

## РОЗРАХУНОК ТА ДОСЛІДЖЕННЯ МАКСИМАЛЬНОЇ НАВЕДеної ПОХИБКИ ВІД НЕЛІНЕЙНОСТІ СТАТИЧНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ВИКОРИСТАННІ ЛАЗЕРНИХ ПРИЛАДІВ У ПРОЦЕСІ ВИРОБНИЦТВА ШТАМПІВ ДЛЯ ДЕТАЛЕЙ АВІАБУДУВАННЯ

*Розглядається розрахунок та дослідження максимальної наведеної похибки від нелінійності статичної характеристики при використанні лазерних приладів у процесі виробництва штампів з використанням інтелектуальної інтегрованої адаптивної наскрізної системи автоматизації проектних робіт та автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва.*

**Ключеві слова:** наведена похибка, нелінійна статична характеристика, інтегрована адаптивна наскрізна система, автоматизована система технологічної підготовки виробництва, лазерні прилади.

G. KLESCHEV

Odesa state academy of the technical adjusting and quality, Odesa

I. POLITUCHYI

State enterprise the «Odesa aviation plant», Odesa

## CALCULATION AND RESEARCH THE MAXIMAL BROUGHT ERROR OVER FROM NOT RULER OF STATIC DESCRIPTION AT THE USE OF LASER DEVICES IN THE PROCESS OF PRODUCTION OF STAMPS FOR DETAILS OF AIRCRAFT BUILDING

*Consider calculation and research the maximal brought error over from not ruler of static description at the use of laser devices in the process of production of stamps with the use of the intellectual integrated adaptive through systems of automation of project works and CASS of technological preparation of production.*

**Keywords :** the brought error over, not ruler the static description, integrated adaptive through system, automation system of technological preparation of production, of laser devices.

### Вступ

У виробничому інструментальному процесі холодна листова штамповка (ХЛШ) один з найбільш прогресивних і поширених процесів. Цей процес дозволяє виготовлювати з листового матеріалу (смуги, стрічки, листа) найрізноманітніші за формою і розмірам деталі в короткі терміни з мінімальними витратами. Нині особлива увага приділяється точності деталей, що виготовляються, а звідси і підвищенню якості і надійності виробів. Безумовно, в авіабудуванні точність, надійність і якість деталей, що виготовляються, стоять на першому місці. Слід зазначити, що питома вага штампованих з листа деталей в авіабудуванні складає, як відомо, від 60 % до 70 % від загальної кількості деталей, що виготовляються. І цей відсоток може зрости, оскільки є зведення про переклад частини деталей, що отримуються литвом і куванням, на холодне листове штампування, що зменшує вагу деталей на 50 % і скорочує витрату матеріалу на 70 %.

### Проблема

У виробничих умовах на якість, точність і терміни деталей, що виготовляються, окрім змін температури, вологості, вібрацій, запилення, коливань напруги в електромережі, впливають: точність устаткування; спосіб базування, наведені похибки від не лінійності статичної характеристики средств вимірювання та знос інструменту в процесі обробки, як основних деталей, так і деталей оснащення (штампів). Умовами для усунення вказаних проблем в авіаційній галузі є: впровадження сучасних математичних методів і засобів обчислювальної техніки; створення інтелектуальних інтегрованих адаптивних наскрізних систем автоматизації проектних робіт [1]; автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва [2]; створення гнучких автоматизованих систем виробництва верстатів, інструментів (штампів) і автоматичних ліній, а так само скорочення часу вимірювальних, контрольних і таких, що коригують операції з використанням активних лазерних приладів (АЛП) вимірювання [3].

### Мета дослідження

Розрахунок та дослідження максимальної наведеної похибки від нелінійності статичної характеристики для підвищення ефективності, якості, точності і надійності виготовлення деталей штампів, вживаних в авіабудуванні на основі «нової технології» [2] і лазерних засобів вимірів, а також скорочення часу вимірювальних, контрольних робіт.

### Основні результати досліджень

Похибка від нелінійності статичної характеристики вимірювального приладу (ВП)  $y = f(x)$  в числовій формі виражає ступінь близькості графіка цієї характеристики до графіка апроксимуючої прямої  $y_a = A + B \cdot x$ . Залежно від способу побудови цієї прямої похибка від нелінійності можна оцінювати у формі максимальної наведеної похибки (МНП), або у формі середньоквадратической наведеної похибки

(СКНП). У першому випадку апроксимуючої прямої є пряма найменших модулів (ПНМ), у другому - пряма найменших квадратів (ПНК). Розробимо методику розрахунку прямих найменших модулів і максимальний наведеної похибки від нелінійності статичної характеристики вимірювального пристрою тобто АЛП. Прямий найменших модулів (стосовно кривої  $y = f(x)$ ) називається пряма  $y_a = A + Bx$ , максимальне відхилення якої від кривої  $y = f(x)$  на інтервалі  $xn \leq x \leq xv$  є мінімальним. Параметри такої прямої визначаються з умови мінімальної величини її максимального відхилення від кривої  $y = f(x)$ , тобто з умови

$$\text{Max mod}(A, B) = \max_{xn \leq x \leq xv} |f(x) - (A + Bx)| = \min_{(A, B)} \quad (1)$$

де мінімум неявно заданої функції двох змінних  $\text{Max mod} = \text{Max mod}(A, B)$  досягається підбором значень її аргументів  $A, B$  - параметрів прямих найменших модулів  $y_a = A + Bx$ . Пояснимо фізичний зміст цих параметрів. Кожній парі речовинних чисел  $A, B$  відповідає пряма  $y_a = A + Bx$ , що певним чином орієнтована щодо графіка кривої  $y = f(x)$ . Існують такі значення цих чисел, при яких максимальне відхилення прямої  $y_a = A + Bx$  від кривої  $y = f(x)$  виявляється мінімальним. Ця пряма і є пряма найменших модулів.

Критерій мінімакса (1) рівносильний умовам рівномірного наближення функцій  $y = f(x)$  і  $y_a = A + Bx$ . Ці умови можна записати у вигляді наступної системи  $M + N - 1$  нелінійних алгебраїчних рівнянь [4]

$$\begin{aligned} \Delta_1 = \Delta_2 = \dots = \Delta_N, \\ \frac{d}{dx_j} pp(x_j, A, B) = 0, j = 1, 2, \dots, M. \end{aligned} \quad (2)$$

Тут  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N$  - максимальні значення модуля абсолютної Похибки наближення

$$pp(x, A, B) = f(x) - (A + Bx), \quad (3)$$

число  $N$  яких залежить від особливостей функції  $f(x)$ ;  $x_j$  - абсциси крапок що вирівнюють екстремумов похибки наближення (3), число  $M$  яких також залежить від особливостей цієї функції.

Вирішуючи систему рівнянь (2), знаходять параметри  $A$  й  $B$  прямих найменших модулів і, крім того, абсциси  $x_j$  крапок екстремумов похибки наближення (3), знаючи які можна обчислити максимальні значення модуля цієї похибки  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_N$ . При правильному рішенні завдання всі вони повинні бути рівні один одному по величині й модулю максимальної похибки наближення  $\Delta_{max}$ , тобто

$$\Delta_{max} = \Delta_1 = \dots = \Delta_N. \quad (4)$$

Виконання цих умов означає, що при правильному розрахунку параметрів ПНМ графік статичної характеристики ВП  $y = f(x)$  повинен виявитися ув'язаним між двома паралельними прямими, що відстоять від графіка ПНМ на однакову величину, рівну максимальному значенню модуля абсолютної похибки наближення  $\Delta_{max}$ . На рисунку 1 ці прямі показані двома паралельними штрих - пунктирними лініями. Із цього рисунка видно також, що не обов'язково всі екстремуми похибки наближення (3) повинні бути рівні один одному по величині. Число  $M$  таких екстремумов, як відзначалося вище, залежить від особливостей наближає функції, що  $y = f(x)$ . Цим пояснюється неоднозначність вибору умов рівномірного наближення (2) для графіка складної функції.

$$\text{ПНМ } y_a = A + Bx /$$

Таким чином, розрахунок параметрів  $A$  і  $B$  прямих найменших модулів може виконуватися, в - перших, шляхом рішення системи рівнянь (2), що виражають умови рівномірного наближення кривих  $f(x)$  до прямих  $y_a = A + Bx$ , і, в - других - шляхом визначення координат  $(A, B)$  крапки глобального мінімуму неявно заданої функції двох змінних (1). На практиці обидві зазначені можливості застосовуються разом, взаємно доповнюючи один одного.

Ступінь близькості графіка ПНМ до графіка статичної характеристики ВП оцінюється по величині максимальної наведеної похибки від нелінійності (МНП), що обчислюється по формулі

$$\gamma_n = \frac{\Delta_{\max}}{|y_{av} - y_{an}|} = \frac{\Delta_{\max}}{|B|(xv - xn)}, \quad (5)$$

де  $y_{av} = A + B \cdot xv$ ,  $y_{an} = A + B \cdot xn$  - граничні ординати ПНМ на інтервалі  $(xn, xv)$ ;  $\Delta_{\max}$  - максимальне відхилення ПНМ від графіка статичної характеристики ИУ, обумовлене по формулі (4).

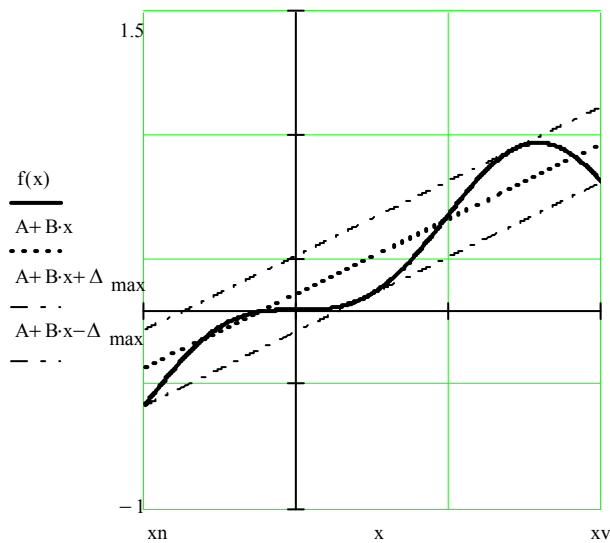


Рис. 1. Графік статичної характеристики ВП

У практичних додатках вибір рівняння прямих найменших модулів виконують із урахуванням наступних обмежень:

1) якщо  $f(0) = 0$ , тобто, якщо графік статичної характеристики ИУ проходить через початок координат і, крім того,  $xn = 0$ , то приймають

$$y_a(x) = B \cdot x, \quad (6)$$

т.е. вважають, що  $A = 0$  (рисунок 2,а), хоча розрахунок у цьому випадку дає завищене значення МНП;

2) якщо  $f(x) = -f(-x)$ , тобто, якщо статична характеристика ВП непарна, і, крім того,  $xn = -xv$ , то також приймають  $y_a(x) = B \cdot x$  (рисунок 2,б);

3) у всіх інших випадках приймають  $y_a = A + B \cdot x$ .

У кожному разі вихідними даними для розрахунку є функція перетворення ВП  $y = f(x)$  й границі діапазону вимірів  $(xn, xv)$ , а сам розрахунок рекомендується виконувати в наступній послідовності:

1) Будується схематичний графік статичної характеристики ВП, тобто такий графік, що відбиває не точні значення ординат функції  $f(x)$ , а тільки лише форму графіка цієї функції на інтервалі  $(xn, xv)$ . Такий графік будується з метою одержання загального подання про форму статичної характеристики ВП та правильного вибору рівняння ПНМ;

2) З обліком зазначених вище рекомендацій вибирається рівняння ПНМ (тобто приймається  $y_a = Bx$ , або  $y_a = A + Bx$  залежно від форми статичної характеристики ВП) і будується передбачуваний графік ПНМ (на рисунку 2 він показаний пунктиром). При побудові цього графіка прагнуть домогтися виконання умов (4) при максимально можливому числі перетинань графіка ПНМ із графіком статичної характеристики ВП.

3) Складається аналітичне вираження для похибки наближення (3);

4) Обчислюються параметри ПНМ, тобто обчислюються дві величини  $A$  й  $B$ , якщо рівняння ПНМ обране у вигляді  $y_a = A + Bx$ , або тільки одна величина  $B$ , якщо це рівняння має вигляд  $y_a = Bx$ . Для цього складається система рівнянь (2), після чого вона вирішується щодо шуканих параметрів ПНМ;

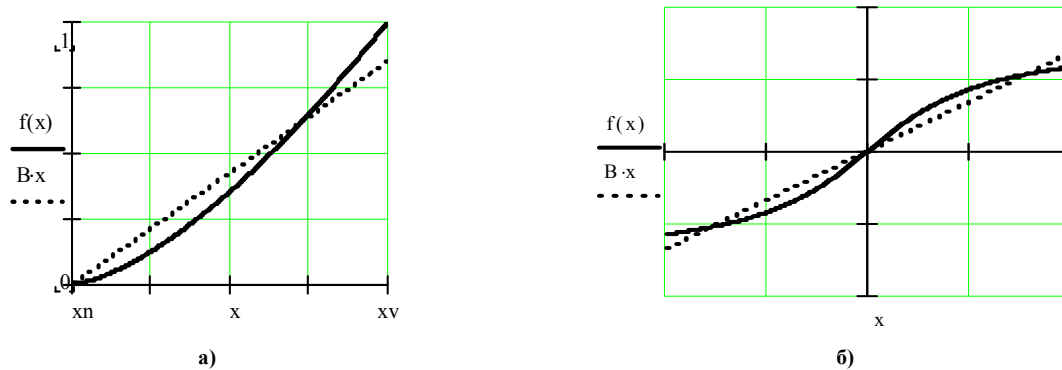


Рис. 2. Схематичний графік статичної характеристики А.П

- 4) Будується графік похибки наближення (3) в інтервалі  $(x_n, x_v)$ , за допомогою якого перевіряється виконання умов рівномірного наближення (2) і обчислюється максимальна похибка наближення (4);
- 5) Обчислюється значення МНП по формулі (5).

### Висновки

Проведено розрахунок та дослідження максимальної наведеної похибки від нелінійності статичної характеристики для підвищення ефективності, якості, точності і надійності виготовлення деталей штампів, вживаних в авіабудуванні. Розроблено методику розрахунку прямий найменших модулів і максимальний наведеної похибки від нелінійності статичної характеристики вимірювального пристрою, що значно підвищило точність, надійність та якість виробляемих деталей штампів на базі автоматизованих систем технологічної підготовки виробництва для авіабудування. Дослідження нової технології, в сукупності з інтегрованим промисловим комплексом і лазерними засобами виміру, дозволяє значно підвищити конкурентоспроможність інтегрованої адаптивної наскрізної системи виробництва штампів.

### Література

1. Квасников В.П. Патент «Метод інтегрованої наскрізної підготовки виробництва та виготовлення деталей штампів», № 48027 від 10.03.2010 Бюл. № 5 / В.П.Квасников, Л.В. Коломиец, Г. М. Клещев и др. – К.: 2010.
2. Клещев Г.М. Адаптивна наскрізна комп'ютерна технологія управління підготовкою виробництва та виготовлення деталей штампів на базі штамп - напівфабрикатів/ Г.М. Клещев. – Одеса. //Під загальною редакцією доктора технічних наук, професора Л.В. Коломійця. 2010.- 283с.
3. Клещев Г.М. Лазерные средства измерения активного контроля инструмента штампов холодной листовой штамповки/Г.М.Клещев, А.Г. Биличенко и др.//Міжнародний науково- технічний журнал «Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах» Хмельницький. Вип.№1.2015. С.204-208.
4. Щепетов А.Г. Теория , расчет и проектирование измерительных устройств.-М.:МГУПИ, 2004.

### References

1. Kvasnikov V. Patent is " Method integrovanoi naskriznoi pidgotovki vurobnuztva ta vugotvlenna details stampiv № 48027 vid 10.03.2010, Bul. № 5/ V. Kvasnikov, G. Kleshev, L. Kolomiez I dr.-K.:2010.
2. Kleshev G. Adaptive naskrizna komp'uterna technologija upravleniya pidgotovkoy vurobnuztva ta vurotovlenna detales stampiv na base stamp- napivfabrukativ/G. Kleshev.- Odessa.// Pid zagalnoy redakziej doktora tehniznuh nauk, profesora L. Kolomieza .2010.-283c.
3. Kleshev G. Lazernue sredstva izmerenia aknivnogo kontrola instrumenta stampov xolodnogo listovogo stampovki/ G. Kleshev, A. Bilichenko i dr.//Vymirjuvalna ta obchyslyvalna tehnika v tehnologichnyx procesax. Xmelniczkiy. Vup№1.2015.S.204-208.
4. Schepetov A. Teorija, raschetju i proektirovanie izmeritelnyx ustrojictv.-M.: MGUPI,2004.

Рецензія/Peer review : 19.9.2015 p.

Надрукована/Printed :20.10.2015 p.