

ХАРКІВСЬКИЙ ОРДЕНА ЛЕНІНА АВІАЦІЙНИЙ ІНСТИТУТ
імені М.С.Жуковського

На правах рукопису

Колов Олег Михайлович

ТЕХНОЛОГІЯ І ЗАСОБИ ВИЗНАЧЕННЯ
ГЕОМЕТРИЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОСТОРОВИХ ВИРОБІВ
АВІАЦІЙНОГО ВИРОБНИЦТВА

Спеціальність 05.07.04 – Технологія виробництва
літальних апаратів

А В Т О Р Е Ф Е Р А Т
дисертації на здобуття наукового ступеня
кандидата технічних наук

Харків 1993

7/13 28.063

Робота виконана в Харківському ордену Леніна авіаційному інституті ім. М.С.Жуковського на кафедрі технології літакобудування.

Науковий керівник - кандидат технічних наук,
доцент БОБОРИКІН Д.А.

Офіційні опоненти - академік,
доктор технічних наук
БАБУШКІН А.І.
доктор технічних наук
ЛАХНО В.І.

Ведуче підприємство - Харківське авіаційне
промислове об'єднання

Захист відбудеться 8 жовтня 1993 року о 12 годині
на засіданні спеціалізованої ради Д 053.14.02 при Харківському
ордену Леніна авіаційному інституті ім. М.С.Жуковського за
адресою: ЗІ0070, м. Харків-70, вул. Чкалова, 17, ХАІ.

З дисертацією можна ознайомитись в бібліотеці ХАІ.
Автореферат відісланий 7 вересня 1993 р.

Вчений секретар
спеціалізованої ради
кандидат технічних наук,
професор

Г.І. Корнізов

ЛНБ України ім.В.Стефаніка



00802308 (L)

ЛНБ ім. В. Стефаніка
АН України

ЗАГАЛЬНА ХАРАКТЕРИСТИКА РОБОТИ

Актуальність роботи. Сучасний розвиток авіаційної галузі викликає необхідність застосування прогресивних технологічних процесів і засобів їх оснащення. Розглядаючи літальний апарат /ЛА/ в усіх його конструктивно-технологічних і функціональних проявах, слід відмітити підвищену значущість геометричних засобів, і, перш за все, форми його поверхні для забезпечення показників якості і ефективності виробу в цілому. Реалізація вимог до форми зовнішньої поверхні в процесі виробництва ЛА – складний і трудомісткий процес, однією з найважливіших проблем якого є можливість оперативного отримання геометричної інформації для своєчасного виявлення технологічних відхилень форми і керування технологічним процесом.

Методи і засоби виробничого контролю агрегатів ЛА, які застосовуються в даний час, серед яких контроль шаблонами і з допомогою контрольно-вимірювальних машин, не відповідають вимогам сучасного виробництва, є трудомісткими, неуніверсальними, обмеженими щодо габаритів об'єктів контролю, вимагають переривання процесу виготовлення та великих втрат. Аналіз специфіки об'єктів виробництва і особливостей виробничого контролю форми дозволяє сформулювати основні вимоги до засобів контролю зовнішньої поверхні ЛА. Розгляд з урахуванням цих вимог прогресивних методів і засобів контролю форми, в тому числі і безконтактних, а також сучасний стан елементної бази, визначили в якості перспективного лазерно-триангуляційний метод контролю форми.

Незважаючи на досить добру вивченість триангуляційних методів виміру, використання їх принципів для контролю форми агрегатів ЛА потребували значного об'єму додаткових досліджень прикладного характеру з урахуванням конкретних вимог авіаційного

виробництва.

Метод даної роботи є:

- в науковій галузі - встановлення і дослідження факторів, які визначають раціональну побудову технологічного процесу, визначення геометрії об'єктів авіаційного виробництва лазерно-триангуляційним методом і відповідних їм математичних моделей.

- в практичній галузі - визначення структури засобів оперативного контролю форми і геометричних параметрів об'єктів виробництва, розроблення технології виміру та установаження переважної галузі застосування.

Досягнення вказаної мети здійснюється в результаті:

- визначення функціональних вимог до системи виробничого контролю форми агрегатів планера ЛА;
- розроблення загальних принципів і можливих схем виміру;
- розроблення математичного забезпечення методу виміру з урахуванням особливостей авіаційного виробництва;
- дослідження основних особливостей, які визначають ефективність його використання;
- створення пристрою для контролю форми;
- розроблення технології виробничого контролю і практичних рекомендацій;
- апробації методу та засобів контролю форми агрегатів в умовах виробництва.

Методи дослідження. В роботі використані основні класичної теорії точності засобів виміру і основ триангуляції. Аналіз і розв'язок задач вимірів і відповідних нелінійних рівнянь вимагали застосування методів Ньютона і Крамера. Розв'язок поставлених задач здійснювався як аналітичними так і чисельними методами з використанням

ЕОМ. Розгляд процесу вимірювання форми зовнішньої поверхні планера ЛА і виробничих факторів, які визначають його якість, здійснювався на основі принципів системного підходу.

Наукова новизна роботи полягає у визначенні впливу конструкторської об'єкту і виробничих факторів на функціональні вимоги до системи контролю, у визначенні залежностей для координат виміркових точок поверхні агрегатів і порівняння їх з заданими математичною моделлю, а також допустимих меж виміру параметрів системи контролю.

Практична значущість роботи полягає у розробці рекомендацій і одержаних результатах, які включають:

- умови застосування і найкращі варіанти структури системи контролю і відповідні їм технологічні схеми визначення і контролю координат точок поверхні ЛА;

- методику і пакети прикладних програм для забезпечення функціонування системи контролю;

- технології визначення параметрів форми агрегатів ЛА при їх виробництві.

На захист вноситься розроблення принципів лазерно-триангуляційного методу контролю форми агрегатів ЛА при їх виробництві, і створення на їх основі технології і засобів одержання оперативної геометричної інформації для керування процесом виготовлення виробів є актуальним завданням дослідження.

Реалізація в промисловості. Розроблені засоби і технологія виміру, програмне забезпечення системи контролю реалізовані на БО "Сатурн" /м. Тернопіль/. Основні результати роботи були передані для використання в Українській НДАТ Річний економічний ефект від впровадження роботи склав 90 тис. крб. в цінах 1990 року.

Апробація роботи. Основні результати роботи доповідались на 3-х науково-технічних конференціях ХАІ в 1987-1989 рр. /м. Харків/, науково-технічній раді НДАТ, 1987-1988 рр. /м. Москва/, конференції Тернопільського інституту приладобудування, 1993 р., Тернопільського конструкторського бюро дослідних робіт /ТКБДР/, 1993 р.

Публікації. По темі дисертації було опубліковано 3 роботи. По підсумках досліджень, які сприяли досягненню поставленої в роботі мети, було одержано 3 авторських свідоцтва на винаходи.

Об'єм роботи. Дисертація складається із вступу, чотирьох розділів, основних висновків і заключення. Об'єм дисертаційної роботи включає 114 сторінок машинописного тексту, 38 малюнків, 12 таблиць. Список використаної літератури складається з 124 найменувань.

ЗМІСТ РОБОТИ

У вступі обгрунтована актуальність теми, сформульовані завдання, продемонстровані новизна та практична цінність досліджень.

В першому розділі роботи розглядається значущість точності форми зовнішньої поверхні для підвищення технічного рівня сучасних ЛА, забезпечення їх конкурентоспроможності і високої експлуатаційної, зокрема паливної, ефективності, необхідність створення оперативних засобів контролю форм агрегатів ЛА на всіх стадіях виробництва.

Прагнення до зниження аеродинамічного опору ЛА визначило в літакобудуванні загальну тенденцію до більшого обмеження допусків щодо відхилення зовнішньої поверхні, котра знайшла своє відображення в прийнятих ОСТ І.02507-84 "Літаки дозвукові. Вимоги до якості зовнішньої поверхні" і аналогічними ОСТ

I.02581-86 для маневрувальних літаків. Їх основою було обмеження опору на рівні краєвих світових досягнень. Аналіз стану проблеми забезпечення аеродинамічної форми агрегатів планера ДА в сучасному літакобудуванні показав, що одним із шляхів реалізації високих вимог до точності форми зовнішньої поверхні агрегатів ДА є використання ефективних систем виробничого контролю, які дозволяють одержати об'єктивну інформацію про якість об'єкта, котрий вимірюється, і котрі дають можливість керувати технологічним процесом. Існуючі методи і засоби контролю форми просторових об'єктів не забезпечують повного і об'єктивного контролю геометричних параметрів агрегатів планера ДА, в спеціальних, в тому мають велику номенклатуру і вимагають великих витрат на їх виготовлення. Аналіз перспективних методів і засобів одержання інформації про форму і якість зовнішньої поверхні, а також можливості використання сучасної елементної бази, оптико-когерентної і обчислювальної техніки визначають в якості перспективної лазерно-триангуляційну контрольовану вимірвальну систему. Автоматизація процесу вимірювання і контролю забезпечує в даній системі реалізацію заданих вимог, а також розширення функціональних можливостей для інших галузей машинобудування.

У другому розділі наводяться результати теоретичних досліджень, які мають мету забезпечення технологічного процесу контролю і функціонування контрольованої системи.

В основі методу безконтактного вимірювання координат криволінійних поверхонь є принцип триангуляції. Для координатних вимірювань великогабаритних просторових об'єктів складної форми методи триангуляції досліджені недостатньо, що викликало необхідність розроблення математичного забезпечення з урахуванням специфіки процесу. Суть методу полягає у визначенні радіус -

вектора по відомим параметрам оптичного трикутника, утвореного базовим вимірвальним пристроєм і двома променями: оптичними вісями джерела і приймача випромінювання. Відповідно до даного методу розглядаються різноманітні схеми реалізації вимірвальних систем, які відрізняються побудовою оптичного трикутника, розглянуті їх особливості, вибрана найбільш раціональна система вимірювання.

Вибір схеми орієнтований на функціональні можливості системи, яка реалізує технологію авіаційного виробництва:

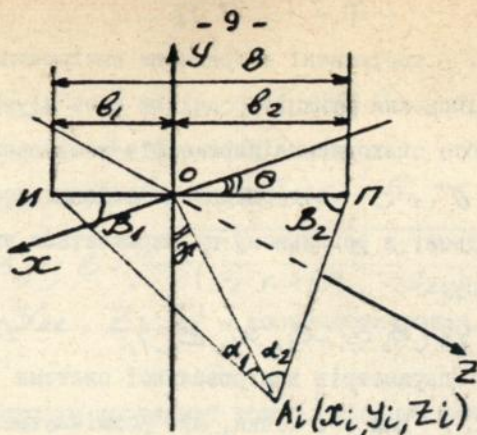
- вимірювання координат точок поверхні;
- контролю координат точок, заданих розміткою на поверхні;
- контролю фактичних координат точок, заданих математичною моделлю;
- розмітки точок поверхні.

Для одержання математичних моделей, які передбачають можливі варіанти окремих розв'язок використовується узагальнена схема вимірювання відповідно до мал. I.

В основі методу, який розглядається, лежить непряме вимірювання форми, тобто для його реалізації необхідне визначення функціональної залежності координат вимірюваних точок від вихідних параметрів системи вимірювання і одержаної первинної інформації вимірвальних датчиків. Відповідно до прийнятої схеми вимірювання /мал. I/ в якості вихідної інформації приймають такі параметри:

- величина бази пристрою B ;
- зміщення центру обертання B_1 /чи B_2 /;
- значення кутів зведення оптичних вісей β_1 і β_2 ;
- значення кута нахилу площини оптичного трикутника γ ;
- величина азимутального кута θ .

Перших два параметри визначені конструктивним розв'язком і є



Мал. I

постійними для визначення системи вимірювання, значення кутів β_1, β_2, δ і θ визначаються відповідно до показників первинних кутівимірвальних датчиків.

Таким чином, задача вимірювання форми поверхні з математичної точки зору зводиться до визначення функціональних залежностей:

$$\begin{aligned} X_i &= f_1(b, b_1, \beta_{1i}, \beta_{2i}, \delta_i, \theta_i) \\ Y_i &= f_2(b, b_1, \beta_{1i}, \beta_{2i}, \delta_i, \theta_i) \\ Z_i &= f_3(b, b_1, \beta_{1i}, \beta_{2i}, \delta_i, \theta_i), \end{aligned} \quad |1|$$

де i - номер вимірюваної точки.

Зазначена задача є базовою для реалізації інших функціональних можливостей системи вимірювання. Задача контролю форми зводиться до визначення відхилень фактичних координат вимірюваної точки від теоретично заданих:

$$\begin{aligned} \Delta X &= X - X_T \\ \Delta Y &= Y - Y_T \\ \Delta Z &= Z - Z_T, \end{aligned} \quad |2|$$

де x_T, y_T, z_T - теоретичні координати вимірюваної точки. У випадку здійснення функції розмітки розв'язується зворотня задача, тобто знаходження параметрів вимірювального пристрою B_1, B_2, δ, θ відповідно до заданих координат точки, яка розмічається; в загальному це виражається узагальненою залежністю типу:

$$P_{ki} = \varphi_k(B, B_1, x_i, y_i, z_i), \quad /3/$$

де P_{ki} - один з "к"-параметрів вимірювальної системи $/B_1, B_2, \delta, \theta/$ для i -ї точки, яка розмічається.

На основі вище викладеного в роботі було визначено коло необхідних математичних задач, розв'язок котрих дозволить здійснити всі функції контрольно-вимірювальної системи, яка розглядається. До даних задач відносяться:

- побудова математичних моделей $/1/$ і $/3/$;
- розроблення математичних моделей для ув'язки систем координат;
- визначення необхідних умов для ув'язки систем координат.

З метою спрощення і базуючись на реальній практиці і умовам виконання вимірювань був прийнятий ряд припущень.

1-е припущення: база пристрою B розміщена в площині

XOZ ;

2-е припущення: вісі y пристрою $/ПСК/$ і літакової системи координат $/ЛСК/$ є паралельними і направлені в одну сторону.

Налі, виходячи із прийнятих вихідних положень і припущень, пропонується математичний розв'язок по кожній із викладених вище функцій контрольно-вимірювальної системи.

Для задачі вимірювання координат точок поверхні із розв'язку функціональних залежностей $/1/$ впливає:

$$X_{Ai} = A \cdot B \sin \delta_i \cos \theta_i \quad 14/$$

$$Y_{Ai} = A \cdot B \cdot \cos \delta_i$$

$$Z_{Ai} = A \cdot B \sin \delta_i \sin \theta_i,$$

де

$$A = B_1 \sin \beta_{1i}; \quad B = \sqrt{1 + \left(\frac{B \sin \beta_{2i}}{B_1 \sin(\beta_{1i} + \beta_{2i}) \sin \beta_{1i}} - \operatorname{ctg} \beta_{1i} \right)^2}$$

$|X_{Ai}, Y_{Ai}, Z_{Ai}|$ - координати точки, яка вимірюється A_i .

Процес контролю координат точок, заданих розміткою, визначається нелінійною системою із 3-х рівнянь з 3-ма невідомими.

Після розв'язку її методом Ньютона:

$$\Delta X_i = X_{ci} - X_{Ti} = X_c \cos \varphi - Z_c \sin \varphi + X_0 - X_{Ti}$$

$$\Delta Y_i = Y_{ci} - Y_{Ti} = Y_c + Y_0 - Y_{Ti} \quad 15/$$

$$\Delta Z_i = Z_{ci} - Z_{Ti} = Z_c \cos \varphi + X_c \sin \varphi + Z_0 - Z_{Ti},$$

де $|X_T, Y_T, Z_T|_i$ - теоретичне значення координат i -ї контрольованої точки в ДК,

$|X_c, Y_c, Z_c|_i$ - фактичні значення координат i -ї контрольованої точки в ДК.

Задача розмітки, як вказувалось, являє собою задачу знаходження параметрів вимірвальної системи B_1, B_2, δ і θ за заданими координатами розміченої точки і зводиться до визначення функціональних залежностей:

$$B_{1i} = U_1(B, \theta, X_i, Y_i, Z_i)$$

$$B_{2i} = U_2(B, \theta, X_i, Y_i, Z_i) \quad 16/$$

$$\delta_i = U_3(B, \theta, X_i, Y_i, Z_i)$$

$$\theta_i = U_4(B, \theta, X_i, Y_i, Z_i),$$

де X_i, Y_i, Z_i - координати i -ї розміченої точки /див.

13/1.

В результаті розв'язку одержано:

$$\begin{aligned} \beta_{1i} &= \arccos \left(\frac{|IAI|^2 + |I\Pi|^2 + |I\Lambda|^2}{2 \cdot |IAI| \cdot |I\Pi|} \right) \\ \beta_{2i} &= \arccos \left(\frac{|I\Lambda|^2 + |I\Pi|^2 + |IAI|^2}{2 \cdot |I\Lambda| \cdot |I\Pi|} \right) \\ \gamma_i &= \arccos \left(\frac{\sqrt{x_{Ai}^2 + z_{Ai}^2}}{y_{Ai}} \right), \end{aligned} \quad (7)$$

де $\theta_i = \arccos \left(\frac{z_{Ai}}{x_{Ai}} \right)$.

$$|IAI| = \sqrt{(x_A - x_{\Pi})^2 + (y_A + y_{\Pi})^2 + (z_A - z_{\Pi})^2}$$

$$|I\Pi| = B$$

$$|I\Lambda| = \sqrt{(x_A - x_{\Pi})^2 + (y_A - y_{\Pi})^2 + (z_A - z_{\Pi})^2}$$

визначаються з трикутника IAP /мал. I/.

Одержані залежності /4/, /5/, /7/ мають трансцендентний характер, складні для обчислювання, у зв'язку з чим переведені на програмний рівень для використання комп'ютерної техніки і автоматизації процесу вимірювання.

Розглянуті також окремі випадки функціональних можливостей системи, коли конструктивно задані $\beta_1 = \beta/2$ і $\beta_1 = 90^\circ$ /мал. I/.

В третьому розділі викладені результати досліджень по забезпеченню точносних характеристик і визначені вимоги до структурних елементів вимірювального пристрою, конкретизація розв'язків для лазерно-триангуляційного вимірювання форм агрегатів ЛА.

При створенні вимірювального пристрою, який реалізує розроблені алгоритми, використані такі основні принципи:

- можливість вимірювання будь-якої точки в просторі;
- необхідність забезпечення площини оптичного трикутника, тобто оптичні вісі джерела вимірювання, приймача і база повинні завжди знаходитись в одній площині;

- однозначне наведення на точку /цілевказівка/;
- можливість ув"язки положення пристрою з нівелювальним

положенням виробу;

- можливість автоматизації процесу.

Попередній аналіз порядку виконання вимірювань і контролю визначили структуру вимірювальної системи /мал. 2/, основними елементами котрої є:

- ДВ - джерело вимірювання, яке служить для візуалізації і позначення вимірювальної точки на поверхні;

- ОС - оптична система, яка формує сфокусований спрямований промінь від ДВ;

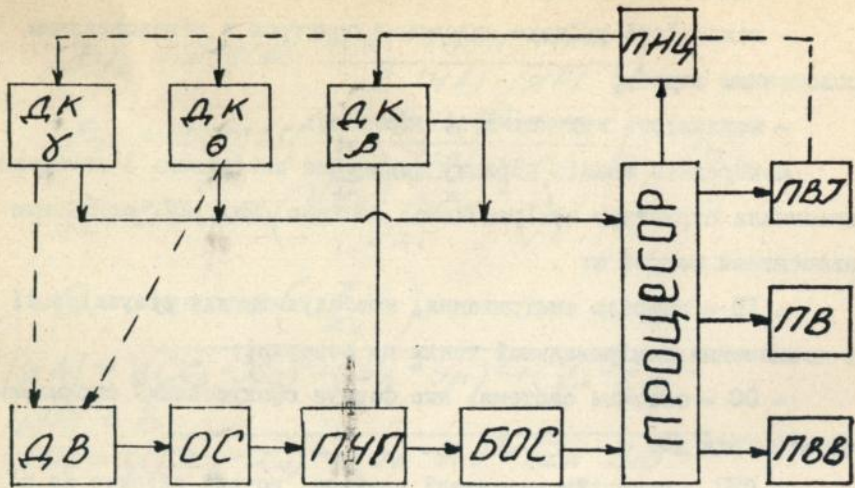
- ПЧП - позиційно-чутливий приймач, котрий слідує за положенням вимірюваної точки в просторі і однозначно задає параметри оптичного трикутника при збігу його оптичної вісі з вимірюваною точкою;

- БОС - блок обробки сигналу, який забезпечує перетворення відеосигналу, його підсилення, фільтрацію відповідно до необхідних характеристик для сполучення з процесором або керуючою ЕОМ;

- процесор - по заданому алгоритму і програмному забезпеченню виконує обробку одержаного вимірювального сигналу, формує результати виміру, керуючу інформацію, вводить корекцію для виконавчих органів наведення;

- ПВІ - пристрій відображення інформації, котрий при необхідності забезпечує можливість документування, візуалізації контролю за процесом вимірювання, участь оператора на різних стадіях, зокрема для введення цілевказівки та ін.;

- ПЦП - пристрій наведення і цілевказівки, який дозволяє однозначно задавати вимірювану точку і скоректувати напрямок оптичних вісей ДВ і ПЧП відповідно до керуючої інформації



Мал. 2

процесора або оператора;

- ДК - датчики кута, який визначають величину кутів β , δ і θ і формують первинну вимірвальну інформацію;
- ПВВ, ПВ - пристрій введення і виведення відповідно, які дозволяють задати вихідні дані і одержати у відповідному вигляді результати вимірювання і контролю.

Особливості процесу контролю форми агрегатів ЛА лазерно-триангуляційним методом визначають структуру похибки контролю, яка включає в себе такі основні складові:

- похибку вимірювання координат точок поверхні;
- похибку розмітки контрольованих точок або перетину;
- похибку ув'язки координат систем вимірвального пристрою і еталону;
- похибку безпосередньо прийнятого еталону /міри порівняння/.

При дослідженні похибки вимірювання, відповідно до загальноприйнятої класифікації, можна виділити три основні групи:

- похибки методу вимірювання;
- інструментальна похибка;
- випадкові похибки вимірювання.

Встановлено, що найсуттєвіший вплив на формування точності контролю форм ДА мають структурні елементи вимірювального пристрою, зокрема кутовимірювальні датчики, які формують первинну вимірювальну інформацію /кутові величини β, γ, θ /.

Так як метод вимірювання, який розглядається, є побічним, а використані залежності є нелінійними і являють собою трансцендентні функції, то розв'язок даної задачі здійснювався методом припрогування і числовим моделюванням на ЕОМ.

З метою наближення числового експерименту до реальних умов вимірювання моделювання процесу здійснювалось на основі реального аеродинамічного профілю. В якості такого профілю була прийнята математична модель контура крила виробу Ан-124. Експеримент повторювався для значень кутів похибки, яка дорівнювала 10, 30 і 60 кутовим секундам і базі приладу 500, 750, 1000, 1500 мм.

Графічна інтерпретація впливу величин кутів і кутових похибок на кінцеву похибку зображена на мал. 3 і 4.

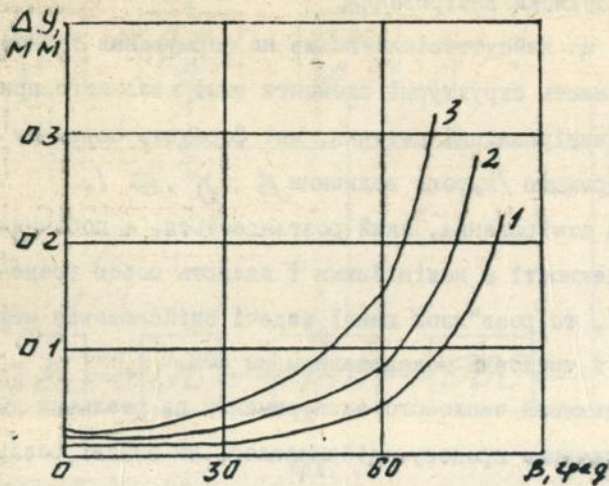
Аналіз одержаних результатів дозволяє зробити висновок про необхідність високоточних кутовимірювальних пристроїв. Наприклад, виходячи з вимог щодо точності вимірювання координат зовнішньої поверхні ДА /ОСТ І.02507-92/ і як випливає із графіків, похибка кутових датчиків не повинна перевищувати 10 кутових секунд. При цій умові забезпечується необхідна точність вимірювального пристрою. По куту β необхідне обмеження діапазону його виміру в межах від 0° до 60° /мал. 4/.

Проведені дослідження дозволили сформулювати вимоги до основних структурних елементів вимірювального пристрою.

До головних відносяться:

- точнісі параметри;

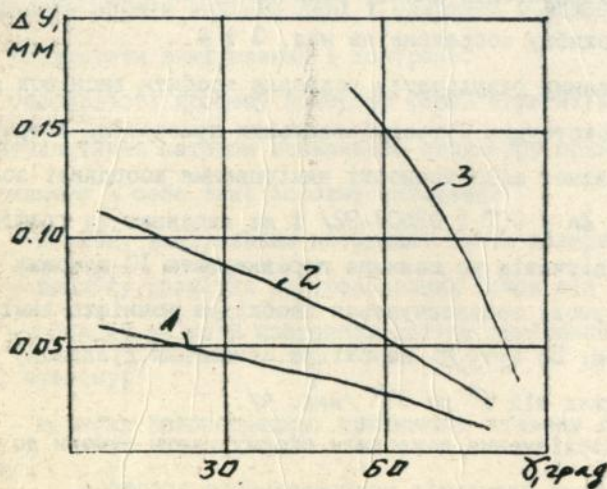
Залежність похибки від величини кута β



1 - $\Delta\beta = 5''$; 2 - $\Delta\beta = 10''$; 3 - $\Delta\beta = 30''$

Мал. 3.

Залежність похибки від величини кута δ



1 - $\Delta\delta = 5''$; 2 - $\Delta\delta = 10''$; 3 - $\Delta\delta = 30''$

Мал. 4.

- доступність, тобто виробляється вітчизняною промисловістю;
- вартісні.

З урахуванням цих вимог встановлено, що серед джерел, які можуть забезпечити необхідну вузьку спрямованість і високу інтенсивність випромінювання для підсвічування і позначення вимірної точки, найбільш припустимими є гелій-неонові лазери, наприклад, типу ЛН-206.

Серед приймачів випромінювання найбільш припустиме камера прикладного телебачення ПТУ "Матриця" на основі ПЗС з числом елементів 288×256 , яка виробляється промисловістю.

В якості кутівимірвальних датчиків можна використовувати електромагнітні ДК типу ВТ-10070, для яких характерні перешкодостійкість і надійність.

Для підтвердження слушності прийнятої концепції був створений макетний зразок, котрий за структурою повністю відповідає викладеним принципам.

В якості структурних елементів були використані лазер ЛН-206Б і високоточні кутові датчики з похибкою 2 кутові секунди на базі теодоліту *Theo-002*.

Лід час експерименту було здійснене вимірювання 2-х поверхонь: плоскої і циліндричної поверхні з радіусом $R = 1500$ мм. Початкове положення пристрою визначалося мінімальною відстанню до поверхні по перпендикуляру до неї, що дорівнював 1000 мм. Для ясності і спільності експерименту по 2-х поверхнях оцінка похибки вимірювання дана в залежності від кута γ /мал. 5./.

В четвертому розділі дисертації викладені підсумки практичної реалізації основних результатів проведеного дослідження і дається оцінка їх ефективності.

Аналіз потреб промисловості обумовив галузі застосування

одержаних основних результатів роботи. Запропонований лазерно-триангуляційний метод вимірювання дозволяє охопити всю різноманітність форм агрегатів ЛА без обмеження в габаритах і кривизні, включаючи поверхні з конструктивними чи технологічними розривами. Істотною перевагою даного методу є можливість контролю на виробничому місці без переривання технологічного процесу. Наприклад, ефективно виконувати роботи по навішуванню агрегатів механізації, виготовленню і контролю об'ємного оснащення, нівелюванню виробу в цілому. Крім авіабудування ефективного використання даного пристрою можливе для задач суднобудування, автомобільної промисловості, при виробництві параболічних антен. В роботі розглянуті конкретні технологічні схеми виконання вказаних робіт.

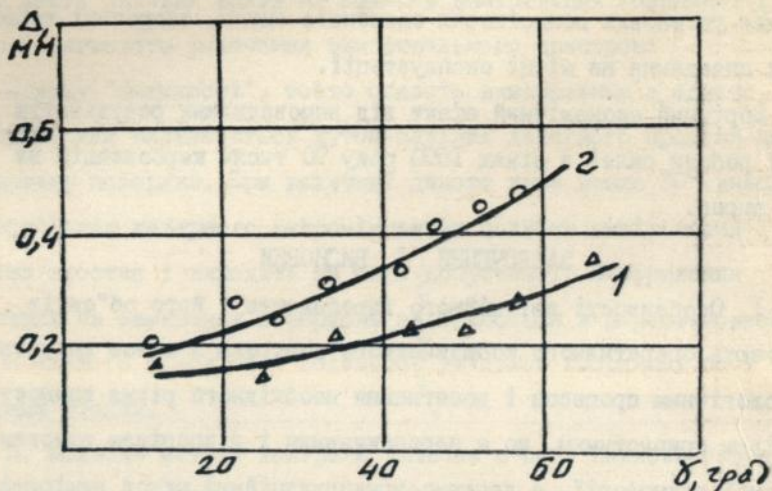
В розділі запропоновані перспективи розвитку результатів роботи. Розглянутий один з таких напрямків – складання авіаційних конструкцій з використанням лазерної системи надання форми агрегатів. Ідеї, закладені в основу даної системи, і пристрій для складання одержали свій розвиток і були оформлені у вигляді авторського свідоцтва на винахідництво.

З метою практичної реалізації основних результатів розроблені конкретні технологія і методика виконання вимірювань і контролю форми агрегатів великих габаритів, запропоновані практичні рекомендації.

Оцінка ефективності основних результатів роботи виконана відповідно до рекомендацій стандартів і прийнятими методиками для авіапромисловості. Виділяються такі основні складові загальної ефективності:

- зниження номенклатури необхідних виробничих шаблонів і відповідних їх виготовленню витрат;
- підвищення продуктивності контролю;

Помилка при вимірюванні еталонних поверхонь
макетним способом вимірювального пристрою



1 - вимірювання плоскої поверхні

2 - вимірювання циліндричної поверхні $R = 1500$ мм

Мал. 5

- можливість одержання оперативної інформації для керування технологічним процесом і, як наслідок цього, своєчасне усунення можливих дефектів;

- підвищення вірогідності контролю, зниження ймовірності браковки придатних виробів;

- зниження виробничих витрат на операції контролю в цілому.

Розроблені математичне і програмне забезпечення, методика виконання вимірювань, рекомендації по виготовленню пристрою і його складових елементів були передані в Український НАІТ для використання в авіаційній промисловості. Реальне впровадження здійснене в Тернопільському виробничому об'єднанні "Сатурн"

для монтажу і контролю параболічних антен діаметром більше 9 метрів. Впровадження вимірювального пристрою дозволило відмовитись від необхідних раніше габаритних і довгомірних шаблонів для установки пелюсткових елементів антен, скорочені терміни їх складання на місці експлуатації.

Щорічний економічний ефект від впровадження результатів даної роботи склав в цінах 1990 року 90 тисяч карбованців на один вироб.

ЗАКЛЮЧЕННЯ І ВИСНОВКИ

1. Особливості авіаційного виробництва і його об'єктів вимагають оперативного координатного контролю з метою керування технологічним процесом і досягнення необхідного рівня точності. Найбільш припустимим, що є перспективним і відповідає вимогам сучасної технології, є лазерно-триангуляційний метод вимірювання.

2. Розроблений математичний опис процесів і програмне забезпечення для практичного використання лазерно-триангуляційного методу вимірювання при розв'язку таких основних виробничих задач:

- вимірювання координат точок поверхні;
- контролю координат точок, заданих розміткою;
- контролю координат точок, заданих математичною моделлю;
- розмітки точок поверхні і візуалізації заданих точок

в просторі.

3. Запропонований лазерно-триангуляційний метод вимірювання дозволяє охопити все різноманіття форм агрегатів ДА без обмеження щодо габаритів і кривизни, включаючи поверхні з конструктивними чи технологічними розривами. Істотною перевагою даного методу є можливість контролю на виробничому місці без переривання технологічного процесу.

4. До основних факторів, які визначають зміст технології процесу і склад вимірвальних засобів, слід віднести:

- форму і габаритні розміри криволінійних поверхонь ЛА, котрі мають значний вплив на похибки вимірювання координат і вибір початкового положення вимірвального пристрою;

- зону "видимості", тобто область вимірювання з одного пристрою, яка визначається кутом падіння лазерного променя на вимірювану поверхню. При величині даного кута менше 30° внаслідок розсіяння лазерного випромінювання похибка вимірювання істотно зростає і виходить за межі допустимої. Вимірювання протяжних чи замкнених поверхонь здійснюється з перестановкою вимірвального пристрою і подальшою ув'язкою координат по реперних точках.

5. Похибка методу контролю включає в себе похибки базування пристрою, ув'язки координатних систем пристрою і виробу розмітки поверхні, режиму контролю і обробки результату. В найбільш несприятливих випадках її величина може досягати 0,2 мм.

6. Дослідження інструментальної похибки показало найбільш істотний вплив на її величину похибок вимірювання кутових значень. Обмеження гранично допустимої похибки вимірювання обумовило необхідність використання кутовимірвальних датчиків, похибка котрих не перевищує 10 кутових секунд.

7. Використання запропонованого лазерно-триангуляційного методу вимірювання і сучасної елементної бази дозволяє автоматизувати процес контролю криволінійних поверхонь в авіабудуванні і створити гнучку оперативну контрольно-вимірвальну виробничу систему. Оцінка продуктивності контролю показала можливість її підвищення в порівнянні з контролем шабаснами в 2-6 раз в різноманітних варіантах використання.

8. Перспективи використання лазерно-триангуляційного методу вимірювання показали можливість його ефективного застосування при навішенні агрегатів механізації, контролі об'ємного оснащення, нівелюванні виробів в цілому і їмш.

Крім авіабудування можливими галузями використання результатів є суднобудування, автомобільна промисловість, виробництво параболічних антен.

9. Одержаний від впровадження на ВО "Сатурн" /м. Тернопіль/, Україна/ результатів дисертаційної роботи економічний ефект склав в цінах 1990 року 90 тисяч карбованців на один вироб.

По темі дисертації опубліковані такі роботи:

1. Колов О.М. Средство для бесконтактного контроля крупногабаритных объектов сложной формы / Харьк. авиац. ин-т. - Харьков, 1992 г. - 8 с. - Деп. в УкрИНТЭИ 30.09.92, № I486 - Ук 92.
2. Колов О.М. Точностные характеристики лазерного триангуляционного метода измерения / Харьк. авиац. ин-т. - Харьков, - 1992. - 15 с. Деп. в УкрИНТЭИ 30.09.92, № I465 - Ук 92.
3. Колов О.М. Опыт разработки и внедрения системы монтажа и сборки параболических антенн на основе лазерного триангуляционного метода / Харьк. авиац. ин-т. - Харьков, - 1992 г. - II с. Деп. в УкрИНТЭИ 30.09.92, № I494 - Ук 92
4. А.с. I633256 СССР, МКИ⁵ G01 B3/24. Способ контроля поверхности объекта / Ю.А.Боборкин, О.М. Колов, И.И. Левицкий /СССР/. - № 4694711/28; Заяв. 16.05.89; Опубл. 07.03.91, Бюл. № 9.
5. А.С. I6I2207 СССР, МКИ⁵ G01 B11/24. Способ контроля контуров криволинейных наружных поверхностей крупногабаритных объектов / Ю.А. Боборкин, С.Г. Васильченко, О.М.Колов

и др. /СССР/. - № 4241861/24-2б; Заяв. 11.05.67; Опубл.
07.12.90, Бюл. № 45.

6. А.С. 1761599 СССР, № 5 Б64 Е5/00. Устройство для сборки /
Д.А. Боборыки, О.М. Колов и др. /СССР/. - № 4692313/23;
Заяв. 16.05.89; Опубл. 15.09.92, Бюл. № 34.

ОМКС

100968

Ав 28.063

Відповідальний за випуск
Пленковський С.І.

Підписано до друку 17.08.93.

Тир. 80 прим.

Віддруковано на ротопринті в
типографії ТУСа

282000, м. Тернопіль, пр. Ст.Бандери, 27