

УДК 004.94, 621.317

Ю.П. Шамаєв, В.О. Рак, І.І. Торянська

Харківський університет Повітряних Сил імені Івана Кожедуба, Харків

## ІМІТАЦІЙНЕ МОДЕЛЮВАННЯ СИСТЕМИ АКТИВНОГО КОНТРОЛЮ

В статті наведений опис методик параметричної оптимізації однобічних і двосторонніх підналадочних систем активного контролю. Приведені результати імітаційного моделювання роботи слідкуючих та дискретних підналадочних систем активного контролю для машинобудівного виробництва. Наведені висновки щодо структури та режимів функціонування системи активного контролю в залежності від точності технологічного процесу виробництва. За результатами імітаційного моделювання пропонується використання критерію створення найбільших резервів технологічної точності.

**Ключові слова:** система активного контролю, технологічна точність, параметрична оптимізація, імітаційне моделювання.

### Вступ

**Постановка проблеми.** Проблема створення ефективної системи контролю якості продукції актуальна для будь-якого підприємства, особливо на сучасному етапі, коли в підвищенні ефективності виробництва все більшого значення відіграє фактор «якість продукції», що забезпечує її конкурентоспроможність [1-2]. Ця проблема виникла в зв'язку з тим, що точність засобів активного контролю в процесі їх роботи знижується і вже не задовольняє вимогам контролю точних деталей. Зниження точності засобів контролю викликається динамічними силами, температурної деформацією, зносом вимірювальних наконечників і рухливих частин засобів вимірювальної техніки та іншими факторами.

В основному аналітичне рішення завдань, пов'язаних із проектуванням і вдосконаленням систем активного контролю й керування точністю, у більшості випадків є складним, а іноді й принципово нерозв'язним завданням. У зв'язку із цим багато із цих завдань доцільно вирішувати шляхом дослідження результатів імітаційного моделювання на сучасних засобах обчислювальної техніки.

**Аналіз публікацій.** Проведений аналіз літератури показав [2 – 6], що існує багато варіантів побудови та режимів роботи систем активного контролю на машинобудівному виробництві. Система активного контролю складається з підсистеми технологічного забезпечення процесу виготовлення виробу, підсистеми контролю режимів цього процесу і підсистеми операційного контролю виготовленого виробу. Кожна підсистема функціонує відповідно до вимог до заданого допуску на формований параметр виробу. Основним завданням для точного вимірювання є зменшення дестабілізуючих факторів на систему та досягнення найбільших резервів технологічної точності.

Таким чином, актуальності набуває питання, пов'язане з моделюванням роботи системи ак-

тивного контролю та знаходженням оптимальних схем її побудови.

**Мета статті.** Дана стаття присвячена моделюванням роботи системи активного контролю у машинобудівному виробництві та знаходженням оптимальних схем її побудови.

### Основна частина

У роботі приводяться результати дослідження дискретних способів автоматичного підналагодження верстатів шляхом використання імітаційного моделювання на ПЕОМ.

У загальному випадку реалізацію випадкової послідовності відхилення розмірів оброблених деталей  $\{x\}$  може описувати показник якості, який представляється виразом [7]

$$x = L + \mu + \xi,$$

де  $L$  – нелінійна детермінована систематична складова (тренд), що є лінійною комбінацією відомих функцій часу і випадкових величин із заданими законами розподілу, або просто невідомих величин, для яких відомі межі зміни (взагалі кажучи, різних для різних партій);

$\mu$  – регулярна, повільно змінювана (низькочастотна) випадкова функціональна корельована складова;

$\xi$  – нерегулярна, яка швидко змінюється (високочастотна), або чисто випадкова некорельована складова.

Тобто випадкова величина показника якості (розміру) може бути представлена сумою трьох величин: детермінованої складової і двох випадкових складових. Отже, закон розподілу випадкової величини показника якості (розміру) є композиція законів розподілу вказаних трьох додатків. За відсутності детермінованої складової і при нормальному законі розподілів регулярної і нерегулярної складових, а також при  $M[\mu]=x_0$  (цей випадок часто зустрічається на практиці) в результаті композиції двох но-

рмальних законів розподілу отримаємо нормальний закон розподілу з наступними числовими характеристиками:

$$M[\mu] = x_0; M\left\{\left[(x) - x_0\right]^2\right\} = D_x = K_\mu(0) + K_\xi(0).$$

Точність процесу виробництва для цього випадку визначається формулою:

$$T_x = \Phi(b/\sigma_x)100,$$

де  $\Phi(\xi) = \frac{2}{\sqrt{2\pi}} \int_0^\xi e^{-\theta^2/2} d\xi$  – функція Лапласа;  $\sigma_x = \sqrt{D_x}$  – середньоквадратичне відхилення випадкової величини  $X$ ,  $b = x - x_0$ .

Завдання управління технологічними процесами (ТП) виробництва полягає в підвищенні їх точності, тобто в забезпеченні умови  $T_y > T_x$ .

Мета управління, або цільова функція управління, сформулюється таким чином [7, 8]:

$$Ц_1 = T_y \rightarrow \max.$$

Моделювання різних способів однобічного підналагодження здійснювалося на матеріалі реальних вихідних процесів з параметрами  $0,12 < \mu\xi \leq 5$  і  $3 \leq k \leq 31$ , з монотонним зсувом настроювання. Моделювання двостороннього підналагодження виконувалося для процесів з параметрами  $1,35 < \mu\xi \leq 4$  і  $5 \leq k \leq 9$ .

При моделюванні координата сигнальної границі ухвалювалася рівної  $L = (0,5 \div 2,5)\mu$ , а величина імпульсу варіювалася в межах  $(0,5 \div 2,5)L$ .

У результаті моделювання однобічного підналагодження по першій деталі отримані залежності оптимальних параметрів (імпульсу  $A$  і сигнальних границь  $L$ ) від параметрів вихідних реалізацій.

Отримані залежності склали основу методики параметричної оптимізації однобічного підналагодження. Вихідною інформацією служать параметри випадкової реалізації, такі як величина такту запізнювання  $v$ , тип оброблюваної поверхні й допуск на розмір  $T_D$ . Розрахунок настроювання підналагодчиків з урахуванням відхилень форми  $M_p$ ,  $\sigma_p$ , температурних деформацій  $\Delta_t^\circ$  і погрешностей настроювання  $\Delta_n$  з метою створення найбільших резервів здійснюється по формулі:

$$\pm \Gamma_1 = -1^d \times$$

$$\times \left\{ (0,5 \cdot T_D - B) \pm L_1 - M_p - a \cdot (v - 1) + \Delta_t^\circ - \Delta_n \right\},$$

де  $d$  – показник ступеня, значення якого ухвалюється рівним 2 при обробці зовнішніх поверхонь і  $d = 1$  при обробці внутрішніх поверхонь;  $B$  – параметр, що обчислюється по відомих формулах з теорії підналагодження [8 – 10].

Якщо настроювання підналагодчиків монотонно зміщається до верхньої границі допуску ( $a \geq 0$ ), тоді

у формулі ухвалюється знак "+", якщо ж до нижньої ( $a < 0$ ) – знак "-".

Було також проведено порівняльне дослідження різних способів формування команди при однобічному регулюванні: по одній деталі й усередненим способам (по повторних імпульсах, по ковзній середній і медіані). У якості критерію оцінки ефективності різних способів підналагодження прийнятий максимум створюваних точнісних резервів. У результаті отримані залежності ефективності піднастройки від параметрів  $\sigma_\mu$  і  $\sigma_\xi$  процесу, які дозволяють установити нижню межу застосовності підналагодочних систем.

Крім однобічних на ПЕОМ моделювалися й двосторонні способи підналагодження в результаті чого отримані залежності для розрахунку оптимальних параметрів регулювання. Розрахунок границь настроювання при двосторонньому підналагодженні виконується як і при однобічній, тільки замість  $\Gamma_1$  і  $L_1$  підставляється величина  $\Gamma_2$  і  $L_2$ .

На підставі отриманих залежностей розроблена методика параметричної оптимізації різних способів підналагодження, реалізована на ПЕОМ і апробована у виробничих умовах. Підвищення точності при регулюванні по оптимальних параметрах складає приблизно 1,5-2 рази, крім того це сприяє створенню істотних резервів точності.

Результати порівняльного дослідження слідкуючої і дискретної підналагодочних систем дозволяють обґрунтувати критерій їх ефективності (рис. 1).

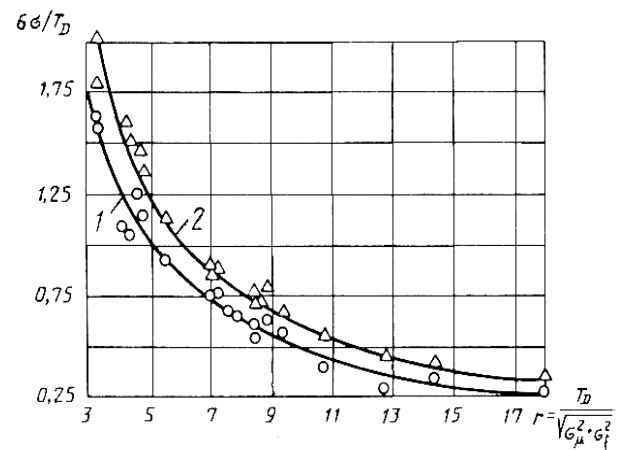


Рис. 1. Залежність зміни ефективності дискретних та слідкуючих підналагодочних систем:

- 1 – слідкуючі підналагодочні системи;
- 2 – дискретні підналагодочні системи

Так для процесів, у яких параметр

$$r = T_D / \sqrt{(\sigma_\mu^2 + \sigma_\xi^2)}$$

має значення від 5 до 6 доцільніше використовувати для слідкуючих підналагодочних систем, тому що вони дозволяють одержати резерви навіть за умови рівності погрешності регулювання допуску на розмір. Якщо ж  $r > 6$ , то ефективніше використовувати

більш дешеві способи дискретного підналагодження. Запропонований критерій може бути відкоректований, якщо задатися необхідним рівнем точнісних резервів.

Для широкого класу технологічних процесів (зовнішнього шліфування, зовнішнього й внутрішнього гостріння) точність обробки при використанні мікропроцесорної слідкуючої підналагодочної системи, як показало імітаційне моделювання на ПЕОМ роботи такої системи, зростає в 1, 5-3 рази за рахунок компенсації як систематичних, так і випадкових функціональних погрешностей металообробки. Здатність системи адаптуватися до грубих погрешностей дозволяє реалізувати її в умовах гнучкого автоматизованого виробництва [3, 7].

Таким чином, розроблені рекомендації зі структурного синтезу однобічного підналагодження.

## Висновки

Застосування методик параметричної оптимізації однобічних і двосторонніх підналагодочних систем дозволяє зменшити поле розсіювання погрешностей регулювання в 1, 5-2 рази й підвищити надійність і довговічність експлуатації оброблених деталей за рахунок створення необхідних резервів технологічної точності.

Для технологічного процесу із грубими погрешностями обробки доведена ефективність застосування усереднених методів підналагодження. Вибір способу формування підналагодочного імпульсу при автоматизованому проектуванні рекомендується здійснювати на основі критерію створення найбільших резервів технологічної точності за результатами імітаційного моделювання на ПЕОМ.

Результати дослідження можуть бути застосовані на складних машинобудівних виробництвах, де необхідна високоточна обробка деталей для різних технологічних процесів.

## ИМИТАЦИОННОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ АКТИВНОГО КОНТРОЛЯ

Ю.П. Шамаев, В.А. Рак, И.И. Торянская

*В статье приведено описание методик параметрической оптимизации односторонних и двусторонних подстроечных систем активного контроля. Приведены результаты имитационного моделирования работы следящих и дискретных подстроечных систем активного контроля для машиностроительного производства. Приведенные выводы относительно структуры и режимов функционирования системы активного контроля в зависимости от точности технологического процесса производства. По результатам имитационного моделирования предлагается использование критерия создания наибольших резервов технологической точности.*

**Ключевые слова:** система автоматизации, технологическая точность, параметрическая оптимизация, имитационное моделирование.

## SIMULATION OF ACTIVE CONTROL

Yu.P. Shamaiev, V.O. Rak, I.I. Torianska

*The article describes methods of parametric optimization of unilateral and bilateral trimming systems of active control. The results of the simulation work tracking and digital trimming active control systems for engineering production. These conclusions regarding the structure and the active control system operating modes depending on the accuracy of the manufacturing process. According to the results of simulation provided the use of the criterion of the creation of the largest reserves of technological precision.*

**Keywords:** automation system, technological precision, parametric optimization, simulation.

## Список літератури

1. Лазаренко И.В. Система активного контроля для обрабатывающего центра / И.В. Лазаренко, А.В. Федотов // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. – 2012. – № 12. – С. 21-25.
2. Управление качеством обработки деталей подшипников [Электронный ресурс]. – Режим доступа до ресурсу: <http://www.mechdedign.ru/articles/upravlenie-kachestvom-obrabotki-detaley-podshipnikov.html> – Назва з екрана. – Дата звернення: 10.04.16.
3. Ped' S.E. Investigation of the Procedure Error of Coordinate Measurements of the Geometric Parameters of Machine Parts/ S.E. Ped' // Measurement Techniques. – 2014.- Т. 57, № 3. – С. 266-272.
4. Podorozhniak A. Method of synthesis of the automatic control system adjustment circuit parameters / A. Podorozhniak, S. Gerasimov, O. Mozhayev, O. Nakonechnyi // Nauka i studia. – 2015. – № 12 (143). – С. 61-67.
5. Строгалев В. П. Имитационное моделирование / В.П. Строгалев, И.О. Толкачева // — М.: МГТУ им. Баумана, 2008. — 280 с.
6. Маслов А.Р. Инструментальная оснастка станков с ЧПУ / С.Н. Григорьев, М.В. Кохомский, А.Р. Маслов. – М.: Машиностроение, 2006. – 544 с.
7. Леун В.И. Эффективность приборов управляющего контроля в инструментальном производстве / В.И. Леун, А.П. Цымбаленко, Д.С. Ан // Динамика систем, механизмов и машин: материалы IV Междунар. науч.-техн. конф. – Омск, 2002. – Кн. 1. – С. 304-306.
8. Подорожняк А.О. Модернізація системи обробки виміральної інформації для метрополітену / А.О. Подорожняк, Г.В. Вернидуб, О.І. Баленко // Системи обробки інформації. – Харків: ХУ ПС. – 2015. – № 8 (133). – С. 12-16.
9. Базров Б.М. Основы технологии машиностроения / Б.М. Базров. – М. Машиностроение, 2005. – 736 с.
10. Минаев А.М. Обработка металлов резанием / А.М. Минаев. – Тамбов: ТГТУ, 2005. – 96 с.

Надійшла до редколегії 15.03.2016

**Рецензент:** д-р техн. наук проф. В.Б. Кононов, Харківський університет Повітряних Сил ім. І. Кожедуба, Харків.