

УДК 629.7

Г. А. Вірченко, Д. Д. Пасічник, А. Й. Незенко

ОСОБЛИВОСТІ НІВЕЛЮВАННЯ ЛІТАКІВ ЗА ДОПОМОГОЮ ЛАЗЕРНОЇ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Вступ

Один із шляхів розв'язання задачі створення конкурентоздатних технічних об'єктів полягає в застосуванні комп'ютерних інформаційних технологій [1]. Удосконалення наявних і пошук нових методів, способів, прийомів та алгоритмів автоматизованого опрацювання авіаційної продукції є актуальною науково-технічною проблемою.

Це відноситься і до нівелювання літака [2], [3]. Зростаючі вимоги до точності вимірювань поверхонь ставлять задачу про нові засоби та методи проведення нівелювання літаків.

Одним з перспективних методів є метод із застосуванням лазерних координатно-вимірювальних систем [4].

На ринку представлено ряд таких координатно-вимірювальних машин, що відповідають сучасним вимогам точності. Для існуючих лазерних координатно-вимірювальних систем, наприклад, типу FARO Laser Tracker [5], методики їх використання для авіаційної техніки не існують.

Постановка задачі

Показати основні можливості та переваги нівелювання з використанням лазерних координатно-вимірювальних систем.

Основний матеріал дослідження

Застосування координатно-вимірювальних машин (КВМ) дозволяє оперативно із достатньою точністю вимірювати геометричні параметри простих і складних об'єктів, включаючи великогабаритні, вимірювання яких традиційними способами вимагає спеціального дорогого оснащення.

Однією з основних особливостей проведення нівелювання за допомогою КВМ є те, що під час вимірювання відбувається опрацювання тривимірних координат точок (контролюються всі три параметри), тоді як при звичайному нівелюванні визначаються проекції контрольних точок на вертикальну або горизонтальну площину (контролюється один параметр

перевищення). За нових умов потрібно вводити систему координат, в якій будуть проводитися всі обчислення. В електронній моделі літака система координат, зазвичай, знаходиться на перетині площини його симетрії та будівельної площини фюзеляжу. Для зручності при проведенні вимірів не обов'язково користуватися цією ж системою. Можна обрати й більш зручнішу. У цьому випадку, після проведення вимірів, проводиться перерахунок отриманих даних у систему координат електронної моделі базової геометрії агрегату планера або всього літака.

Система координат зазвичай визначається на основі даних трьох контрольних (реперних) точок. При обчисленні її параметрів використаємо точки $M_1(x_1, y_1, z_1)$, $M_2(x_2, y_2, z_2)$, $M_3(x_3, y_3, z_3)$ та $M_4(x_4, y_4, z_4)$ горизонтальної площини міделльної частини фюзеляжу. Рівняння будівельної площини фюзеляжу (БПФ), що містить три перші точки, має вигляд

$$\begin{vmatrix} x - x_1 & y - y_1 & z - z_1 \\ x_2 - x_1 & y_2 - y_1 & z_2 - z_1 \\ x_3 - x_1 & y_3 - y_1 & z_3 - z_1 \end{vmatrix} = 0.$$

Обчисливши визначник останнього виразу, отримуємо $A'_1 \cdot x + B'_1 \cdot y + C'_1 \cdot z + D'_1 = 0$. Для переходу до стандартного виду площини розраховуємо коефіцієнт перетворення $K_1 = \sqrt{(A'_1)^2 + (B'_1)^2 + (C'_1)^2}$ та визначаємо її коефіцієнти $A_1 = \frac{A'_1}{K_1}$, $B_1 = \frac{B'_1}{K_1}$, $C_1 = \frac{C'_1}{K_1}$, $D_1 = \frac{D'_1}{K_1}$.

Тоді рівняння БПФ має вигляд

$$A_1 \cdot x + B_1 \cdot y + C_1 \cdot z + D_1 = 0.$$

Знаходимо точки, які лежать посередині між M_1 і M_2 та M_3 і M_4 :

$$M_{12} = \left(\frac{x_1 + x_2}{2}, \frac{y_1 + y_2}{2}, \frac{z_1 + z_2}{2} \right) = (x_{12}; y_{12}; z_{12}),$$

$$M_{34} = \left(\frac{x_3 + x_4}{2}, \frac{y_3 + y_4}{2}, \frac{z_3 + z_4}{2} \right) = (x_{34}; y_{34}; z_{34}).$$

Визначаємо рівняння площини симетрії літака (ПСЛ), яка проходить через точки M_{12} і M_{34} та перпендикулярна до БПФ

$$\begin{vmatrix} x - x_{12} & y - y_{12} & z - z_{12} \\ x_{34} - x_{12} & y_{34} - y_{12} & z_{34} - z_{12} \\ A_1 & B_1 & C_1 \end{vmatrix} = 0.$$

Отримуємо $A'_2 \cdot x + B'_2 \cdot y + C'_2 \cdot z + D'_2 = 0$. Знаходимо коефіцієнт перетворення $K_2 = \sqrt{(A'_2)^2 + (B'_2)^2 + (C'_2)^2}$. Звідси $A_2 = \frac{A'_2}{K_2}$, $B_2 = \frac{B'_2}{K_2}$,

$C_2 = \frac{C'_2}{K_2}$, $D_2 = \frac{D'_2}{K_2}$. Тоді рівняння ПСЛ буде мати вигляд

$$A_2 \cdot x + B_2 \cdot y + C_2 \cdot z + D_2 = 0.$$

Обираємо точку M_{34} початком координат. Тоді параметри нової системи координат (СК) будуть наступними:

$$SK_{new} = \begin{bmatrix} x_{34} & y_{34} & z_{34} \\ A_3 & B_3 & C_3 \\ A_1 & B_1 & C_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 \end{bmatrix}$$

$$\text{де } A_3 = \begin{vmatrix} B_1 & C_1 \\ B_2 & C_2 \end{vmatrix}, B_3 = -1 \cdot \begin{vmatrix} A_1 & C_1 \\ A_2 & C_2 \end{vmatrix}, C_3 = \begin{vmatrix} A_1 & B_1 \\ A_2 & B_2 \end{vmatrix}.$$

Оскільки початок СК літака знаходиться в носі фюзеляжу, тоді параметри початку системи координат будуть наступними:

$$x_0 = x_{34} - A_3 \cdot S_x, \quad y_0 = y_{34} - B_3 \cdot S_x, \quad z_0 = z_{34} - C_3 \cdot S_x,$$

де S_x – зміщення точки M_{34} по осі x відносно початку координат літака.

Остаточні параметри СК літака мають такий вигляд

$$SK_{LA} = \begin{bmatrix} x_0 & y_0 & z_0 \\ A_3 & B_3 & C_3 \\ A_1 & B_1 & C_1 \\ A_2 & B_2 & C_2 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Переведення довільної точки $M_i(x_{cm}, y_{cm}, z_{cm})$ з СК, в якій проводилися виміри КВМ, у СК літака (1) відбуваються згідно з виразами

$$x_n = (x_{cm} - x_0) \cdot A_3 + (y_{cm} - y_0) \cdot B_3 + (z_{cm} - z_0) \cdot C_3,$$

$$y_n = (x_{cm} - x_0) \cdot A_1 + (y_{cm} - y_0) \cdot B_1 + (z_{cm} - z_0) \cdot C_1,$$

$$z_n = (x_{cm} - x_0) \cdot A_2 + (y_{cm} - y_0) \cdot B_2 + (z_{cm} - z_0) \cdot C_2.$$

Отримаємо $M_i(x_n, y_n, z_n)$.

Ця процедура, що називається «математичне вирівнювання», дозволяє не застосовувати механічне вирівнювання. Тобто, однією з переваг зазначеного методу є скасування необхідності виставляння літака рівно в горизонтальній площині.

Для проведення нівелювання використовуються відповідні тривимірні комп'ютерні моделі (рис. 1), які містять реперні точки в СК

агрегату чи літака. Застосування координатно-вимірювальних систем передбачає вибір реперних точок так, щоб кількість переміщень КВМ була найменшою.

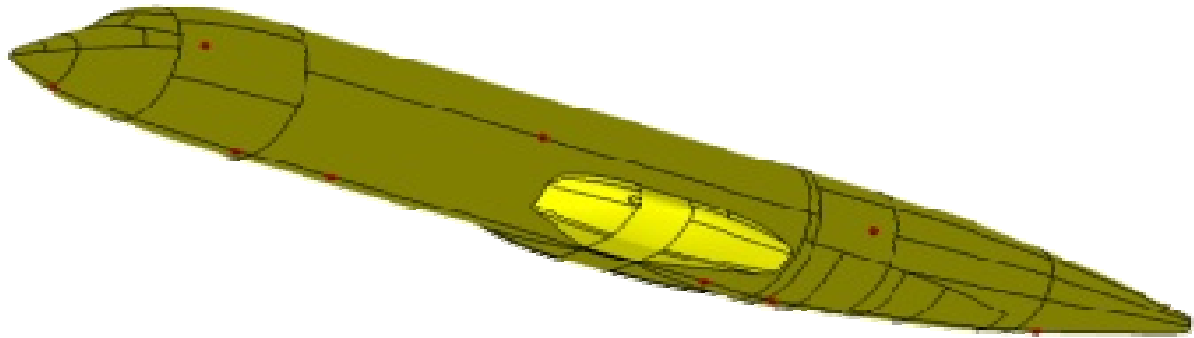


Рис. 1. Комп'ютерна модель нівелювання фюзеляжу літака

Тривимірні електронні моделі значно спрощують контроль форми технічних об'єктів. Зіставлення фактичних координат довільної точки з відповідними координатами електронної моделі дозволяє виконати обчислення будь-яких заданих розмірів і перевірку поверхонь за допомогою КВМ. Отримавши дані про виміряні точки, проводиться порівняння з їх координатами в електронній моделі базової геометрії та визначаються відхилення значень параметрів від заданих.

Ще однією з переваг даного методу є нові можливості аналізу точності геометричних параметрів об'єкту. При визначенні відхилень реперних точок від точок базової геометрії робиться висновок, що відхилення в границях норми й об'єкт можна використовувати, чи, навпаки, відхилення знаходиться за межами норми.

Застосовуючи КВМ, при великих відхиленнях реперних точок від точок базової геометрії проводиться обмір точок агрегату (деталі) та, на основі отриманої «хмари» точок, генерується нова електронна модель фактичної геометрії об'єкта. Після цього проводиться опрацювання нової геометрії щодо можливості її подальшого використання. Для цього здійснюються аеродинамічні дослідження впливу зміненої форми на загальну картину обтікання літака, робляться відповідні висновки:

- значних змін в аеродинамічних характеристиках літака не виявлено, наявну геометрію можна залишити без змін;
- необхідно провести деякі корегування в геометрії літального апарату для відповідності до базової;
- через зміну аеродинамічного обтікання поверхні прийняти до уваги та зазначити деякі перераховані зміни характеристик агрегату в інструкції з льотної експлуатації.

У методиці використання КВМ визначаються способи і прийоми проведення аналізу та отримання висновків щодо форми й розмірів

об'єкта, який має не відповідні до потрібних геометричні параметри. Таким чином, при нівелюванні з'являються нові можливості з застосуванням КВМ щодо:

- виявлення фактичної форми літака після виготовлення або ремонту;
- визначення залишкових деформацій конструкції після випробувань або складних умов експлуатації;
- отримання необхідної інформації для прийняття рішення про можливість подальшої експлуатації літака.

Отже, вимірювання за допомогою КВМ надає наступні переваги:

- *підвищення точності вимірювань:*

Значно спрощується проведення вимірів, зменшується кількість помилок і вплив людського фактору. Проведені експериментальні дослідження показали, що використання лазерної КВМ для нівелювання літака дозволяє досягти підвищення точності до десяти разів у порівнянні з оптичними методами й використанням нівелірів. Завдяки наявності в FARO Laser Tracker автоматичної температурної компенсації, похибки від зовнішнього впливу можна не брати до уваги.

- *зменшення трудомісткості:*

Порівняно з традиційними методами істотно зменшується час виконання вимірювань та їх трудомісткість.

За допомогою «математичного вирівнювання» не вимагається проводити механічне вирівнювання виробу або точної установки літака в горизонтальне положення. При цьому не потрібно окремо визначати вимірювальну систему, а в процесі нівелювання обираємо найвигіднішу систему координат. Тепер завдяки тривимірній системі координат зникла необхідність виконувати проекцію реперних точок на підлогу, а також побудови площини симетрії літака, що в свою чергу призводить до зменшення часу проведення вимірів через зменшення необхідної кількості реперних точок на літаку.

Завдяки підключенню КВМ до керуючого комп'ютера можлива автоматизація обробки отриманих результатів, що зменшує час на прийняття рішень стосовно проведених обмірів.

- *розширення можливостей при нівелюванні літака:*

Важливим є оперативне здійснення аналізу деформацій поверхонь завдяки відтворенню електронної моделі фактичної геометрії літака. Це дає змогу вирішувати питання впливу зазначених деформацій на аеродинамічні характеристики літального апарата та подальше його використання з такими відхиленнями, а також полегшує пошук шляхів щодо корегування поверхонь у відповідності до їх базової геометрії. Приклад використання КВМ у виробничому процесі представлено на рис. 2.

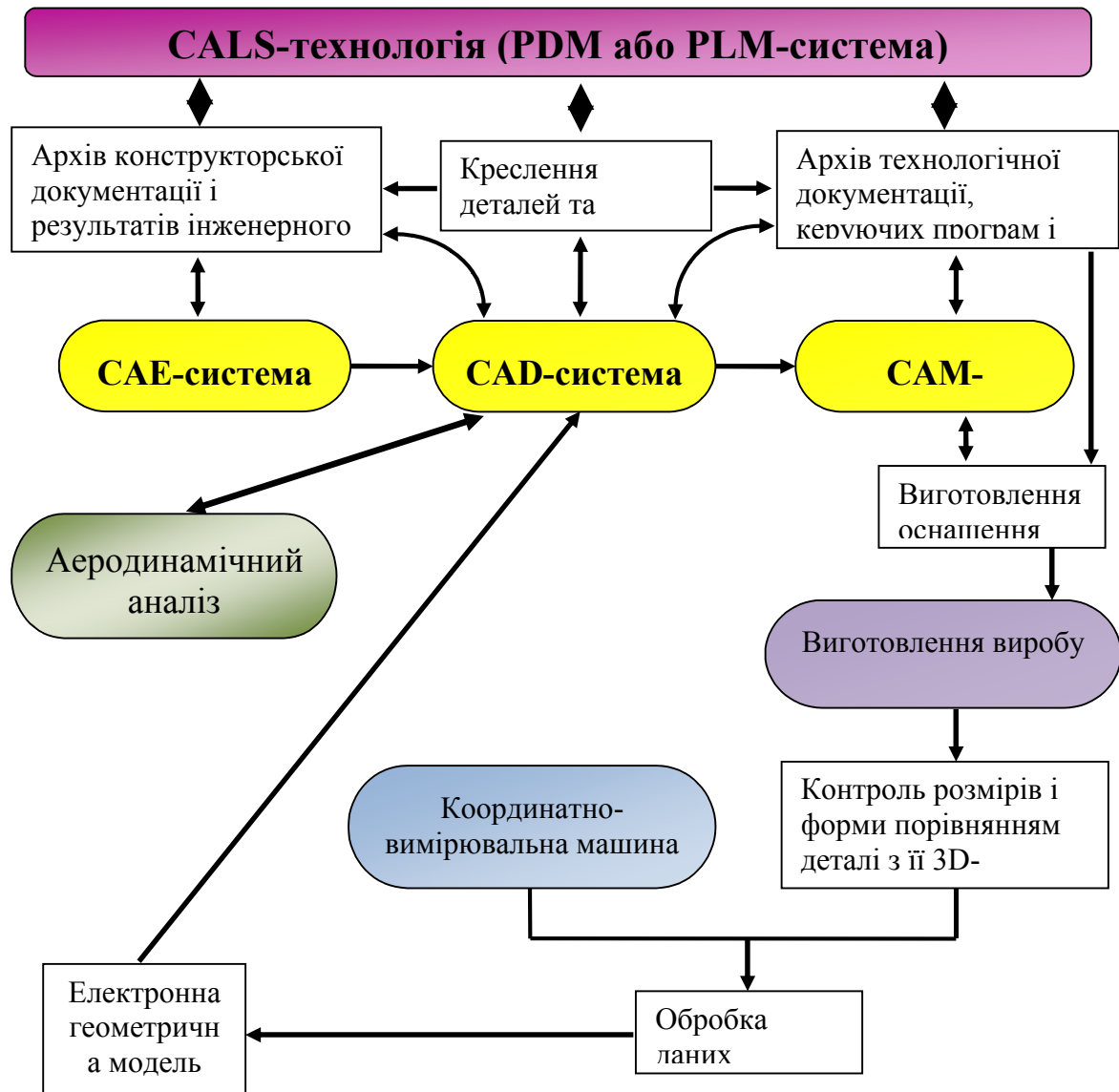


Рис. 2. Місце KBM у виробничому процесі з застосуванням CALS-технологій

- CALS (Continuous Acquisition and Lifecycle Support) – безперервна інформаційна підтримка поставок і життєвого циклу виробів;
- PDM (Product Data Management) – система управління даними про виріб;
- PLM (Product Lifecycle Management) – життєвий цикл виробу;
- CAD (Computer-Aided Design) – система автоматизованого проектування;
- CAM (Computer-aided manufacturing) – автоматизована система технологічної підготовки виробництва;
- CAE (англ. Computer-aided engineering) – автоматизована система проведення інженерного аналізу

Серед недоліків застосування координатно-вимірювальних систем можна виділити наступні:

- досить висока вартість обладнання та комплектуючих КВМ;
- оскільки вимірювання точок проводиться тільки у прямій видимості, то для обміру всього літака необхідно кілька перестановок КВМ, що збільшує тривалість нівелювання, або треба використовувати кілька таких пристроїв;
- можливі проблеми при експлуатації та ремонті літаків в організаціях, що не мають аналогічного вимірювального обладнання.

Але, незважаючи на вказані вище недоліки, переваги застосування методів з використанням КВМ очевидні.

Висновки

Застосування лазерних КВМ задовольняє сучасним вимогам до точності контролю аеродинамічних обводів літака, його трудомісткості та ефективності. Точність вимірювань зростає на порядок при тому, що додатково реалізується можливість здійснення автоматичного аналізу отриманих результатів та відповідного заповнення нівелювальної документації. Це дозволить істотно скоротити час проведення зазначених робіт. Використання координатно-вимірювальних систем є кроком до підвищення ефективності виробництва і обслуговування літаків.

Список використаної літератури

1. *Втюрин В.* Компьютерные технологии в области автоматизации и управления / В. Втюрин // Учебн. пособие. / Санкт-Петербургский государственный университет им. С.М. Кирова. – Санкт-Петербург, 2011. – 103 с.
2. *Пекари А. И.* Наука и технологии в промышленности / А. И. Пекарш, С. И. Феоктистов, Д. Г. Колыханов // Москва, 2011. – №3, – С. 36–48.
3. *Гребеников А. Г.* Открытые информационные и компьютерные интегрированные технологии / А. Г. Гребеников, А. К. Мялица, Н. А. Лысых // Сб. науч. трудов. – Харьков: НАКУ «ХАИ», 2012. – Вып. 53 – С. 5-6.
4. *Пестрецов С.* CALS-технологии в машиностроении: основы работы в CAD/CAE-системах / С. Пестрецов // Учебн. пособие. / Тамбовский государственный технический университет. – Тамбов: ТГТУ, 2010. – 104 с. – ISSN 78-5-8265-0957-9.
5. *Романчикова М. С.* Геопрофи / М. С. Романчикова, В. В. Грошев // Москва: "ПРОМ", 2011. – №3. – С. 31–33. – ISSN 2306-8736.

