

5.1. Підвищення точності та швидкодії приладової системи на основі оптимізації параметрів відеозображень

Для підвищення точності приладової системи необхідно зменшувати крок дискретності цифрових відеозображень по просторовим координатам. Це досягається шляхом збільшення кількості дискретних точок при фіксованому полі зору ПФВЗ для виробів із заданими лінійними розмірами. В результаті збільшується об'єм цифрових відеозображень. Але, для підвищення швидкодії необхідно зменшувати об'єм цифрових відеозображень, що дозволяє вводити їх в цифрову ЕОМ, реєструвати та обробляти з мінімальними затратами часу. Ця вимога може бути реалізована шляхом зменшення кількості дискретних точок або відповідного перетворення і кодування відеозображень в приладовій системі. В свою чергу, це приводить до збільшення похибок ГП виробів. Таким чином, необхідно визначити оптимальні параметри цифрових відеозображень, які забезпечують суттєве поліпшення метрологічних характеристик приладової системи (підвищення точності при заданій швидкодії, підвищення швидкодії при заданій точності).

Першу задачу оптимізації параметрів цифрових відеозображень сформулюємо таким чином. При заданих показниках швидкодії приладової системи, обумовлених ходом технологічного процесу виготовлення виробів [117 – 119], необхідно мінімізувати дисперсію похибки вимірювання координат точок виробу

$$\sigma_{\Delta x}^2(N, k_V) \rightarrow \min \quad (5.1)$$

шляхом добору оптимальних значень параметрів цифрових відеозображень N і k_V .

Похибка визначення координат точок виробу в цільовій функції (5.1) визначається такими параметрами відеозображень: N – кількість дискретних відліків амплітуди відеосигналу в рядках цифрового відеозображення виробу, що визначає розмір цифрового відеозображення в д.т.; відповідний цьому значенню N крок дискретності δ_x просторової координати x в площині поверхні виробу; k_V – коефіцієнт зменшення об'єму цифрових даних відеозобра-

жень за одним з методів, що реалізований в ПФВЗ і приводить до появи відповідної складової похибки координат. В даному випадку

$$k_V = V_0 / V_{зi0} , \quad (5.2)$$

де $V_0 = N \cdot M \cdot N_{\text{ає}} \cdot N_{\text{є}} \cdot k_{\text{т}}$ – початковий об’єм (в бітах) цифрових даних відеозображення, сформованого у ПФВЗ; $N_{\text{ає}}$ – кількість двійкових розрядів, що використовуються для кодування амплітуди відеозображення; $N_{\text{є}}$ – кількість каналів, що використовуються в кольорових відеозображеннях для передачі даних про яскравість і колір поверхні виробів; $k_{\text{т}} = 1$ біт – коефіцієнт пропорційності для випадку двійкового кодування цифрового відеозображення; $V_{зi0} = C_{зi0} \cdot \delta_{\text{а}}$ – максимально допустимий об’єм (в бітах) цифрових даних відеозображення, що вводиться в цифрову ЕОМ від ПФВЗ, цей об’єм визначається для заданих показників швидкодії приладової системи; $C_{зi0}$ – пропускна здатність ППВЗ (інтерфейсу передачі цифрових даних).

Швидкодія приладової системи задається інтервалом часу $\delta_{\text{а}}$, за який потрібно сформувати відеозображення та ввести його в цифрову ЕОМ через ППВЗ з обмеженою пропускною здатністю $C_{зi0}$.

Дисперсія похибки вимірювань координат точок виробу

$$\sigma_{\Delta x}^2 = \sigma_{\text{а}}^2 + \sigma_V^2 , \quad (5.3)$$

де $\sigma_{\text{а}}^2 = \delta_x^2 / 12$ – похибка, що обумовлена дискретним характером цифрових відеозображень і має рівномірний розподіл на інтервалі $(-\delta_x / 2, \delta_x / 2)$, σ_V^2 – похибка, що обумовлена впливом процедур зменшення об’єму цифрових даних відеозображень в ПФВЗ. Також вважаємо, що інші складові частини похибки ГП зменшені шляхом алгоритмічної компенсації до незначного рівня відносно $\sigma_{\text{а}}^2$ (див. підрозділи 1.4 і 3.3).

Розглянемо похибку вимірювання координат виробів σ_V^2 , що пов’язана з коефіцієнтом зменшення об’єму цифрових даних відеозображень k_V . Для вста-

новлення цього зв'язку перерахуємо похибку вимірювань координат у відповідну похибку амплітуди відеозображень (див. підрозділ 1.4 і патент 78419 С2 [41]):

$$\sigma_{V\hat{a}}^2 = \frac{\sigma_V^2 \cdot h_i^2}{l_i^2}, \quad (5.4)$$

де h_i , д.р. і l_i , мм – відповідно висота і довжина перепаду амплітуди відеозображення, який утворює контур виробу на цьому відеозображенні, а довжина перепаду в міліметрах дорівнює:

$$l_i = N_i \cdot \delta_x, \quad (5.5)$$

де N_i – кількість точок, що утворюють перепад яскравості в рядку цифрового відеозображення (ця кількість може бути визначена для відеозображень виробів експериментальним шляхом).

Так як ширина поля зору оптичної системи ПФВЗ $l_{\hat{A}\zeta} = N \cdot \delta_x$, а лінійний розмір виробу (ОВ) $l_{\hat{A}\hat{a}} = k_\zeta \cdot l_{\hat{A}\zeta}$, де $k_\zeta = 0,75 \dots 0,9$ – коефіцієнт заповнення площі цифрового відеозображення виробом, то на основі формули (5.5) отримуємо:

$$l_i = \frac{N_i \cdot l_{\hat{A}\zeta}}{N} = \frac{N_i \cdot l_{\hat{A}\hat{a}}}{k_\zeta \cdot N}. \quad (5.6)$$

Зв'язок між $\sigma_{V\hat{a}}^2$ і k_V визначається формулами (1.10), (1.11) (див. підрозділ 1.4). Враховуючи формули (5.2), (1.10) і (1.11), визначимо коефіцієнт зменшення об'єму цифрових даних відеозображень для ідеального випадку. Він дорівнює співвідношенню кількості біт, що відповідають одній д.т. на початковому цифровому відеозображенні, до кількості біт, що відповідають одній д.т. на перетвореному відеозображенні на виході ПФВЗ:

$$k_{V0}(\sigma_{V\hat{a}}^2) = \frac{k_{i1} \cdot N_{\hat{a}\hat{e}} \cdot N_{\hat{e}}}{R_{\hat{A}\zeta}(\sigma_{V\hat{a}}^2)} = \frac{2N_{\hat{a}\hat{e}} \cdot N_{\hat{e}}}{\log_2 \left(\frac{\sigma_{\hat{A}\zeta}^2 \cdot (1 - \rho_x^2) \cdot (1 - \rho_y^2)}{\sigma_{V\hat{a}}^2} \right)}, \quad (5.7)$$

де $k_{i1} = 1$ біт/(д.т.) – коефіцієнт, що відповідає розмірності $R_{\hat{A}\zeta}(\cdot)$ для випадку двійкового кодування відеозображень, $R_{\hat{A}\zeta}(\cdot)$ – кількість біт, що використо-

вуються для передачі даних про одну точку цифрового відеозображення на виході ПФВЗ, $\sigma_{\hat{A}\zeta}^2$ – дисперсія амплітуди відеозображення, ρ_x, ρ_y – коефіцієнти кореляції відліків у рядках і стовпцях відеозображення.

Будемо вважати, що $\rho_x = \rho_y$. Це припущення відповідає властивостям відеозображень виробів в приладовій системі (див. підрозділ 2.1). Також потрібно враховувати той факт, що в реальних умовах коефіцієнт зменшення об'єму є дещо меншим, ніж той, що визначений для ідеального випадку за формулою (5.7) [164]. Тому вводимо корекцію величини $R_{\hat{A}\zeta}(\cdot)$:

$$R_{\hat{A}\zeta}(\sigma_{V_a}^2) = R_{\hat{A}\zeta}(\sigma_{V_a}^2) + \lambda_V, \quad (5.8)$$

де $\lambda_V \approx 0,7 \dots 1,5$ біт/(д.т.) – поправка, що визначає реальну швидкість створення вимірювальної інформації в ПФВЗ. Ці значення встановлено на основі експериментальних досліджень відеозображень виробів з природного каменю.

Тоді на основі формул (5.7) і (5.8) отримуємо значення реально можливого коефіцієнта зменшення об'єму відеозображень в приладовій системі:

$$k_V(\sigma_{V_a}^2) = \frac{2N_{\hat{a}\hat{e}} \cdot N_{\hat{e}}}{\log_2 \left(\frac{\sigma_{\hat{A}\zeta}^2 \cdot (1 - \rho_x^2)^2}{\sigma_{V_a}^2} \right) + \frac{2\lambda_V}{k_{i1}}}. \quad (5.9)$$

З формули (5.9) отримуємо:

$$\sigma_{V_a}^2(k_V) = \sigma_{\hat{A}\zeta}^2 \cdot \left(\frac{1 - \rho_x^2}{2 \left(\frac{N_{\hat{a}\hat{e}} \cdot N_{\hat{e}}}{k_V} \frac{\lambda_V}{k_{i1}} \right)} \right)^2. \quad (5.10)$$

З формул (5.4) і (5.10) випливає, що

$$\sigma_V^2(k_V) = \sigma_{V_a}^2 \left(\frac{l_i}{h_i} \right)^2 = \sigma_{\hat{A}\zeta}^2 \cdot \left(\frac{1 - \rho_x^2}{2 \left(\frac{N_{\hat{a}\hat{e}} \cdot N_{\hat{e}}}{k_V} \frac{\lambda_V}{k_{i1}} \right)} \right)^2 \cdot \left(\frac{l_i}{h_i} \right)^2. \quad (5.11)$$

Загальна похибка вимірювань координат точок виробу на основі формул (5.3) і (5.11) дорівнює:

$$\sigma_{\Delta x}^2 = \frac{\delta_x^2}{12} + \sigma_{\hat{A}\zeta}^2 \cdot \left(\frac{1 - \rho_x^2}{2 \left(\frac{N_{\text{äë}} \cdot N_{\text{ë}}}{k_V} - \frac{\lambda_V}{k_{i1}} \right)} \right)^2 \cdot \left(\frac{l_{\hat{i}}}{h_{\hat{i}}} \right)^2. \quad (5.12)$$

Для фіксованої ширини поля зору ПФВЗ $l_{\hat{A}\zeta}$ згідно формул (5.5), (5.6)

$$\delta_x = \frac{l_{\hat{A}\zeta}}{N} = \frac{l_{\hat{i}\hat{A}}}{k_{\zeta} \cdot N}. \quad (5.13)$$

На основі формул (5.12) і (5.13) отримуємо результуюче співвідношення для цільової функції (5.1) оптимізації параметрів відеозображень, що визначає дисперсію похибки вимірювання координат виробів в приладовій системі:

$$\sigma_{\Delta x}^2(N, k_V) = \frac{l_{\hat{i}\hat{A}}^2}{12 \cdot k_{\zeta}^2 \cdot N^2} + \sigma_{\hat{A}\zeta}^2 \cdot \left(\frac{1 - \rho_x^2}{2 \left(\frac{N_{\text{äë}} \cdot N_{\text{ë}}}{k_V} - \frac{\lambda_V}{k_{i1}} \right)} \right)^2 \cdot \left(\frac{l_{\hat{i}}}{h_{\hat{i}}} \right)^2 \rightarrow \min. \quad (5.14)$$

Аналізуючи співвідношення (5.14), можна зробити висновок, що для зменшення похибки $\sigma_{\Delta x}^2$ необхідно збільшувати N і зменшувати k_V з урахуванням області їх допустимих значень для ПФВЗ.

Також додатково слід враховувати обмежену пропускну здатність ППВЗ в цифрову ЕОМ. На основі формули (5.2) маємо:

$$k_V \geq \frac{V_0}{V_{3i\delta}} = \frac{k_{\hat{i}} \cdot N^2 \cdot N_{\text{äë}} \cdot N_{\text{ë}}}{k_{\delta} \cdot \tilde{N}_{3i\delta} \cdot \delta_{\hat{a}}}, \quad (5.15)$$

де $k_{\delta} = N/M$ – коефіцієнт форми цифрових відеозображень.

Виходячи з формули (5.15), запишемо обмеження для оптимізаційної задачі, яке пов'язує параметри N і k_V :

$$k_V(N) = \frac{k_{\hat{i}} \cdot N^2 \cdot N_{\text{äë}} \cdot N_{\text{ë}}}{k_{\delta} \cdot V_{3i\delta}}. \quad (5.16)$$

Визначимо область допустимих значень для N . Так як при $k_V = 1$ і фіксованому $C_{3i\delta}$ початкове відеозображення має мінімальний розмір N_{\min} , то на основі формули (5.3) отримуємо співвідношення

$$\sigma_{\Delta x}^2(N_{\min}) = \sigma_{\ddot{a}_{\max}}^2(N_{\min}), \quad \sigma_{\ddot{a}_{\max}}(N_{\min}) = \frac{\Delta_{x_{\max}}}{\sqrt{3}}, \quad \Delta_{x_{\max}} = \frac{\delta_x}{2},$$

де $\Delta_{x_{\max}}$ – задана максимальна допустима похибка визначення координат точок виробу. Звідси на основі формули (5.13) отримуємо:

$$N_{\min} = \frac{l_{\hat{I}\hat{A}}}{2 \cdot k_{\zeta} \cdot \Delta_{x_{\max}}}. \quad (5.17)$$

Так як при $k_V = k_{V_{\max}}$ маємо $N = N_{\max}$, то на основі співвідношення (5.2)

$$V_{3i\ddot{o}}(N_{\max}) = \frac{V_0(N_{\max})}{k_{V_{\max}}} = C_{3i\ddot{o}} \cdot \delta_{\ddot{a}}, \quad V_0(N_{\max}) = k_{\ddot{r}} \cdot N_{\max}^2 \cdot N_{\ddot{a}\ddot{e}} \cdot N_{\ddot{e}} / k_{\ddot{o}}.$$

Звідси остаточно отримуємо:

$$N_{\max} = \sqrt{\frac{C_{3i\ddot{o}} \cdot \delta_{\ddot{a}} \cdot k_{\ddot{o}} \cdot k_{V_{\max}}}{k_{\ddot{r}} \cdot N_{\ddot{a}\ddot{e}} \cdot N_{\ddot{e}}}}. \quad (5.18)$$

Таким чином, маємо класичну задачу оптимізації [344, 385 – 388] з цільовою функцією (5.1), (5.14), двома параметрами відеозображень N і k_V , що оптимізуються, одним обмеженням (5.16) і областю допустимих значень параметрів (5.15), (5.17), (5.18).

Для вирішення першої задачі оптимізації в приладовій системі підставимо k_V з обмеження (5.16) в цільову функцію (5.14):

$$D[\Delta_x] = \sigma_{\Delta x}^2(N) = \frac{l_{\hat{I}\hat{A}}^2}{12 \cdot k_{\zeta}^2 \cdot N^2} + \sigma_{\hat{A}\zeta}^2 \cdot \left((1 - \rho_x^2) / 2 \left(\frac{k_{\ddot{o}} \cdot V_{3i\ddot{o}}}{k_{\ddot{r}} \cdot N^2} - \frac{\lambda_f}{k_{i1}} \right) \right)^2 \cdot \left(\frac{l_{\ddot{r}}}{h_{\ddot{r}}} \right)^2 \rightarrow \min, \quad (5.19)$$

Знайдемо стаціонарні точки цільової функції (5.19) для змінної $N_1 = N^2$:

$$\frac{d\sigma_{\Delta x}^2}{dN_1} = -\frac{l_{\hat{I}\hat{A}}^2}{12 \cdot k_{\zeta}^2 \cdot N_1^2} + \frac{2 \ln(2) \cdot \sigma_{\hat{A}\zeta}^2 (1 - \rho_x^2)^2 \cdot k_{\ddot{o}} \cdot V_{3i\ddot{o}}}{2 \left(\frac{2k_{\ddot{o}} \cdot V_{3i\ddot{o}}}{k_{\ddot{r}} \cdot N_1} - \frac{2\lambda_f}{k_{i1}} \right) \cdot N_1^2 \cdot k_{\ddot{r}}} \cdot \left(\frac{l_{\ddot{r}}}{h_{\ddot{r}}} \right)^2 = 0, \quad (5.20)$$

$$N_{1i\ddot{o}} = \frac{k_{\ddot{o}} \cdot V_{3i\ddot{o}} / k_{\ddot{r}}}{\lambda_f / k_{i1} + \log_2 \left(\frac{2\sqrt{6 \ln(2)} \cdot k_{\ddot{o}} \cdot V_{3i\ddot{o}} / k_{\ddot{r}} \cdot (\rho_x^2 - 1) \cdot k_{\zeta} \cdot l_{\ddot{r}} \cdot \sigma_{\hat{A}\zeta}}{h_{\ddot{r}} \cdot l_{\hat{I}\hat{A}}} \right)}. \quad (5.21)$$

Так як в точці $N_{\text{н}0} = \sqrt{N_{1\text{н}0}}$ похідна (5.20) змінює свій знак з “–” на “+”, то це і є точка мінімуму цільової функції (5.19). Значення (5.21) відповідає оптимальному розміру відеозображення в д.т. Оптимальний коефіцієнт зменшення об’єму цифрових даних відеозображень може бути знайдений на основі $N_{\text{н}0}$ за формулою (5.16), похибка вимірювання координат – за формулою (5.19). Таким чином, першу задачу оптимізації параметрів відеозображень вирішено.

Розглянемо приклад оптимізації параметрів відеозображень в приладовій системі, яка контролює лінійні розміри облицювальних виробів з природного каменю. Максимальне допустиме відхилення лінійних розмірів виробів $\Delta_{l_{\text{max}}} = 3$ мм [120]. Для контролю використовується цифрова камера Sony Cyber-Shot DSC-H9 з ПЗС-матрицею розміром 7,18 мм та ємністю 8 Мегапикселів, об’єктивом Carl Zeiss Vario-Tessen (15^{\times} оптичне збільшення, фокусна відстань $f=5,2\dots 78$ мм або $31\dots 465$ мм в перерахунку на 35 мм плівку).

Параметри сформованих кольорових відеозображень: $l_{\hat{A}\hat{C}} = 2000$ мм; $k_{\hat{c}} = 0,9$; $N = 3200$ д.т.; $N_{\hat{i}} = 5$ д.т.; $l_{\hat{i}} = 3,13$ мм; $h_{\hat{i}} = 150$ д.р.; $\sigma_{\hat{A}\hat{C}} = 50$ д.р.; $k_{\hat{\delta}} = 4/3$; $\rho_x = \rho_y = 0,9$; $N_{\hat{a}\hat{e}} = 8$; $N_{\hat{e}} = 3$; $\lambda_V = 1,5$ біт/(д.т.); $k_{V_{\text{max}}} = 50$ разів. Ці відеозображення вводяться в цифрову ЕОМ по інтерфейсу USB 2.0 з пропускною здатністю $C_{\text{з}0} = 480$ Мбіт/с та часом введення $\delta_{\hat{a}} = 0,04$ с, тобто $V_{\text{з}0} = 19,2$ Мбіта = 2,40 Мбайта. Так як для контролю лінійних розмірів виробів потрібно вимірювати координати точок з похибкою, меншою ніж вказані відхилення, то $\Delta_{x_{\text{max}}} = 0,50$ мм, $\sigma_{\Delta_{x_{\text{max}}}} = 0,29$ мм, $N_{\text{min}} = 2222$ д.т., $N_{\text{max}} = 7303$ д.т. (формули (5.17) і (5.18)). З урахуванням технічних характеристик ПФВЗ маємо: $N_{\text{min}} = 2222$ д.т., $N_{\text{max}} = 4000$ д.т.

Вирішуючи першу задачу оптимізації, отримуємо оптимальні значення параметрів відеозображень згідно формул (5.16) і (5.21):

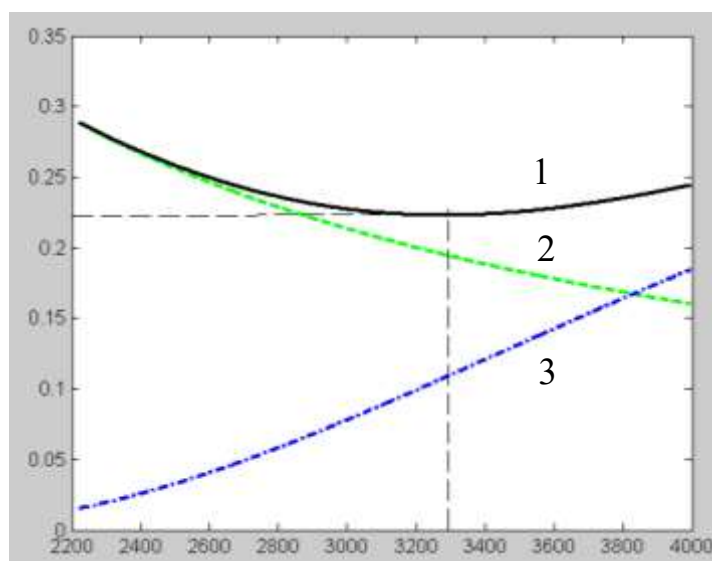
$$N_{\text{н}0} = 3281 \text{ д.т.}, \quad k_{V_{\text{н}0}} = 10,1 \text{ разів.}$$

При цьому згідно (5.19) мінімальна середньоквадратична похибка визначення координат $\sigma_{\Delta x_{\text{нб}}} = 0,22$ мм, об'єм одного початкового відеозображення $V_0 = 193,8$ Мбіта = 24,2 Мбайта, об'єм одного перетвореного відеозображення $V_{\text{зб}} = 19,2$ Мбіта = 2,40 Мбайта, а швидкодія приладової системи становить 0,04 с для одного відеозображення.

Таким чином, при заданій швидкодії приладової системи ($\delta_{\text{а}}=0,04$ с) точність вимірювань координат точок підвищено в $\sigma_{\Delta x_{\text{max}}} / \sigma_{\Delta x_{\text{нб}}} = 1,3$ рази.

Результати обчислення цільової функції приладової системи згідно (5.19) наведено на рис. 5.1 та в табл. Д.1.

$\sigma_{\Delta x}, \sigma_{\text{а}}, \sigma_V, \text{ мм}$



$N, \text{ д.т.}$

Рис. 5.1. Середньоквадратичне значення похибок вимірювань координат точок виробу (цільова функція приладової системи), мм: 1 – загальна похибка $\sigma_{\Delta x}$; 2 – похибка $\sigma_{\text{а}}$, обумовлена дискретним характером цифрового відеозображення; 3 – похибка σ_V , обумовлена зменшенням об'єму цифрових даних відеозображення в ПФВЗ

Другу задачу оптимізації параметрів відеозображень в приладовій системі сформулюємо таким чином. При заданих показниках точності приладової системи (середньоквадратичне значення похибки вимірювань координат точок виробу $\sigma_{\Delta x}$) згідно вимог нормативних документів на виробу з природного каменю [119, 123, 127] необхідно отримати максимальні показники швидкодії цієї системи. Для цього необхідно мінімізувати час формування і введення в цифрову ЕОМ одного відеозображення

$$\delta_{\text{в}} = V_{\text{зй}} / \tilde{N}_{\text{зй}} \rightarrow \min \quad (5.22)$$

шляхом добору оптимальних значень параметрів N і k_V (кількість д.т. в рядку цифрового відеозображення та коефіцієнт зменшення його об'єму).

Для зменшення $\delta_{\text{в}}$ в формулі (5.22) при фіксованому значенні пропускної здатності ППВЗ $\tilde{N}_{\text{зй}}$ необхідно мінімізувати об'єм цифрових даних відеозображення ($V_{\text{зй}} \rightarrow \min$). Таким чином, цільова функція другої задачі оптимізації на основі формул (5.2), (5.9) і (1.10) дорівнює:

$$V_{\text{зй}}(N) = \frac{V_0}{k_V} = \frac{k_i \cdot N^2 \left(\log_2 \frac{\sigma_{\text{AC}}^2 \cdot (1 - \rho_x^2)^2}{\sigma_{V_a}^2(N)} + \frac{2\lambda_V}{k_{i1}} \right)}{2k_{\delta}} \rightarrow \min, \quad (5.23)$$

де згідно формул (5.3), (5.4) і (5.13)

$$\sigma_{V_a}^2(N) = \sigma_V^2 \cdot \left(\frac{h_i}{l_i} \right)^2 = \left(\sigma_{\Delta x}^2 - \frac{\delta_x^2}{12} \right) \cdot \left(\frac{h_i}{l_i} \right)^2 = \left(\sigma_{\Delta x}^2 - \frac{l_{iA}^2}{12 \cdot k_c^2 \cdot N^2} \right) \cdot \left(\frac{h_i}{l_i} \right)^2.$$

Область допустимих значень N визначається формулами (5.17) і (5.18).

Визначимо об'єм цифрових даних відеозображення на основі (5.23) для даних прикладу з першої задачі оптимізації, якщо $\Delta_{x_{\text{max}}} = 0,7$ мм. В цьому випадку за формулами (5.17), (5.18) та з урахуванням технічних характеристик ПФВЗ маємо: $N_{\text{min}} = 1587$ д.т., $N_{\text{max}} = 4000$ д.т.

В результаті отримуємо оптимальні значення об'єму цифрових даних відеозображення і швидкодії приладової системи (рис. 5.2, табл. Д.2):

$$N_{\text{ію}} = 2020 \text{ д.т.}; V_0 = 73,5 \text{ Мбіта} = 9,19 \text{ Мбайт};$$

$$V_{\text{зію ію}} = 3,56 \text{ Мбіта} = 445 \text{ Кбайт}; k_{V_{\text{ію}}} = V_0 / V_{\text{зію ію}} = 20,6 \text{ разів};$$

$$\sigma_{\Delta x} = \Delta_{x_{\text{max}}} / \sqrt{3} = 0,40 \text{ мм}; \delta_{\text{аію}} = \frac{V_{\text{зію ію}}}{C_{\text{зію}}} = 7,42 \text{ мс.}$$

Отримані показники швидкодії приладової системи ($\delta_{\text{а}} = 7,42 \text{ мс}$) можуть бути реалізовані за умови використання спеціалізованої відеокамери.

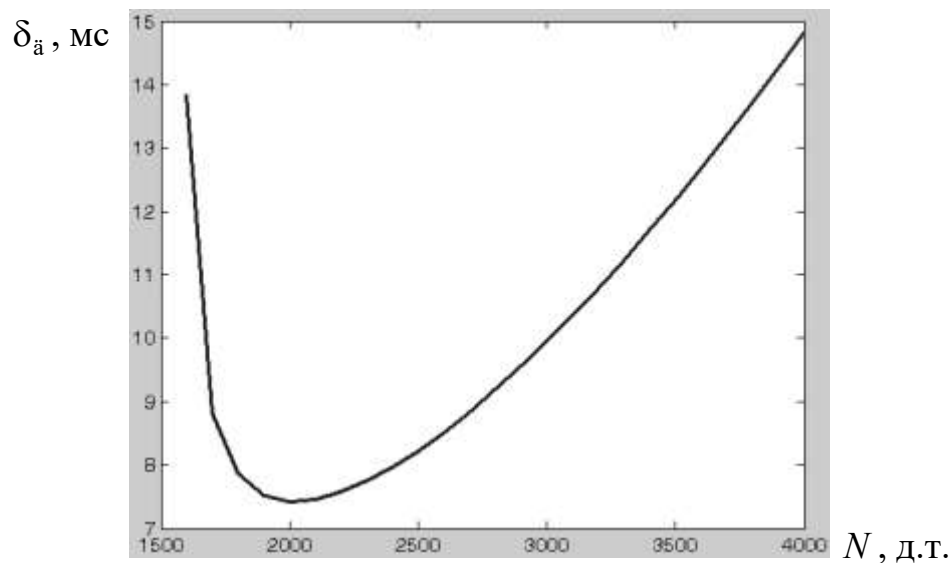


Рис. 5.2. Швидкодія приладової системи (час формування і введення в цифрову ЕОМ одного відеозображення)

Таким чином, при заданій похибці вимірювань координат точок виробу $\Delta_{x_{\text{max}}} = 0,7 \text{ мм}$ швидкодію приладової системи підвищено в $V_{\text{зію}} / V_{\text{зію ію}} = 5,4$ разів.

Третю задачу оптимізації параметрів відеозображень в приладовій системі сформулюємо таким чином. Формується часова послідовність відеозображень для визначення параметрів руху виробів (див. розділ 4). Швидкодія приладової системи задається інтервалом часу $T_{\text{ію}}$, що відводиться для оцінки параметрів руху на основі $N_{\text{ію}}$ відеозображень та обумовлений технологічним процесом виготовлення виробів [117 – 119], тобто

$$T_{\text{ію}} = (N_{\text{ію}} - 1) \cdot \delta_{\text{а}} \approx N_{\text{ію}} \cdot \delta_{\text{а}}. \quad (5.24)$$

Необхідно мінімізувати похибки визначення поточних координат і параметрів руху виробу $D_{\text{iii}} [\Delta\hat{x}_j]$, $D_{\text{iii}} [\Delta\hat{v}_j]$ і $D_{\text{iii}} [\Delta\hat{a}_j]$ (див. формули (4.46)) для заданої швидкодії приладової системи T_{io} . Для цього необхідно знайти оптимальні значення таких параметрів відеозображень: кількість д.т. в рядку цифрового відеозображення N ; коефіцієнт зменшення об'єму цифрових даних відеозображень k_V , разів; кількість відеозображень N_{io} , що використовуються для оцінки параметрів руху; інтервал дискретності часової послідовності відеозображень δ_{a} , с.

З співвідношень (4.46) і формули (5.24) отримуємо мінімальні похибки визначення поточних координат і параметрів руху виробу (цільові функції третьої задачі оптимізації):

$$D_{\text{iii}} [\Delta\hat{x}_j] = \frac{9\sigma_{\Delta x}^2 \cdot \delta_{\text{a}}}{T_{\text{io}}} \rightarrow \min, \quad (5.25)$$

$$D_{\text{iii}} [\Delta\hat{v}_j] = \frac{192\sigma_{\Delta x}^2 \cdot \delta_{\text{a}}}{T_{\text{io}}^3} \rightarrow \min, \quad (5.26)$$

$$D_{\text{iii}} [\Delta\hat{a}_j] = \frac{720\sigma_{\Delta x}^2 \cdot \delta_{\text{a}}}{T_{\text{io}}^5} \rightarrow \min. \quad (5.27)$$

При цьому дисперсія похибки вимірювань координат точок виробу за його відеозображеннями визначається формулою (5.19).

На основі заданого значення T_{io} можна мінімізувати цільові функції (5.25) – (5.27) і отримати три набори оптимальних значень параметрів відеозображень. Ці три набори параметрів є локальними рішеннями задачі багатокритеріальної оптимізації, що задається цільовими функціями (5.25) – (5.27).

В загальному випадку рішення багатокритеріальної задачі оптимізації належить множині Парето, яка містить найбільш бажані значення параметрів відеозображень [297, 389]. Для відшукування конкретних значень оптимальних параметрів серед множини Парето потрібно використовувати додаткову інформацію. Ця інформація дозволяє звести багатокритеріальну задачу оптимі-

зації до однокритеріальної [390 – 393]. Наприклад, це можуть бути вагові коефіцієнти, що визначають важливість для прикладної задачі кожного з параметрів руху, що вимірюються приладовою системою.

Шляхом оптимізації цільових функцій (5.25) – (5.27) з врахуванням формули (5.19) можна знайти оптимальні значення N і $\delta_{\text{а}}$. Коефіцієнт зменшення об'єму відеозображень в ПФВЗ k_V визначається за формулою (5.16). На основі формули (5.24) кількість відеозображень $N_{\text{ію}} = T_{\text{ію}} / \delta_{\text{а}} + 1$.

При вимірюванні параметрів руху виробів вимоги по точності та швидкодії висуваються в першу чергу до визначення поточних координат контурних точок цих виробів.

Визначимо мінімальну похибку визначення поточних координат для даних прикладу з першої задачі оптимізації, якщо $T_{\text{ію}} = 5,0$ с для звичайної відеокамери або $T_{\text{ію}} = 0,5$ с для спеціалізованої відеокамери. При цьому мініально можлива похибка одного вимірювання координати на відеозображенні $\Delta_{x_{\text{min}}} = 0,5$ мм. В цьому випадку за формулами (5.17), (5.18) з урахуванням технічних характеристик ПФВЗ маємо: $N_{\text{min}} = 2000$ д.т., $N_{\text{max}} = 4000$ д.т.

Результати оптимізації параметрів часових послідовностей відеозображень наведено на рис. 5.3, 5.4 та в табл. Д.3, Д.4. Оптимальні значення параметрів для звичайної відеокамери ($\delta_{\text{а}} = 0,04 \dots 1,00$ с) дорівнюють:

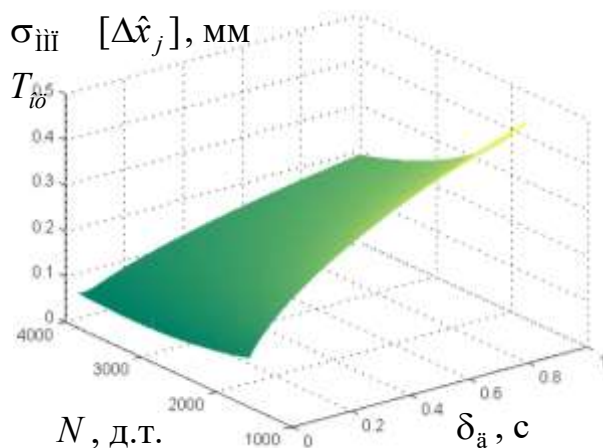
$$N_{\text{ію}} = 3302 \text{ д.т.}, \quad k_{V_{\text{ію}}} = 10,2 \text{ разів}, \quad \sigma_{\Delta x_{\text{ію}}} = 0,33 \text{ мм},$$

$$\delta_{\text{а}_{\text{ію}}} = 0,04 \text{ с}, \quad N_{\text{ію}_{\text{ію}}} = 126 \text{ відеозображень}, \quad \sigma_{\text{ііі}_{\text{ію}}} [\Delta \hat{x}_j] = 0,054 \text{ мм}.$$

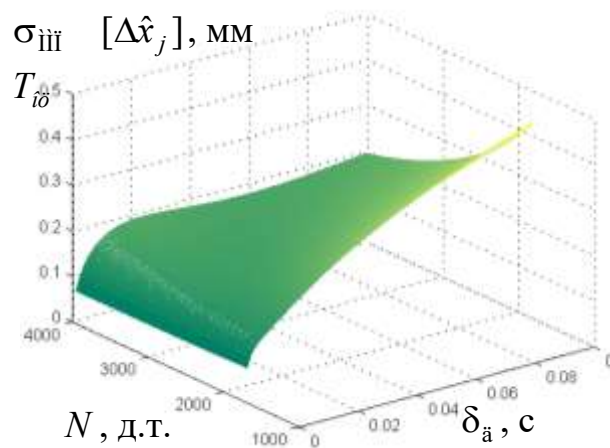
Оптимальні значення параметрів для спеціалізованої відеокамери ($\delta_{\text{а}} = 0,001 \dots 0,100$ с) дорівнюють:

$$N_{\text{ію}} = 3992 \text{ д.т.}, \quad k_{\text{ію}_{\text{ію}}} = 598 \text{ разів}, \quad \sigma_{\Delta x_{\text{ію}}} = 0,50 \text{ мм},$$

$$\delta_{\text{а}_{\text{ію}}} = 0,001 \text{ с}, \quad N_{\text{ію}_{\text{ію}}} = 501 \text{ відеозображення}, \quad \sigma_{\text{ііі}_{\text{ію}}} [\Delta \hat{x}_j] = 0,068 \text{ мм}.$$

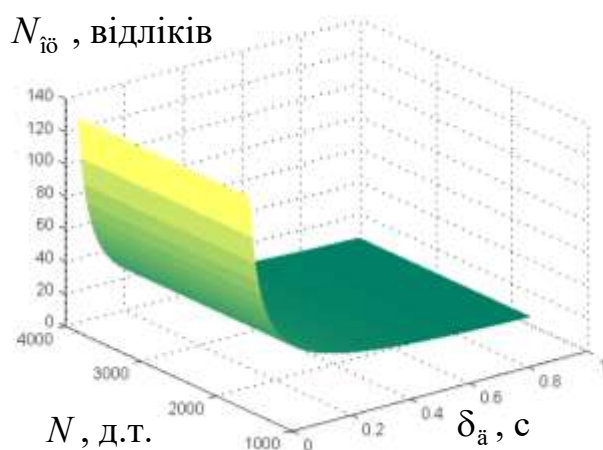


а) звичайна відеокамера

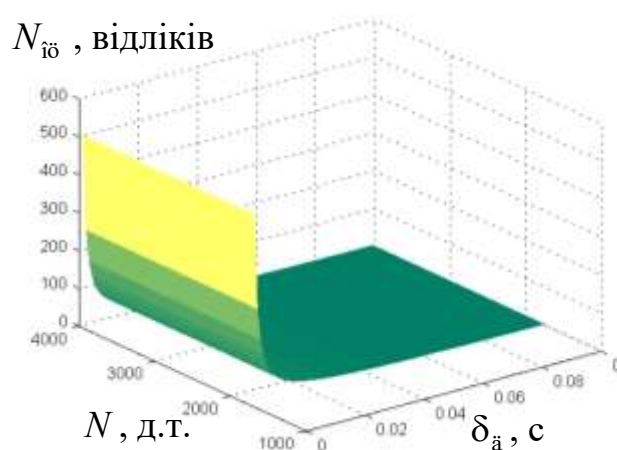


б) спеціалізована відеокамера

Рис. 5.3. Похибка визначення поточних координат виробу
(цільова функція приладової системи)



а) звичайна відеокамера



б) спеціалізована відеокамера

Рис. 5.4. Кількість відеозображень у часовій послідовності,
що використовуються для оцінки поточних координат виробу

Таким чином, точність приладової системи при використанні звичайної відеокамери (час оцінювання $T_{i0} = 5,0$ с) та процедур оптимізації параметрів відеозображень підвищено в $\sigma_{\Delta x_{i0}} / \sigma_{iii_{i0}} [\Delta \hat{x}_j] = 5,5$ разів, при використанні спеціалізованої відеокамери ($T_{i0} = 0,5$ с) – в 7,4 разів. Для спеціалізованої відеокамери потрібно використовувати ППВЗ, що відповідає її можливостям (буферна пам'ять або підключення до системної шини ЕОМ).

Четверту задачу оптимізації параметрів відеозображень в приладовій системі сформулюємо таким чином. Формується часова послідовність відеозображень виробів з природного каменю в процесі їх виготовлення (див. розділ 4). Точність приладової системи задається похибками визначення поточних координат і параметрів руху $D_{\text{iii}} [\Delta\hat{x}_j]$, $D_{\text{iii}} [\Delta\hat{v}_j]$ і $D_{\text{iii}} [\Delta\hat{a}_j]$ (див. співвідношення (4.46)) згідно нормативних документів на вироби з природного каменю [119, 123, 127]. Необхідно максимально підвищити швидкість приладової системи, тобто $T_{\text{iö}} \rightarrow \min$. Для цього необхідно знайти оптимальні значення таких параметрів: кількість д.т. в рядку цифрового відеозображення N , коефіцієнт зменшення об'єму цифрових даних відеозображень k_V , разів, кількість відеозображень $N_{\text{iö}}$, що використовуються для оцінки параметрів руху, інтервал дискретності часової послідовності відеозображень $\delta_{\text{ä}}$, с.

З першої формули співвідношень (4.46) та формули (5.24) отримуємо цільову функцію четвертої задачі оптимізації:

$$N_{\text{iö}} = \frac{9\sigma_{\Delta x}^2}{D_{\text{iii}} [\Delta\hat{x}_j]}, \quad T_{\text{iö}} = \frac{9 \cdot \sigma_{\Delta x}^2 \cdot \delta_{\text{ä}}}{D_{\text{iii}} [\Delta\hat{x}_j]} \rightarrow \min. \quad (5.28)$$

При цьому дисперсія похибки вимірювання координат точок виробу визначається за формулою (5.19).

Повторюючи наведені перетворення для другої та третьої формули співвідношень (4.46), отримуємо:

$$T_{\text{iö}} = \sqrt[3]{\frac{192 \cdot \sigma_{\Delta x}^2 \cdot \delta_{\text{ä}}}{D_{\text{iii}} [\Delta\hat{v}_j]}} \rightarrow \min, \quad (5.29)$$

$$T_{\text{iö}} = \sqrt[5]{\frac{720 \cdot \sigma_{\Delta x}^2 \cdot \delta_{\text{ä}}}{D_{\text{iii}} [\Delta\hat{a}_j]}} \rightarrow \min. \quad (5.30)$$

Шляхом оптимізації цільових функцій (5.28) – (5.30) з врахуванням формули (5.19) можна знайти оптимальні значення N і $\delta_{\text{ä}}$. Коефіцієнт змен-

шення об'єму цифрових даних відеозображень k_V визначається за формулою (5.16). На основі формули (5.24) кількість відеозображень $N_{i\ddot{o}} = T_{i\ddot{o}} / \delta_{\ddot{a}} + 1$.

Визначимо максимальну швидкість приладової системи для даних прикладу з першої задачі оптимізації, якщо $D_{i\ddot{i}\ddot{i}} [\Delta\hat{x}_j] = 0,05 \text{ мм}^2$, $\sigma_{i\ddot{i}\ddot{i}} [\Delta\hat{x}_j] = 0,23 \text{ мм}$, а мінімально можлива похибка вимірювання координати $\Delta_{x_{\min}} = 0,5 \text{ мм}$. В цьому випадку за формулами (5.17), (5.18) з урахуванням технічних характеристик ПФВЗ маємо: $N_{\min} = 2000 \text{ д.т.}$, $N_{\max} = 4000 \text{ д.т.}$

Результати оптимізації параметрів відеозображень наведено на рис. 5.5, 5.6 та в табл. Д.5, Д.6. Оптимальні значення параметрів для звичайної відеокамери ($\delta_{\ddot{a}} = 0,04 \dots 1,00 \text{ с}$) дорівнюють:

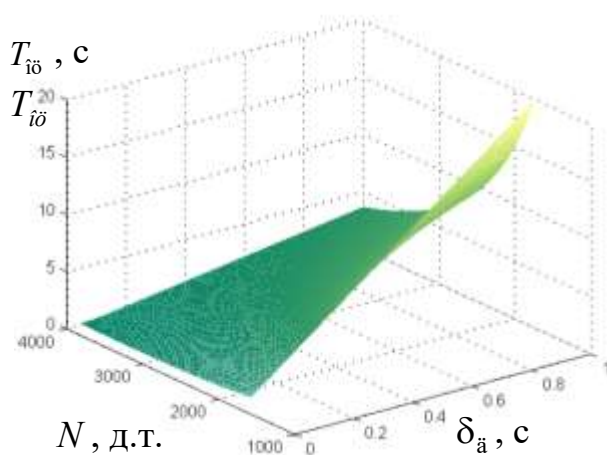
$$N_{i\ddot{o}} = 3292 \text{ д.т.}, \quad k_{V_{i\ddot{o}}} = 10,2 \text{ разів}, \quad \sigma_{\Delta x_{i\ddot{o}}} = 0,29 \text{ мм},$$

$$\delta_{\ddot{a}_{i\ddot{o}}} = 0,04 \text{ с}, \quad N_{i\ddot{o}_{i\ddot{o}}} = 8 \text{ відеозображень}, \quad T_{i\ddot{o}_{i\ddot{o}}} = 0,32 \text{ с}.$$

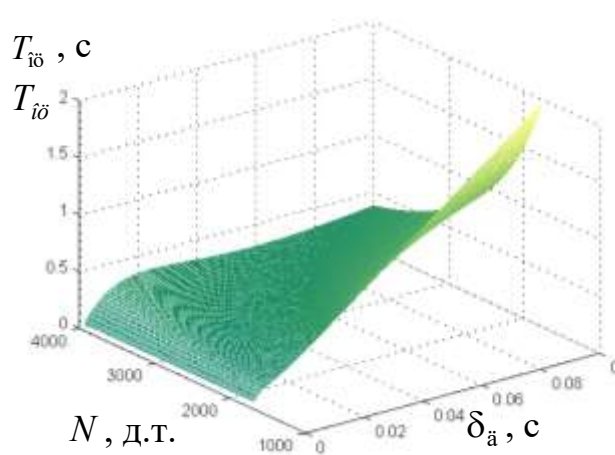
Оптимальні значення параметрів для спеціалізованої відеокамери ($\delta_{\ddot{a}} = 0,001 \dots 0,100 \text{ с}$) дорівнюють:

$$N_{i\ddot{o}} = 3972 \text{ д.т.}, \quad k_{V_{i\ddot{o}}} = 592 \text{ разів}, \quad \sigma_{\Delta x_{i\ddot{o}}} = 0,50 \text{ мм},$$

$$\delta_{\ddot{a}_{i\ddot{o}}} = 0,001 \text{ с}, \quad N_{i\ddot{o}_{i\ddot{o}}} = 46 \text{ відеозображень}, \quad T_{i\ddot{o}_{i\ddot{o}}} = 0,045 \text{ с}.$$



а) звичайна відеокамера



б) спеціалізована відеокамера

Рис. 5.5. Час оцінювання поточних координат виробів при їх русі відносно ПФВЗ (цільова функція приладової системи), с

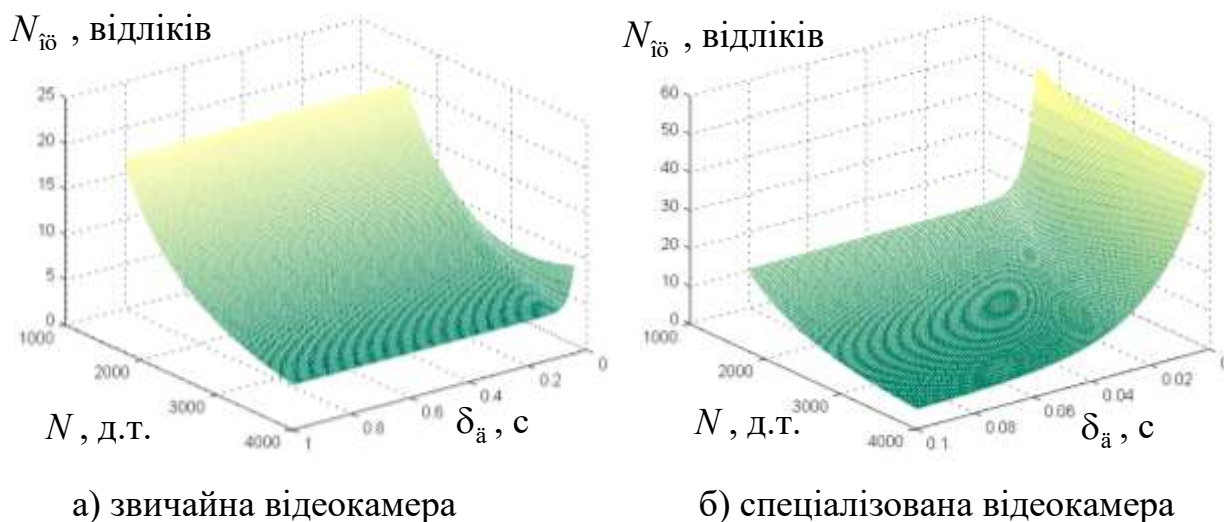


Рис. 5.6. Кількість відеозображень, що використовуються для оцінювання поточних координат виробів при їх русі відносно ПФВЗ

В результаті, швидкодію приладової системи при використанні спеціалізованої відеокамери підвищено в 7,1 разів у порівнянні із звичайною відеокамерою (похибка вимірювання координат $\sigma_{\Delta x_{\text{ïö}}} = 0,50$ мм). При цьому потрібно використовувати ППВЗ, що відповідає можливостям цієї відеокамери (буферна пам'ять або підключення до системної шини ЕОМ).

Таким чином, застосування процедур оптимізації параметрів відеозображень дозволяє суттєво підвищити точність (у 1,3...7,4 разів) та швидкодію (у 5,4...7,1 разів) приладової системи при вимірюванні ГП та параметрів руху виробів з природного каменю.