН;

- датчики, фотоелементи, пристрої від «помилки» та ін.

Використання ощадливого виробництва виконується поетапно, починаючи з пілотних проєктів. Потрібна організація навчання персоналу, створення ініціативних груп із різних фахівців. Ефективність впровадження Лін-

технологій залежить від активної участі всіх працівників підприємства, починаючи від вищого керівництва та закінчуючи безпосередньо виконавцями на робочих місцях.

### 3.2 Моделі і методи розрахунку термінів виробництва легких літаків

Авіаційна та ракетно-космічна промисловість все ширше застосовує як конструкційні матеріали у відповідальних вузлах та агрегатах композиційні матеріали на основі скляних, вуглецевих та органічних волокон (далі – ПКМ).

ПКМ за своїми характеристиками за багатьма параметрами перевершують традиційні авіаційні сплави. В даний час найбільше застосування в конструкціях легких літаків отримали склопластики, в яких як армуючі елементи використовуються скляні волокна у формі тканини, ровінгу, шпону, а в якості матриці, як правило, використовуються затверджені епоксидні, а іноді поліефірні смоли.

У деяких несучих елементах конструкції застосовуються вуглепластики, що відрізняються високою питомою міцністю, термостійкістю, термостабільністю властивостей і геометричних розмірів, високою міцністю втоми. Порівняльні характеристики конструкційних матеріалів, що використовуються у виробництві легких літаків, наведено в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Характеристики конструкційних матеріалів

Матеріал	Щільність, г/см <sup>3</sup>	Границя міцності, МПа	Питома міцність, м <sup>2</sup> /с <sup>2</sup>
Сталь 30ХГСА	7,85	800	101,9
Д16Т	2,85	440	154,4
Склотекстоліт	4,5	800	177,8
Титан ОТ-4	1,7	500	294,1
Односпрямований склопластик	2,0	1 000	500,0
Односпрямований вуглепластик	1,5	1 020	680,0

Застосування склопластиків, як випливає з табл. 3.1, дозволяє збільшити експлуатаційний ресурс в 1,5...2 рази, знизити масу конструкції на 20...25 % і трудомісткість виробництва виробів [17].

#### 3.2.1 Моделі розрахунку параметрів і аналізу чутливості орієнтованого графу

Розглянемо основні характеристики та параметри орієнтованого графа та наведемо моделі їх розрахунку.

Параметри робіт.

1. Ранній термін початку роботи:



$X_n(ij) = t \cdot [L \cdot (J \dots i)max] = X(i)$  – сумарна тривалість робіт, лежачих на максимальному шляху, що веде до цієї роботи від  $i$ -ї вихідної події.

2. Ранній термін закінчення роботи є найбільш раннім (мінімальним) із можливих моментів закінчення роботи при заданій тривалості.

Ранній термін закінчення роботи:

$X_3(ij) = X_n(ij) + t(ij) = X(i) + t(ij)$  – сума раннього терміну початку роботи та тривалості  $t(ij)$  цієї роботи.

3. Пізній термін закінчення роботи:

$Y_3(ij) = T_{kp} - t \cdot [L \cdot (j \dots C)max] = Y(j)$  – це різниця між тривалістю критичного шляху  $T_{kp}$  і сумарною тривалістю робіт, що лежать на максимальному шляху  $t \cdot [L \cdot (j \dots C)max]$ , що ведуть від  $j$ -ї кінцевої події роботи до завершальної події проекту.

4. Пізній термін початку роботи є найбільш пізнім (максимальним) із допустимих моментів початку даної роботи, при якому ще можливе виконання всіх наступних робіт у встановлений термін.

Пізній термін початку роботи:

$Y_n(ij) = Y_3(ij) - t(ij)$  – це різниця пізнього терміну закінчення роботи  $Y_3(ij)$  та тривалості цієї роботи.

5. Повний резерв часу роботи:

$R(ij) = Y(j) - X(i) - t(ij)$  – це величина резерву часу максимального зі шляхів, які проходять скрізь цю роботу.

Повний резерв часу роботи характеризує максимальну кількість часу, на яку можна запізнитися спочатку роботи ( $ij$ ) порівняно з найбільш раннім часом її початку  $X(i)$ , не збільшуючи при цьому час виконання всього проекту.

6. Частковий резерв першого виду:

$R_1(ij) = Y(j) - Y(i) - t(ij)$  – це частина повного резерву часу роботи, яка може бути використана для збільшення її тривалості за умови, що це не викликає зміни пізнього терміну звершення початкової події. У робіт, що виходять з подій, що лежать на критичному шляху, частковий резерв першого виду збігається з повним резервом.

7. Частковий резерв другого виду:

$R_2(ij) = X(j) - X(i) - t(ij)$  – це частина повного резерву часу роботи, яка може бути використана для збільшення її тривалості за умови, що це не викликає зміни раннього терміну завершення кінцевої події. Для робіт, що закінчуються в подіях, що лежать на критичному шляху, частковий резерв другого виду збігається з повним резервом.

8. Вільний резерв часу роботи:

$R_B(ij) = X(j) - Y(i) - t(ij)$  – це частина повного резерву часу роботи, на яку можна відстрочити початок або збільшити її тривалість за умови, що це не викликає зміни ранніх термінів початку наступних робіт.

Всі роботи, що лежать на критичному шляху, не мають резервів. Зрив термінів здійснення подій та виконання робіт критичного шляху веде до зриву термінів виконання всього комплексу робіт.

Розраховані параметри події записуються в його зображення у вигляді кола (рисунок 3.1).

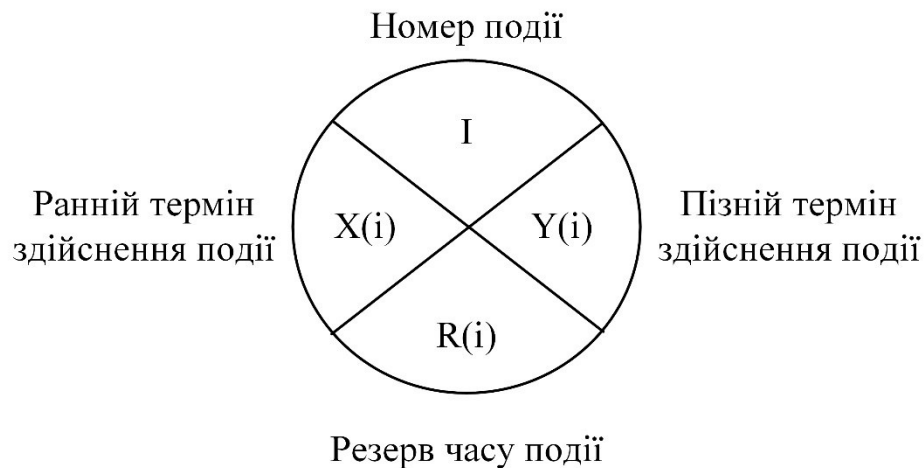


Рисунок 3.1 – Розраховані параметри події

Для визначення кількісного ступеня впливу зміни тривалості робіт на зміну всіх вихідних параметрів графа використано коефіцієнти чутливості.

Коефіцієнти чутливості, наприклад, ранніх та пізніх термінів здійснення подій до зміни тривалості робіт  $t(lk)$ , визначено відповідно до рівнянь:

$$\alpha_j^{(lk)} = \frac{\partial X(j)}{\partial t(lk)} = \frac{\partial \left\{ \max_{(ij) \in U_j^+} [x(i) + t(ij)] \right\}}{\partial t(lk)}, \forall j = \overline{2, n}. \quad (3.1)$$

$$\beta_i^{(lk)} = \frac{\partial Y(i)}{\partial t(lk)} = \frac{\partial \left\{ \min_{(ij) \in U_i^-} [y(j) + t(ij)] \right\}}{\partial t(lk)}, \forall i = \overline{2, n-1}. \quad (3.2)$$

Отримані рівняння дозволяють сформувати матрицю чутливості ранніх та пізніх термінів здійснення події.

Чутливість ранніх термінів звершення всіх подій можна представити наступною матрицею чутливості  $\alpha$ , кожен рядок якої є вектором коефіцієнтів чутливості раннього терміну звершення всіх подій до зміни тривалості якоїсь однієї роботи, а кожен стовпець є вектором коефіцієнтів чутливості раннього терміну звершення події до зміни тривалості всіх робіт:

$$\alpha = \begin{pmatrix} X(1) & X(2) & \dots & X(n) \\ \alpha_2^{(1,2)} & \alpha_3^{(1,2)} & \dots & \alpha_n^{(1,2)} \\ \alpha_2^{(1,3)} & \alpha_3^{(1,3)} & \dots & \alpha_n^{(1,3)} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \alpha_2^{(n-1,n)} & \alpha_3^{(n-1,n)} & \dots & \alpha_n^{(n-1,n)} \end{pmatrix} \begin{matrix} t(1,2) \\ t(1,3) \\ \dots \\ t(n-1,n) \end{matrix} \quad (3.3)$$

Аналогічним чином можна побудувати матрицю чутливості пізніх термінів події  $\beta$ .

При відомих матрицях чутливості зміни всіх ранніх і пізніх термінів звершення подій  $\Delta X(j)$ ,  $\Delta Y(i)$  при одночасної зміні тривалості робіт на величини  $\Delta t(lk)$  будуть визначатися наступним чином:

$$\Delta X(j) = \sum_{(lk) \in M} \alpha_j^{(lk)} \cdot \Delta t(lk). \quad (3.4)$$

$$\Delta Y(i) = \sum_{(lk) \in M} \beta_i^{(lk)} \cdot \Delta t(lk). \quad (3.5)$$

Таким чином, сформовані матриці чутливості дають можливість без перерахунків параметрів орієнтованого графа оперативно визначити всі зміни його вихідних параметрів до впливів, що обурюють.

### 3.2.2 Приклад розрахунку параметрів орієнтованого графу складання нервюри крила літака

Розглянемо приклад технології складання елемента конструкції крила з ПКМ методом холодного формування на прикладі нервюри крила легкого літака CTSL «Supralight» фірми Flight Design GmbH (Німеччина).

На схемі відокремленої частини крила (далі – ВЧК) виділено складання рядової нервюри крила (рисунок 3.2), для якої побудовано орієнтований граф (рисунок 3.3), що дозволяє визначити тривалість виробничого циклу, провести аналіз впливу робіт на весь цикл складання, проаналізувати вплив зміни проміжних робіт на кінцевий результат.

В таблицях 3.2, 3.3 представлені події та параметри орієнтованого графа складання рядової нервюри.

В таблиці 3.2 до подій ( $i$ ) орієнтованого графа віднесено:

- 1 – підготовка матеріалів;
- 2 – підготовка сполучного полімеру;
- 3 – розкрий склотканини;
- 4 – підготовка армуючого елемента;
- 5 – обробка та укладання армуючого елемента;
- 6 – укладання крайнього шару нервюри;

7 – матричне укладання/вакуумування.

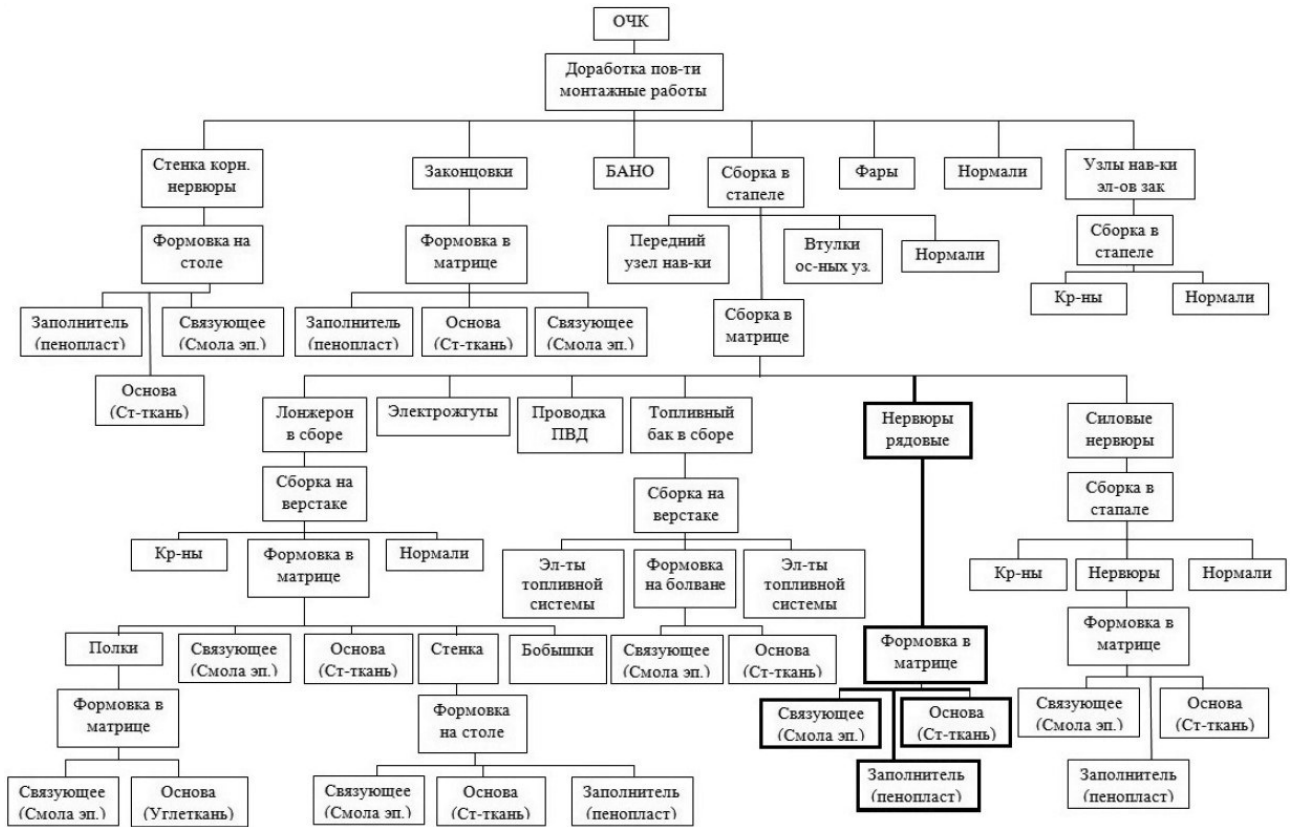


Рисунок 3.2 – Схема складання ВЧК легкого літака

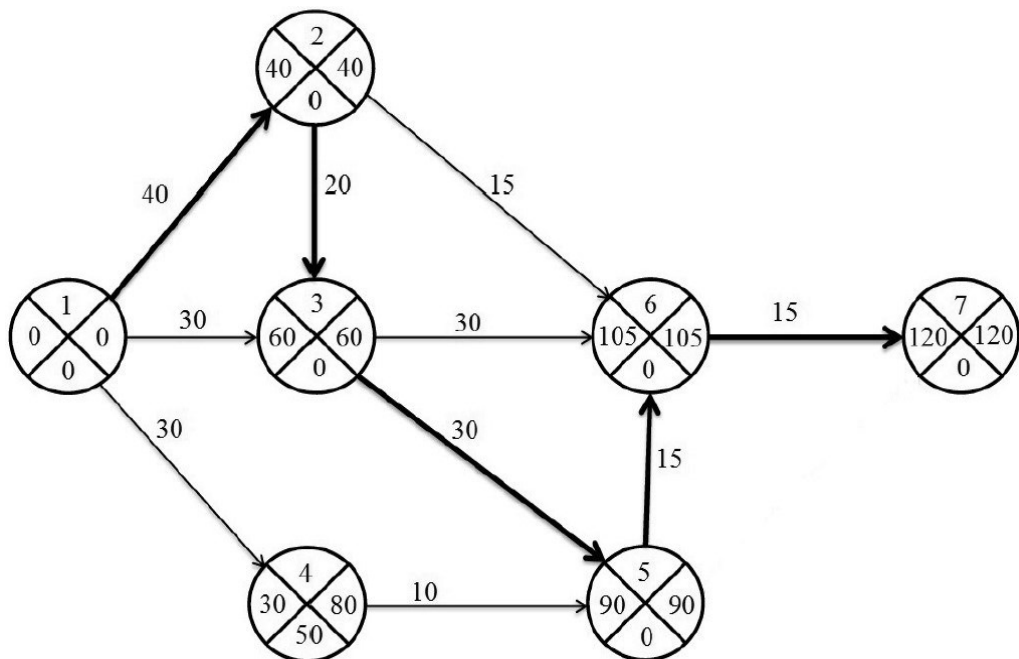


Рисунок 3.3 – Орієнтований граф складання рядової нервюри

Таблиця 3.2 – Події орієнтованого графа складання рядової нервюри

Подія ( $i$ )	$X(i)$	$Y(i)$	$R(i)$
1	0'	0'	0'
2	40'	40'	0'
3	60'	60'	0'
4	30'	80'	50'
5	90'	90'	0'
6	105'	105'	0'
7	120'	120'	0'

В таблиці 3.3 до робіт ( $ij$ ) орієнтованого графа віднесено:

- 1-2 підготовка сполучного;
- 1-3 підготовка склотканини;
- 1-4 підготовка армуючого (пінопласту);
- 2-3 просочення склотканини;
- 2-6 просочування другого шару склотканини;
- 3-5 укладання першого шару;
- 3-6 укладання в матриці склотканини;
- 4-5 укладання пінопласту;
- 5-6 укладання в матриці пінопласту;
- 6-7 вакуумування.

Чутливості ранніх та пізніх термінів здійснення подій орієнтованого граф, сформовані відповідно до рівнянь (3.1), (3.2), представлені у вигляді наступних матриць  $\alpha$ ,  $\beta$ :

– матриця чутливості ранніх термінів здійснення подій

$$\alpha = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 0 & 1 & 1 & 1 & t(1,2) \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & t(1,3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & t(1,4) \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & t(2,3) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & t(2,6) \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & t(3,5) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & t(3,6) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & t(4,5) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & t(5,6) \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & t(6,7) \end{pmatrix} \quad (3.6)$$

– матриця чутливості пізніх термінів події

$$\beta = \begin{pmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{pmatrix} \begin{matrix} t(1,2) \\ t(1,3) \\ t(1,4) \\ t(2,3) \\ t(2,6) \\ t(3,5) \\ t(3,6) \\ t(4,5) \\ t(5,6) \\ t(6,7) \end{matrix} \quad (3.7)$$

Таблиця 3.3 – Розрахунок параметрів орієнтованого графа

Робота (i-j)	$t(i,j)$	$X^n(i,j)$	$X^o(i,j)$	$Y^n(i,j)$	$Y^o(i,j)$	$R(i,j)$	$R^1(i,j)$	$R^2(i,j)$	$R_c(i,j)$
1-2	40'	0'	40'	40'	0'	0'	0'	0'	0'
1-3	30'	0'	60'	60'	30'	30'	30'	30'	30'
1-4	30'	0'	30'	80'	50'	50'	50'	0'	0'
2-3	20'	40'	60'	60'	40'	0'	0'	0'	0'
2-6	15'	40'	55'	105'	90'	50'	50'	50'	50'
3-5	30'	60'	90'	90'	60'	0'	0'	0'	0'
3-6	30'	60'	90'	100'	75'	15'	15'	15'	15'
4-5	10'	30'	40'	90'	80'	50'	50'	50'	0'
5-6	15'	90'	105'	105'	75'	0'	0'	0'	0'
6-7	15'	105'	120'	120'	105'	0'	0'	0'	0'

Сформована таблиця параметрів та матриці чутливості ранніх та пізніх термінів орієнтованого графа дозволяє науково, оперативно обґрунтувати прийняті управлінські рішення щодо всіх проміжних та кінцевих термінів виконання замовлення на виробництво літака.

### 3.3 Розроблення нових технологій виробництва легких літаків

Одним з найбільш важливих факторів розвитку вітчизняних промислових підприємств є підвищення конкурентоспроможності їх продукції на внутрішньому і зовнішньому ринках. Конкурентна перевага може бути досягнута за рахунок зниження витрат на проектування і виробництво продукції, або шляхом розроблення і виведення на ринок виробів, що перевершують існуючі аналоги за функціональними та іншими показниками. Таким чином, розроблення та впровадження нових виробничих технологій стає однією з умов отримання конкурентоспроможних виробів. Розвиток технологій йде паралельно з процесом розроблення нових матеріалів з керованими властивостями, що

дозволяють отримувати вироби, які максимально повно відповідають заданим технічним вимогам. Крім того, поява нових технологій вимагає перегляду існуючих підходів до проектування, оскільки веде до зміни критеріїв оцінки технологічності конструкції виробу.

В останні роки найбільший розвиток отримали технології переробки композиційних матеріалів на основі термопластичних зв'язуючих і адитивні технології. Крім того, постійно вдосконалюються технології лиття пластмас під тиском: розробляються та впроваджуються технології лиття полімерних деталей із заставними елементами, лиття з газом, багатокомпонентного лиття, мікроінжекційного лиття та ін.

Однією з найбільш помітних тенденцій є постійне зростання обсягів застосування КМ для виготовлення виробів високотехнологічних галузей, таких як літако- і вертольотобудування, двигунобудування, приладобудування, автомобілебудування та іншої техніки. Наприклад, у 2015 році компанією Airbus Helicopters було розроблено та запущено у серійне виробництво фітинг для навісу дверей Airbus A350-900, виконаний з поліефірефіркетону, армованого вуглецевим волокном. Виріб виготовляється литтям під тиском. Загальний вигляд фітингу показано на рисунку 3.4. Повідомляється, що перехід до використання КМ та технології лиття під тиском дозволив скоротити витрати виробництва та зменшити масу виробу на 40 % [9]. Про аналогічні результати [10] повідомляє компанія Denroy Plastics Ltd, виробник компонентів для Bombardier.



Рисунок 3.4 – Фітинг для навішування двері Airbus A350-900

Технології автоматизованої викладки стрічок (ATL) та волокон (AFP) є одним з основних методів отримання великогабаритних деталей АТ з КМ. Використання багатокоординатних промислових роботів дозволяє отримувати

вироби складної форми, зокрема, елементи силових конструкцій авіаційних та космічних апаратів. В даний час дана технологія розвивається у напрямку інтеграції пристроїв позиціонування та розмірного оброблення виробів [11–13]. Технології ATL і AFP можна віднести до адитивних технологій, оскільки передбачають послідовне пошарове додавання матеріалу.

Застосування адитивних технологій при виробництві виробів АТ донедавна обмежувалося виготовленням моделей та прототипів на ранніх етапах розробки для грубої оцінки аеродинамічних характеристик [14]. З розвитком технології селективного лазерного спікання (SLS) стало можливим отримання кінцевих виробів АТ [15] з металевих порошків.

Для розглянутих технологій характерна наявність тісного взаємозв'язку між властивостями кінцевого виробу та параметрами ТП його виготовлення. З іншого боку, в ході проєктування конструкції виробу необхідно враховувати як анізотропію властивостей матеріалу, що виникає під дією технологічних факторів, так і технологічні обмеження, пов'язані з вибраним методом виробництва.

Поширеним способом оцінки взаємного впливу конструкції виробу, технології його виготовлення та властивостей матеріалу є застосування комп'ютерного моделювання на всіх етапах розроблення нового виробу, включаючи конструювання виробу, вибір технології його виготовлення, вибір складу та мікроструктури матеріалу, перевірочний розрахунок конструкції на статичну та динамічну міцність.

### **Лиття під тиском термопластичних композиційних матеріалів**

Лиття під тиском є поширеним способом виготовлення деталей із полімерних матеріалів. Для цієї технології характерна висока продуктивність ТП, тому вона знаходить широке застосування в умовах великосерійного та масового виробництва. Крім того, сучасні дослідження [16] показують, що за умови застосування принципів групової технології, використання уніфікованих переналагоджуваних ливарних форм і формоутворювальних деталей, виготовлених за допомогою адитивних технологій, технології лиття під тиском можуть ефективно застосовуватись і в умовах дрібносерійного виробництва.

Важливою особливістю технології є можливість модифікації властивостей полімерного матеріалу за рахунок введення до складу дисперсного або волокнистого наповнювача. Вироби з ПКМ, виготовлені методом лиття під тиском, мають достатній ресурс за міцністю для роботи під дією статичних і динамічних механічних навантажень. Завдяки вдалому поєднанню міцнісних



характеристики і порівняно малої маси виробу з ПКМ знаходять широке застосування в різних галузях промисловості.

При виготовленні деталей методом лиття під тиском спостерігається вплив параметрів ТП на функціональні властивості готового виробу, який виражається у формуванні мікроструктури матеріалу в ході його виготовлення. Під мікроструктурою матеріалу в даному випадку розуміється розмір, форма, орієнтація та концентрація армуючих частинок або волокон у кожній точці виробу. Як наслідок, для визначення технологічних режимів, що забезпечують отримання необхідних функціональних властивостей, і для опису властивостей ПКМ і виробу в цілому потрібно вирішити задачу моделювання процесів формування локальної мікроструктури матеріалу.

Для вирішення цього завдання використовуються системи інженерного аналізу та комп'ютерного моделювання (наприклад, Moldex3D (CoreTech System, Тайвань)), розрахункові модулі яких ґрунтуються на моделі Фольгара-Такера, RSC-моделі та інших підходах. Як вихідні дані для імітаційного моделювання виступають відомості про масову або об'ємну частку армуючих компонентів у матеріалі, термомеханічні властивості матеріалу армуючих компонентів, реологічні та термомеханічні властивості матеріалу сполучного, технологічні режими лиття під тиском (температура розплаву, тиск витримки), конфігурація літникової системи та положення місць упорскування [16]. Результатом моделювання є дані про орієнтацію армуючих волокон у кожній точці виробу, розподіл температур у конструкції, величину залишкових напружень, наявність пор у матеріалі, наявність та положення зон спаю.

Отримані результати використовуються для розрахунку усереднених характеристик ПКМ та побудови нелінійної моделі матеріалу, що достовірно описує його поведінку в кожній точці виробу залежно від параметрів мікроструктури матеріалу в цій точці. Розрахунок здійснюється з використанням спеціального програмного забезпечення, призначеного для вирішення задач мікромеханіки КМ (Digimat (e-Xsteam engineering, Бельгія)). Потім отримана модель матеріалу використовується в системах структурного аналізу (MSC Nastran (MSC Software, США), ANSYS (ANSYS, США), SIMULIA (Dassault Systems, Франція) та ін.) для розрахунку досліджуваної конструкції на статичну, динамічну або втомну міцність.

В роботах зарубіжних авторів [17, 18] наводяться результати розрахунків міцності виробів із КМ, одержані з використанням описаного підходу, а також результати натурних випробувань. Показано гарну збіжність результатів моделювання та експерименту, що свідчить про ефективність описаного методу.

## **Автоматизоване вкладання стрічок (ATL) з використанням роботизованих комплексів**

Метод автоматизованого вкладання стрічок (ATL) з використанням роботизованих комплексів застосовується для виготовлення виробів з ПКМ з шаруватою структурою та заданою орієнтацією волокон у шарі.

Для вибору складу ПКМ, розробки схеми армування та аналізу міжшарових і міжфазних взаємодій використовують методи численного визначення локальних властивостей гетерогенного матеріалу на основі даних освоєння окремих його компонентів. Ці методи реалізовані в програмному комплексі Digimat (e-Xstream engineering, Бельгія), в модулях Digimat-FE (Finite Element) та Digimat-MF (Mean Field).

При виконанні перевірочних розрахунків міцності конструкції, що виготовляється методом автоматизованого викладання, слід враховувати анізотропію властивостей, що виникає при розміщенні шарів композитної стрічки. Моделювання процесу викладення матеріалу та аналіз локальної мікроструктури матеріалу реалізується за допомогою спеціалізованих модулів САЕ-системи автономних систем моделювання, таких як Fibersim (Siemens, Німеччина), Patran Laminate Modeler (MSC Software, США) тощо.

На основі рекомендованих режимів переробки використовуваного матеріалу підбираються параметри ТП: сила натягнення стрічки, температура в області контакту стрічки з оснащенням, зусилля притискання стрічки до оснастки та інші параметри технологічної системи, такі як теплопровідність матеріалу оснастки, на яку викладається стрічка матеріалу. Отже, на етапі ТПВ виникає необхідність у моделюванні теплових процесів, характерних для технології ATL, що може бути реалізовано у програмних комплексах MSC. Nastran (MSC Software, США), ANSYS (ANSYS, США), SIMULIA (Dassault Systems, Франція) та ін.

Залежно від необхідної схеми армування формується траєкторія викладання стрічки на оснащення, яка визначає траєкторію руху викладочної голівки та її орієнтацію щодо оснастки. Проектування траєкторії оброблення здійснюється з використанням програмного забезпечення, що постачається розробником промислового робота-маніпулятора, або з використанням універсальних систем програмування промислового обладнання DELMIA 3D EXPERIENCE (Dassault Systems, Франція) та ін.

Таким чином, на всіх етапах проектування та ТПВ використовуються системи чисельного моделювання, що дозволяє вирішувати пов'язані завдання функціонального, конструкторського та технологічного проектування.

## Адитивні технології

Адитивні технології характеризуються рядом переваг у порівнянні з традиційними методами отримання деталей: можливістю виготовлення виробів довільно складної форми, ефективністю використання дорогої сировини, відсутністю необхідності розроблення та виготовлення технологічного оснащення при виробництві одиничних виробів. Проте комерційне використання адитивних технологій пов'язані з низкою складнощів, які можна розділити втричі групи: пов'язані з проектуванням виробів, прогнозуванням властивостей матеріалів і забезпеченням надійності ТП.

При проектуванні виробів для адитивних технологій з'являється можливість виходити з функціонального призначення виробу, тобто використовуватиме для проектування методи топологічної оптимізації [19]. При визначенні цільової функції та критерії оптимізації необхідно виявити і врахувати технологічні особливості та обмеження обраної технології виробництва виробу. Методи топологічної оптимізації реалізовані в програмних пакетах OptiStruct (Altair Engineering, США), SIMULIA Tosca (Dassault Systems, Франція), ANSYS Mechanical (ANSYS, США), MSC.Nastran (MSC Software, США) та ін. Можливість застосування методів топологічної оптимізації при проектуванні виробів АТ показано в [20].

Додатковим способом зменшення маси конструкції є вибір геометрії та щільності внутрішнього заповнення виробу [21]. При цьому постає завдання оптимізації форми елементів внутрішньої структури, яка може бути вирішена за рахунок створення тривимірних моделей представницьких обсягів матеріалу. Практичний інтерес представляє створення внутрішнього заповнення з однорідною щільністю в залежності від навантаження тих чи інших областей деталі. Необхідні розрахункові методи реалізовані у програмних комплексах Abaqus 2016 RVE Plug-In (Dassault Systems, Франція) та SIMULIA Tosca (Dassault Systems, Франція).

Поведінка готового виробу багато в чому визначається тими змінами, які відбуваються в матеріалі в процесі виготовлення. Так, при використанні SLS, SLM та інших технологій в ході виготовлення виробу кожна його область піддається складному циклу теплових навантажень, що включають швидке локальне нагрівання та охолодження, а також постійне нагрівання та охолодження при нанесенні суміжних обсягів матеріалу. Це призводить до формування складної мікроструктури матеріалу і викликає анізотропію його властивостей [22, 23]. Таким чином, виникає потреба в розробленні методів прогнозування мікроструктури створення математичних моделей матеріалів, які можуть бути використані при виконанні розрахунків конструкції на статичну та динамічну міцність.

Отримання придатних деталей, що відповідають вимогам щодо

геометричної точності та механічної міцності, пов'язане з рядом труднощів, обумовлених технічними особливостями процесу адитивного формоутворення. Теплові явища в процесі виготовлення деталі призводять до виникнення залишкового напруження, здатного викликати виникнення тріщин і руйнування виробу, а також відхилення його форми при охолодженні. Для побудови імітаційних моделей адитивних ТП, що дозволяють прогнозувати напружено-деформований стан деталі після її виготовлення, використовується технологія активації/деактивації елементів кінцево-елементної сітки. Послідовна активація елементів здійснюється відповідно до інформації про траєкторію руху нагрівального елемента або екструдера, яку отримують з машинного коду. При цьому істотною складністю становить опис граничних умов процесу теплопередачі, оскільки в процесі формоутворення відбувається постійна зміна конфігурації поверхні, з якої відбувається перенесення тепла конвекцією або випромінюванням. Необхідні функціональні можливості мають програмний комплекс Abaqus AM Plug-In (Dassault Systems, Франція).

Ряд технологій, включаючи технологію пошарового наплавлення (FDM), вимагають використання підтримок. У зв'язку з цим виникають завдання, пов'язані з вибором найбільш раціональної структури підтримок, оцінкою впливу підтримок на теплові процеси при виготовленні виробу, визначенням реакції конструкції на видалення системи підтримок, що виражається у зміні її напруженого стану. Для вирішення цих завдань використовуються алгоритми топологічної оптимізації і метод поелементного додавання/видалення матеріалу.

Таким чином, застосування технологій комп'ютерного моделювання на різних етапах ЖЦВ дозволяє проєктувати та виготовляти вироби, що відповідають вимогам щодо міцності, жорсткості та стійкості до зовнішніх впливів, з урахуванням технологічних особливостей процесів адитивного формоутворення. За рахунок цього з'являється можливість розглядати адитивні технології як один спосіб виготовлення повнофункціональних деталей з металів і полімерів, придатних для роботи у складі інженерних конструкцій.

### **Висновки по розділу 3**

1. Сформульовано та розглянуто напрямки удосконалення виробництва легких літаків: застосування прогресивних технологічних методів та процесів; автоматизація виробництва; використання інформаційних технологій; удосконалення нормативно-технологічної документації; використання передових досягнень у сфері організації виробництва.

2. Розглянуто моделі і методи розрахунку часу виробництва легких літаків: моделі розрахунку параметрів і аналізу чутливості орієнтованого графу з прикладом складання нервюри крила літака.

3. Сформована таблиця параметрів та матриці чутливості ранніх та пізніх

термінів орієнтованого графа дозволяє науково, оперативно обґрунтувати прийняті управлінські рішення щодо всіх проміжних та кінцевих термінів виконання замовлення на виробництво літака.

4. Надано аналіз застосування систем чисельного моделювання для вирішення завдань проєктування та технологічної підготовки виробництва легких літаків: лиття під тиском термопластичних композиційних матеріалів; автоматизоване вкладання стрічок (ATL) з використанням роботизованих комплексів; адитивні технології.

**РОЗДІЛ 4 МОДЕЛЮВАННЯ РИНКОВИХ ПОКАЗНИКІВ  
ЛЕГКИХ ЛІТАКІВ**

## 4.1 Вступ

Світову транспортну систему утворюють всі шляхи сполучення, транспортні підприємства та транспортні засоби. На світовому транспорті працює понад 100 млн. чоловік. Щорічно всіма видами транспорту перевозиться понад 140 млрд. тонн вантажів та понад 1 трлн. пасажирів. Світові вантажні та транспортні перевезення географічно розподілені дуже нерівномірно. Транспорт економічно розвинених країн відрізняється високим рівнем та взаємодією різних підгалузей. У країнах, що розвиваються, транспорт – це відстаюча галузь економіки.

Транспортні послуги найбільше широко представлені на ринку будь-якої країни, в тому числі і на світовому ринку. Динаміка їх зміни має яскраво виражену тенденцію до зростання як загалом у світі, так і в окремих найбільш розвинених та густонаселених регіонах та країнах. Аналіз даних обсягів перевезень вантажів та пасажирів [24] дозволяє зробити висновок про те, що світові перевезення вантажів, по-перше, мають загальну тенденцію до зростання, про що ми вже зазначали вище; по-друге, мають неоднорідну структуру з різних видів транспортних засобів, по-третє, наочно демонструють певне відставання України від загальних тенденцій на світовому ринку транспортних послуг. Особливе місце у структурі перевезень належить авіації та, зокрема, малої авіації [25, 26].

Практика світового авіабудування показує, що успішна робота виробника АТ на ринку вимагає постійного вдосконалення діяльності, пов'язаної з безперервним покращенням якості та підвищення рівня конкурентоспроможності своєї продукції. Вирішення цієї проблеми, у першу чергу, пов'язане з ефективністю конструкторських рішень, що приймаються; з модернізацією конструкції виробів; удосконаленням виробничих процесів і технологією виготовлення. Здійснення перерахованих заходів потребує великих капіталовкладень та тимчасових ресурсів. Це підвищує економічний ризик для виробника авіатехніки, що зв'язано з небезпекою зазнати великих збитків, якщо продукція не буде мати достатній попит, тобто матиме невисокий рівень конкурентоспроможності на ринку.

Найбільш перспективним рішенням зниження зазначеного ризику є попередня кількісна оцінка рівня конкурентоспроможності на початкових етапах ЖЦВ. Оцінку рівня конкурентоспроможності доцільно проводити при розробленні технічного завдання, що передбачено нормативною документацією, яка встановлює порядок розроблення та постановки продукції виробництва. На даному етапі розглядається, як правило, ряд схемних варіантів та виконується

відбір допустимих конструктивних рішень. В даний час такий аналіз проводить сам розробник АТ, приймаючи остаточні рішення, виходячи з власного досвіду, використовуючи різні засоби моделювання, функціонального аналізу, дані випробувань та інші побажання всіх зацікавлених сторін, зокрема й споживачів. Залучення останніх до вищезазначеного аналізу існуючими методами практично неможливе через його специфіку та складність сприйняття. Таким чином, актуальним завданням є розробка нових методів оцінки рівня конкурентоспроможності на стадії проєктування, що дають змогу виробнику (з урахуванням вимог споживача) приймати ефективні конструкторські рішення.

При створенні нових літаків необхідно спиратися на довготривалі прогнози кон'юнктури ринку та фінансової ситуації, умов застосування, технічного рівня тощо. Літак повинен не тільки мати раціональну конструкцію, а й бути «стійким» до помилок прогнозування вихідних даних, які є одним з джерел невизначеності та неоднозначності оцінки ефективності споживчих якостей літака на всіх етапах розробки.

#### 4.2 Оцінки рівня конкурентоспроможності легких літаків

Літаки АЗП є специфічний сегмент транспортного ринку й у зв'язку виникає потреба у розробленні спеціальних методів і методичних підходів до оцінки рівня конкурентоспроможності цього товару [27, 28].

Класична формула оцінки рівня конкурентоспроможності  $Y_k$  будь-якого товару, яка з достатнім ступенем успішності використовується більшістю виробників та споживачів машинобудівної продукції [28], має такий вигляд:

$$Y_k = \lambda \cdot J_{\text{тп}} + \beta \cdot J_{\text{еп}} + \gamma \cdot J_{\text{рп}}, \quad (4.1)$$

де  $J_{\text{тп}}$  – індекс конкурентоспроможності за технічними параметрами;

$J_{\text{еп}}$  – індекс конкурентоспроможності за економічними параметрами;

$J_{\text{рп}}$  – індекс конкурентоспроможності за ринковими (маркетинговими) параметрами;

$\lambda$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$  – вагомість, відповідно, технічних, економічних та ринкових параметрів даного виробу (при цьому обов'язково має дотримуватися рівняння  $\lambda + \beta + \gamma = 1$ ).

Формула (4.1) за своєю ідеологією розрахована при наступних припущеннях (особливостях):

1) товар з досить великим рівнем попиту, який можуть виготовляти з приблизно однаковими технічними показниками досить велика кількість підприємств, які є необхідність порівнювати і ранжувати;



2) формула не враховує специфічні особливості товару, а звертає увагу лише на найважливіші технічні, економічні та ринкові (маркетингові) характеристики товару;

3) у ряді випадків зазначені в залежності (4.1) характеристики товару не є вичерпними та виникає необхідність їх розширення та доповнення іншими, не менш важливими для конкретного товару характеристиками;

4) суттєво можуть відрізнятися і методи розрахунку окремих складових рівню конкурентоспроможності товару.

Саме під такі особливості, вказані вище, і підпадає такий специфічний товар, як АЗП. Тут не спостерігається масовий чи багатосерійний характер виробництва (ємність ринку за окремими видами товару дуже невелика); кількість виробників обмежена досить вузьким переліком; є досить багато специфічних характеристик товару, на які виробники, продавці, покупці та споживачі традиційних товарів практично не звертають уваги (умови зльоту та посадки, фактори безпеки експлуатації, поведінки товару у форс-мажорних умовах, пристосованість техніки до екологічних факторів, показники запуску та зупинки тощо).

На відміну від традиційного підходу до оцінки рівня конкурентоспроможності товару для АЗП більш прийнятними є такі пропозиції, які більшою мірою враховують особливості та специфіку виробництва, продажу та особливо експлуатації цього виду товару:

$$Y_k^{AZP} = \lambda_k \cdot J_{TP}^{AZP} + \beta_k \cdot J_{EP}^{AZP} + \gamma_k \cdot J_{RP}^{AZP} + \varphi_k \cdot J_{OP}^{AZP} + \psi_k \cdot J_{BP}^{AZP}, \quad (4.2)$$

де  $Y_k^{AZP}$  – рівень конкурентоспроможності об'єктів АЗП;

$J_{TP}^{AZP}$  – індекс конкурентоспроможності об'єктів АЗП за технічними параметрами;

$J_{EP}^{AZP}$  – індекс конкурентоспроможності об'єктів АЗП за економічними параметрами;

$J_{RP}^{AZP}$  – індекс конкурентоспроможності об'єктів АЗП за ринковими (маркетинговими) параметрами;

$J_{OP}^{AZP}$  – індекс конкурентоспроможності об'єктів АЗП за особливими (специфічними) параметрами;

$J_{BP}^{AZP}$  – індекс конкурентоспроможності об'єктів АЗП за параметрами безпеки;

$\lambda_k, \beta_k, \gamma_k, \varphi_k, \psi_k$  – вагомість, відповідно, технічних, економічних, ринкових (маркетингових), особливих (специфічних) параметрів та параметрів безпеки експлуатації даного виробу (при цьому обов'язково має дотримуватися рівняння  $\lambda_k + \beta_k + \gamma_k + \varphi_k + \psi_k = 1$ ).

Пропонована модель (4.2) вимагає своєї розшифровки та пояснень щодо розрахунку окремих її складових стосовно особливостей та специфіки об'єктів АЗП. Розглянемо цю посилку докладніше, ілюструючи виклад аналітичного матеріалу практичними прикладами.

Спочатку охарактеризуємо загальний підхід до розрахунків окремих складових конкурентоспроможності. На мій погляд, широко застосовуваний підхід до визначення складових конкурентоспроможності товару – формула (4.1), заснований на виявленні кращого зразка з кола розглянутих і щодо нього розраховувати поодинокі та групові показники конкурентоспроможності, в даному випадку не буде повністю адекватним, оскільки практично у кожного з розглянутих різновидів об'єктів АЗП будуть ексклюзивні характеристики, будуть свої найкращі і гірші параметри і виділити з ряду об'єктів АЗП, що розглядаються, найкращий зразок технічно є досить складним і тут буде присутня досить велика частка суб'єктивізму. Як мені видається, усунути цей недолік можна за допомогою використання характеристичних показників середньозваженого характеру, тобто пропонується за базу порівняння брати не найкращий з наявних зразків, а середньозважену характеристику даного параметра серед усіх присутніх (пропонованих до продажу або проданих за певний період) ринку об'єктів АЗП у цьому класі виробів.

Розглянемо практичну реалізацію пропонованого підходу стосовно об'єктів АЗП. Визначення значень індексу конкурентоспроможності об'єктів АЗП за технічними параметрами  $J_{\text{ТП}}^{\text{АЗП}}$  пропонується проводити з використанням наступної залежності:

$$J_{\text{ТП}}^{\text{АЗП}} = \lambda_{\text{ТП}} \cdot I_{\text{потуж}} + \beta_{\text{ТП}} \cdot I_{\text{рес}} + \gamma_{\text{ТП}} \cdot I_{\text{ваг}} + \varphi_{\text{ТП}} \cdot I_{\text{рем}} + \\ + \psi_{\text{ТП}} \cdot I_{\text{дальн}} + \sigma_{\text{ТП}} \cdot I_{\text{вис}}, \quad (4.3)$$

де  $I_{\text{потуж}}$  – індекс потужності даного виду об'єкта АЗП;

$I_{\text{рес}}$  – індекс ресурсу даного виду об'єкта АЗП;

$I_{\text{ваг}}$  – індекс ваги даного виду об'єкта АЗП;

$I_{\text{рем}}$  – індекс ремонтпридатності даного виду об'єкта АЗП;

$I_{\text{дальн}}$  – індекс дальності польоту даного виду об'єкта АЗП з одноразовим заправленням паливом;

$I_{\text{вис}}$  – індекс максимальної висоти польоту даного виду об'єкта АЗП за проектними умовами експлуатації;

$\lambda_{\text{ТП}}$ ,  $\beta_{\text{ТП}}$ ,  $\gamma_{\text{ТП}}$ ,  $\varphi_{\text{ТП}}$ ,  $\psi_{\text{ТП}}$ ,  $\sigma_{\text{ТП}}$  – коефіцієнти вагомості відповідно до індексів потужності, ресурсу, ваги, ремонтпридатності, дальності польоту на одній заправці, максимальної висоти польоту (при цьому обов'язково має

дотримуватися рівняння  $\lambda_{\text{тп}} + \beta_{\text{тп}} + \gamma_{\text{тп}} + \varphi_{\text{тп}} + \psi_{\text{тп}} + \sigma_{\text{тп}} = 1$ .

У свою чергу визначення складових залежності (4.3) пропонується проводити наступним чином.

Індекс потужності даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника)  $I_{\text{потуж}}^i$ , конкуруючого на ринку

$$I_{\text{потуж}}^i = \frac{P_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot P_i / \sum_{i=1}^{i=n} N_i} = \frac{P_i \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot P_i}, \quad (4.4)$$

де  $P_i$  – номінальна потужність робочого двигуна даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника);

$N_i$  – обсяг продажу (пропозиції) даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника);

$n$  – кількість виробників (постачальників, продавців), представлених своїми виробами на ринку даного виду об'єкта АЗП.

Індекс ресурсу даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника)  $I_{\text{рес}}^i$ , конкуруючого на ринку

$$I_{\text{рес}}^i = \frac{R_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot R_i / \sum_{i=1}^{i=n} N_i} = \frac{R_i \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot R_i}, \quad (4.5)$$

де  $R_i$  – ресурс роботи даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника) за годинами або кілометрами польоту.

Індекс ваги даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника)  $I_{\text{ваг}}^i$ , конкуруючого на ринку

$$I_{\text{ваг}}^i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot G_i / \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{G_i} = \frac{G_i \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot G_i}, \quad (4.6)$$

де  $G_i$  – вага (маса) даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника) за годинами або кілометрами польоту.

Індекс ремонтпридатності даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника)  $I_{\text{рем}}^i$ , конкуруючого на ринку

$$I_{\text{рем}}^i = \frac{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot t_i^{\text{зам}} / \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{t_i^{\text{зам}}} = \frac{t_i^{\text{зам}} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot t_i^{\text{зам}}}, \quad (4.7)$$

де  $t_i^{\text{зам}}$  – загальний час заміни всіх основних деталей та вузлів даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника).

Індекс дальності польоту даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника)  $I_{\text{дальн}}^i$ , конкуруючого на ринку, з одноразовим заправленням паливом бака літака

$$I_{\text{дальн}}^i = \frac{D_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot D_i / \sum_{i=1}^{i=n} N_i} = \frac{D_i \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot D_i}, \quad (4.8)$$

де  $D_i$  – дальність польоту при експлуатації даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника) з одноразовим заправленням паливом бака літака.

Індекс максимальної висоти польоту даного виду об'єкта АЗП за проектними умовами експлуатації  $i$ -го виробника (продавця, постачальника)  $I_{\text{вис}}^i$ , конкуруючого на ринку

$$I_{\text{вис}}^i = \frac{B_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot B_i / \sum_{i=1}^{i=n} N_i} = \frac{B_i \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot B_i}, \quad (4.9)$$

де  $B_i$  – максимальна висота польоту даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника) за проектних умов експлуатації.

При формулюванні залежностей (4.4–4.9) виходили з тих посилок, що найкращим є потужніший вид об'єкта АЗП, що має більший ресурс роботи, меншу вагу, менший час заміни всіх основних деталей та вузлів, що пролітає більшу відстань з одноразовою заправкою і має можливість піднятися на більшу висоту. Від цих посилок багато в чому залежить вид і конструкції розрахункових формул (4.4–4.9) одиничних індексів конкурентоспроможності групового індексу конкурентоспроможності даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника).

З урахуванням отриманих формул (4.4–4.9) залежність (4.3) визначення групового індексу конкурентоспроможності даного виду об'єкта АЗП  $i$ -го виробника (продавця, постачальника)  $J_{\text{ТП}}^i$  тепер набуває наступного вигляду:

$$J_{\text{ТП}}^i = \lambda_{\text{ТП}} \cdot \frac{P_i \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot P_i} + \beta_{\text{ТП}} \cdot \frac{R_i \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot R_i} + \gamma_{\text{ТП}} \cdot \frac{G_i \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot G_i} + \varphi_{\text{ТП}} \cdot \frac{t_i^{\text{зам}} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot t_i^{\text{зам}}} + \\ + \psi_{\text{ТП}} \cdot \frac{D_i \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot D_i} + \sigma_{\text{ТП}} \cdot \frac{B_i \cdot \sum_{i=1}^{i=n} N_i}{\sum_{i=1}^{i=n} N_i \cdot B_i}, \quad (4.10)$$

Інші складові конкурентоспроможності нових ЛА АЗП визначаються аналогічним чином, максимально враховуючи особливості та специфіку цього товару.

#### Висновки по розділу 4

1. Наведено результати дослідження ринку транспортних послуг АЗП.
2. Показано важливість і необхідність розвитку даного ринку, розширення номенклатури та асортименту товарів, які представлені на ньому.
3. Запропоновано оригінальну методику оцінки рівня конкурентоспроможності нових ЛА, у якій використовуються специфічні особливості даних товарів.

## СПИСОК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Технологія виробництва літальних апаратів: Підручник: У 2 кн. – Кн. 2 Технологія складання літальних апаратів / Ю. М. Терещенко, Л. Г. Волянська, К. А. Животовська та ін.; За ред. Ю. М. Терещенка. – К.: Книжкове вид-во НАУ, 2006. – 492 с.
2. Шейнин В. М. Роль модификацій в розвитку авіаційної техніки [Текст] / В. М. Шейнин, В. М. Макаров. – М.: Наука. – 1983. – 226 с.
3. Lukaszewicz J. Philosophische Bemerkungen zu Mehrwertigen Systemen des Aussagenkalkuels // Comptes Rendus Sieances Societe des Sciences et Lettres Varsovie. 1930. cl. III. 23.51 – 77.
4. Mohammad H. Sadraey. AIRCRAFT DESIGN. A Systems Engineering Approach. John Wiley & Sons. 2013.
5. Roskam J. Lessons Learned in Aircraft Design, DAR Corporation. 2007.
6. Anderson, John David. Aircraft performance and design. Tata McGraw-Hill. Fifth reprint 2012.
7. Переваги нисходящого проектування на прикладі використання Pro/ENGINEER WILDFIRE [Електронний ресурс]. URL: <http://www.sapr.ru/article.aspx?id=14915&iid=707> (дата звернення: 02.05.2024).
8. Розроблення цифрової моделі літака та проектних конструкторських документів стадії «Технічний проект» на двомісний легкий літак первинної підготовки : звіт про НТР (проміжний) : ДЗ / 146 – 2023 / Міністерство освіти і науки України ; Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т» ; наук. керівник Ю. Воробйов ; викон.: Ю. Воробйов, А. Гуменний, О. Гребеніков, К. Майорова, Д. Брега, Л. Буйвал, О. Кривобок, А. Лоленко, О. Тюрін, О. Соколов, О. Алексєєв, О. Матвеєнко, Г. Рябікова. – Харків, 2023. – 204 с.
9. Ready for take-off: Doors on the A350 with a primary structural component made from Victrex polymer [Електронний ресурс] URL: <https://www.victrex.com/ru/news/2015/09/airbus-bracket> (дата звернення: 02.05.2024).
10. New bracket technology specified for use on Bombardier platforms driving down fuel and manufacturing costs [Електронний ресурс] URL: <https://www.victrex.com/ru/news/2015/06/denroy-brackets> (дата звернення: 02.05.2024).
11. Lindbäck J. E., Björnsson A., Johansen K. New Automated Composite Manufacturing Process: Is it possible to find a cost effective manufacturing method with the use of robotic equipment? // The 5<sup>th</sup> International Swedish Production Symposium 6<sup>th</sup>-8<sup>th</sup> of November 2012 Linköping, Sweden. 2012. С. 523–531.

12. Jeffries, K., Enhanced Robotic Automated Fiber Placement with Accurate Robot Technology and Modular Fiber Placement Head, SAE Int. J. Aerosp. 6(2) 2013.
13. Wells D., Walker A. Integrating Ultrasonic Cutting with High-Accuracy Robotic Automatic Fiber Placement for Production Flexibility // Proc. Society for the Advancement of Material and Process Engineering (SAMPE) Annual Conference and Exhibition. – 2014.
14. Vashishtha V. K., Makade R., Mehla N. Advancement of rapid prototyping in aerospace industry a review // International Journal of Engineering Science and Technology (IJEST). 2011. Т. 3. №. 3. С. 2486–2493.
15. Rokicki P. et al. Manufacturing of aircraft engine transmission gear with SLS (DMLS) method // Aircraft Engineering and Aerospace Technology. 2016. Т. 88. №. 3.
16. Яблочников Е. И., Грибовский А. А., Пирогов А. В. Эффективность применения аддитивных технологий для изготовления литьевых форм и при подготовке производства изделий из термопластичных полимерных материалов // Металлообработка. 2013. № 5–6 (77–78). С. 74–80.
17. Kattamuri C. S., Seyfarth J., Assaker R. Taking into Account Glass Fiber Reinforcement in Polymer Materials: The Nonlinear Description of Anisotropic Materials // SAE Technical Paper, 2011. №. 2011-26-0057.
18. Landervik M., Jergeus J. Digimat Material Model for Short Fiber Reinforced Plastics at Volvo Car Corporation // European LS-DYNA Conference. Würzburg, Germany. 2015.
19. Tang, Y., et al., A framework to reduce product environmental impact through design optimization for additive manufacturing, Journal of Cleaner Production [Электронный ресурс]. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.jclepro.2016.06.037> (дата звернения: 07.06.2024).
20. Васильев Б. Е., Магеррамова Л. А. Анализ возможности применения топологической оптимизации при проектировании неохлаждаемых рабочих лопаток турбин // Вестник Самарского государственного аэрокосмического ун-та им. академика С. П. Королева (национального исследовательского университета). 2015. Т. 14. №. 3–1.
21. Iyibilgin O., Yigit C., Leu M. C. Experimental investigation of different cellular lattice structures manufactured by fused deposition modeling // Proceedings of the 24th International Solid Freedom Fabrication Symposium on Additive Manufacturing. 2013. С. 12–14.
22. Ponche R, Kerbrat O, Mognol P, Hascoet JY (2014) A novel methodology of design for Additive manufacturing applied to additive laser manufacturing process. Robot Comput Integr Manuf 30(4):389–398. doi:10.1016/j.rcim.2013.12.001

23. Herzog D., Seyda V., Wycisk E., Emmelmann C., Additive manufacturing of metals, *Acta Materialia*, Volume 117, 15 September 2016, Pages 371-392, ISSN 1359-6454. [Електронний ресурс]. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.actamat.2016.07.019> (дата звернення: 07.06.2024).
24. Веб-сайт Держкомстату України [Електронний ресурс]. URL: <http://www.ukrstat.gov.ua> (дата звернення: 07.06.2024).
25. Веб-сайт Держкомстату Росії [Електронний ресурс]. URL: [http://www.gks.ru/bgd/free/B03\\_66/IsrPrx.dll/Stg/d010/i010050.htm](http://www.gks.ru/bgd/free/B03_66/IsrPrx.dll/Stg/d010/i010050.htm) (дата звернення: 07.06.2024).
26. Інформаційне агентство Російська авіація і космонавтика [Електронний ресурс]. URL:<http://www.avia.ru> (дата звернення: 07.06.2024).
27. Калитко А., Кухар А. Новые горизонты «Лилиентала» // Авиация общего назначения. – 2004. – №7. – С. 32–38.
28. Kotler F. *Fundamentals of Marketing* / F. Kotler, G. Armstrong. – 5<sup>th</sup> ed. – К. : Dialectics, 2020. – 880 p.
29. Современные технологии агрегатно-сборочного производства самолетов : монография / А. И. Пекарш, Ю. М. Тарасов, Г. А. Кривов, А. Г. Громашев, В. А. Матвиенко, Г. В. Грубич, В. Н. Быченко, Б. Н. Марьин, Ю. А. Воробьев, В. Ф. Кузьмин, В. А. Резников. – М. : Аграф-пресс, 2006. – 304 с.
30. Liker, J.K. and David Meier, *Toyota Talent: Developing People the Toyota Way*, McGraw-Hill, 2007 (2007 get Abstract Top Ten English Business Books, Financial Times Germany).
31. Воробйов, Ю. А. Правила оформлення навчальних і науково-дослідних документів [Текст] : навч. посіб. / Ю. А. Воробйов, Ю. О. Сисоєв. – 4-те вид., випр. і доп. – Харків : Нац. аерокосм. ун-т ім. М. Є. Жуковського «Харків. авіац. ін-т», 2019. – 88 с.