

УДК 004.896

Г. П. Міхнєва

Національний авіаційний університет

ІНФОРМАЦІЙНА ТЕХНОЛОГІЯ ОБРОБКИ ІНФОРМАЦІЇ В ІНТЕЛЕКТУАЛЬНІЙ СИСТЕМІ КЕРУВАННЯ КООРДИНАТНО-ВИМІРЮВАЛЬНОЇ МАШИНИ

Розглянута задача обробки інформації системою керування координатно-вимірювальною машиною в реальному режимі часу при контролі деталі складної форми, що описується декількома параметрами, при неповній апріорній інформації та в умовах часткової інформації в процесі функціонування системи. Наведено структурну схему інформаційного потоку та узагальнений алгоритм обробки інформації в координатно-вимірювальних машинах.

Ключові слова: системи керування, координатно-вимірювальні машини, контроль деталі складної форми, інтелектуальні інформаційні технології.

Рассмотрена задача обработки информации системой управления координатно-измерительной машины в реальном режиме времени при контроле детали, имеющей сложную поверхность, которая описывается несколькими параметрами, при неполной априорной информации и в условиях получения частичной информации в процессе функционирования системы. Приведена структурная схема информационного потока и обобщенный алгоритм обработки информации в координатно-измерительных машинах.

Ключевые слова: системы управления, координатно-измерительные машины, контроль детали сложной формы интеллектуальные информационные технологии

The problem of information processing in the management of coordinate measuring machine in real time under the control of complex parts, which is described by several parameters with incomplete prior information in terms of obtaining partial information in the system. The article presents a block diagram of information flow and the generalized algorithm of information processing in the coordinate measuring machines.

Key words: control systems, coordinate measuring machines, control details complex shape, intelligent information technology

Вступ. Світові тенденції розвитку сучасного промислового

виробництва характеризуються безперервним підвищенням якості та конкурентоспроможності виробів.

Одним з визначальних факторів зростання якості складно-профільних деталей машинобудування та приладобудування є створення нових наукових підходів до вдосконалення системи керування технологічними системами та процесами виробництва і контролю.

У даний час, для контролю якості продукції широко застосовують координатно-вимірювальні машини (КВМ). Найважливішими вимогами, що пред'являються до систем керування КВМ є точність, швидкодія, енергоспоживання та достовірність отриманих результатів вимірювань, які залежать від кількості та якості апріорної інформації, та від реалізованих у системі способів, методів та алгоритмів обробки інформації.

Аналіз досліджень та публікацій показав, що існуючі системи керування КВМ базуються на аналітичному апараті управління, який передбачає роботу в повністю детермінованих зовнішніх та внутрішніх умовах з апріорі відомими вхідними даними [1; 2] і пов'язаний з обчислювальними труднощами. Проте, порушення вказаних умов, а також довготривала дія дестабілізуючих факторів при роботі координатно-вимірювальної системи призводять до зниження ефективності функціонування системи побудованої на класичних методах керування [3; 4].

За останні роки інтенсивно розробляються інтелектуальні інформаційні технології по методам керування системою.

Інтелектуалізація, як ключовий напрямок у розвитку сучасних інформаційних технологій, є важливим фактором підвищення ефективності функціонування систем. У першу чергу, це стосується сфери автоматизації керування виробничими процесами. Діапазон застосування інтелектуальних технологій з кожним роком постійно розширюється, охоплюючи все нові галузі управління, контролю та діагностики.

Інтелектуальні інформаційні технології (ІІТ) сьогодні передують в промисловості і являють собою потужний механізм моделювання та відтворення складних багатфакторних процесів, в умовах, де лінійна апроксимація працює нестабільно. Зазначимо, що найбільш широко використовуються методології побудови ІІТ при створенні інформаційно-керуючих систем, що засновані на моделях представлення знань, м'яких обчислювань [5; 6], і об'єднали нечітку логіку [7], нейротехнології та генетичні алгоритми [8; 9]. Важливою особливістю застосування методів побудови ІІТ в керуючих системах є невисока чутливість методів до повноти опису роботи комплексу і здатність до адаптації за умов швидкоплинних процесів функціонування системи.

Зазначені особливості побудови методів ІТ дають можливість їх використання у системах керування складними технічними об'єктами, і, зокрема, у системі керування рухом КВМ у процесі обходу деталі.

Постановка задачі. Розглянемо задачу керування КВМ у реальному режимі часу при контролі складної деталі, що описується декількома параметрами при неповній апріорній інформації, та в умовах отримання часткової інформації в процесі функціонування системи.

Будемо вважати, що початковий стан системи не визначений (частково або повністю), а обсяг інформації про об'єкт вимірювання та параметри функціонування системи, що надходить кожного моменту часу недостатній для формулювання і розв'язання класичної задачі керування.

Розв'язання задачі. У [2] представлений узагальнений алгоритм обробки інформації в КВМ при контролі деталі складної форми (рис. 1).

Кожна точка реальної поверхні вимірюється за даними номінального її положення в напрямку нормалі до поверхні в цій точці. При значній відстані точки вимірювання від нормалі повинно виконуватися повторне вимірювання за скоригованими даними управління операцією.

Оцінка відхилень від заданої траєкторії обходу деталі залежить від обраного критерію оцінки. При вимірюванні окремих точок визначається відхилення від форми в напрямку нормалі до поверхні та оцінюється за відношенням до допусків зміни форми між сусідніми точками.

Оцінка відхилень товщини стінки передбачає зіставлення точок вимірювання перерізу по зовнішньому і внутрішньому контурах і може здійснюватися за аналогічними критеріями. При цьому, в якості номінальних розмірів, вказуються відстані між точками контурів, які зіставляються.

Оцінка вписування вимірюваного профілю в заданий номінальний дозволяє виключити постійне зміщення і поворот реальної поверхні і визначити відхилення і відповідність їх допускам в умовах найкращого вписування цих поверхонь. Критерієм оцінки найкращого вписування може бути встановлена мінімальна сума відстаней між номінальним профілем і точками фактичного профілю або інші показники. Кут повороту та зміщення фактичного профілю поверхні

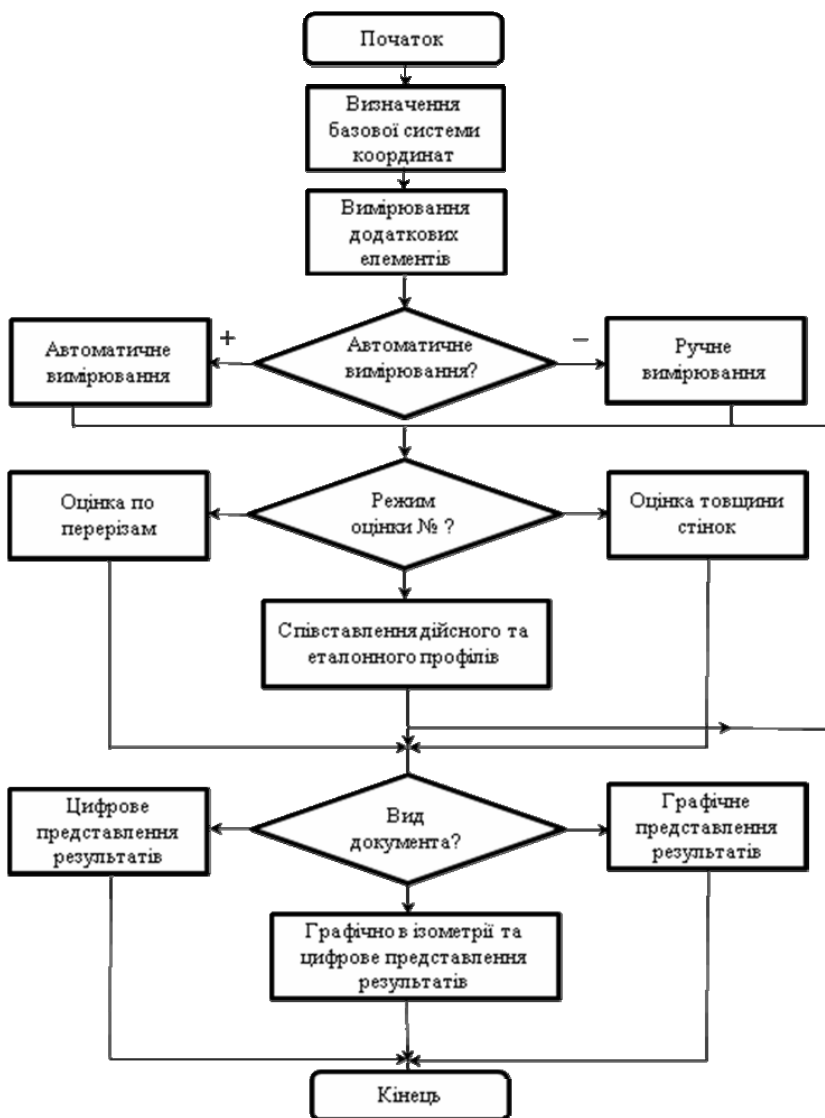


Рис.1. Алгоритм обробки інформації в координатно-вимірювальній машині при контролі деталі складної форми

при цьому можуть використовуватися в якості даних для завдання або коригування системи координат деталі по вимірюваній складній поверхні.

Результати вимірювань можуть бути представлені в числовому вигляді як протокол вимірювань і в графічному вигляді як масштабовані зображення відхилень у точках вимірювання профілю та гістограми напрямків векторів нормалей у цих точках.

У сучасних КВМ всі основні процеси вимірювання автоматизовані за допомогою відповідних електронних, електромеханічних систем та засобів обчислювальної техніки [13].

Робота узагальненого алгоритму обробки інформації в КВМ при контролі деталі складної форми, представленого на рисунку 1, передбачає наявність повної та точної інформації про об'єкт вимірювання. Цей алгоритм не адаптивний в умовах дії дестабілізуючих факторів статичного і динамічного характеру.

Тому для вирішення задачі керування КВМ у реальному режимі часу при контролі складної деталі при неповній апріорній інформації та в умовах отримання часткової інформації в процесі функціонування системи розглянемо динамічну систему виду [10]

$$\dot{X}(z, t) = \Phi(U(z, t), X(z, t)), \quad (1)$$

де $X(z, t)$ – вектор – функція стану; z – вектор координат; t – час; Φ – оператор неперервний на X ; U – керуючий вплив.

Початковий стан $\tilde{O}(z, 0) = \{x_i(z, 0)\}$ не визначений, але визначена область значень

$$\tilde{O}(z, 0) \in D, \quad D := \{X(z, 0) \mid \min x_i(z, 0) \leq x_i(z, 0) \leq \max x_i(z, 0)\}.$$

Кожного моменту часу t_p відомий вектор спостережень ω^*_{pk} , $\omega^*_{pk} = R \cdot X^*(z_k, t_p)$, $k = \overline{1, K}$, $p = \overline{1, N}$, де z_k – вектор координат; R – матриця переходу від вектора спостережень ω^*_{pk} до відповідного вектора станів $X^*(z_k, t_p)$.

Вважаємо, що для кожного керуючого впливу $U(z, t)$ визначеного на інтервалі $0 \leq t \leq t^*$ для різних початкових станів вектори спостережень мають різні значення. Необхідно знайти керування системою, що забезпечує

$$\min J = \int_0^{t^*} \int_V f(X(z,t), U(z,t)) dV dt \Rightarrow \min_u J \quad (2)$$

при обмеженнях

$$\begin{aligned} d(z_k, t^*, X_0(z)) &\leq 0 \\ g_{pk} &= |\omega_{pk}^* - \omega_{pk}| \leq \varepsilon, \quad g_{pk} \in G, \\ k &= \overline{1, K}, \quad p = \overline{1, N}, \end{aligned} \quad (3)$$

де f – задана функція міри ефективності управління; d – відома функція; X_0 – необхідне значення вектор-функції стану в момент часу t^* ; G – область значень g_{pk} ; V – область, зайнята об'єктом; ε – задане мале число.

Однією з задач, які виникають у процесі побудови інтелектуальної системи керування є опис інформаційного потоку в КВМ, структурна схема якого представлена на рисунку 2.

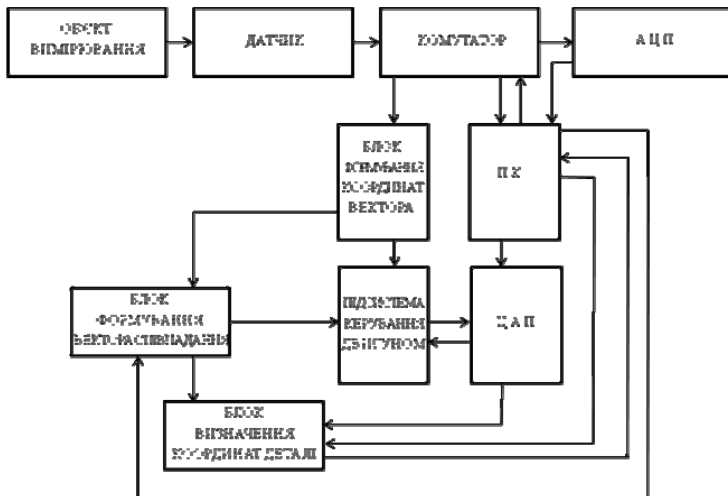


Рис. 2. Структурна схема інформаційного потоку в координатно-вимірювальній машині

У процесі вимірювання деталі на КВМ інформація надходить до системи обробки інформації в моменти часу (t_1, t_2, \dots, t_N) . Тому задачу оптимального керування процесом вимірювання в реальному часі можна розглядати як завдання управління дискретною динамічною систе-

мою, що складається з N умовних підсистем, кожна p -та з яких змінюється в часі на інтервалі $t_{p-1} \leq t \leq t_p$. При цьому для кожної p -ої підсистеми можна сформулювати завдання оптимізації, що полягає в пошуку оптимального керування $\tilde{U}_{opt}(t)$ для завдання

$$J = \int_0^{t^* - t_{p-1}} f(\tilde{U}_p(\tau^p), \tilde{X}_p(\tau^p), \tau^p) d\tau^p \Rightarrow \min_u \quad (5)$$

при

$$C\tilde{X} = Q(\tilde{X}_p(\tau^p), \tilde{U}_p(\tau^p), \tau^p), 0 \leq \tau^p \leq t^* - t_{p-1}. \quad (6)$$

$$\tilde{X}_p(0) = X_{p-1}(t_{p-1}),$$

$$\tilde{N}(\theta) \cdot X = Q(X(t), U(t), t, \theta),$$

де τ^p – умовний час для p -ої підсистеми; $\tilde{N}(\theta)$ – матриця коефіцієнтів; $Q(X(t), U(t), t, \theta)$ – нелінійна вектор-функція; $X(t) = \{X_i(t)\}$; $U(t) = \{U_i(t)\}$; θ – вектор невідомих початкових значень функції стану в точках дискретизації, $\theta = \{\theta_i\}$, $\theta_{\min} \leq \theta_i \leq \theta_{\max}$.

Будемо вважати, що кожен реальний момент часу t_{p-1} є початковим для p -ої підсистеми, а стан $X_{p-1}(t)(p-1)$ – ої системи в кінцевий момент часу t_{p-1} є початковим станом p -ої системи. Тоді після розв'язання задачі (5, 6) можемо синтезувати оптимальне керування на ділянці $t_{p-1} \leq t \leq t_p$ з використанням апарату штучних нейронних мереж, зокрема, нейронної мережі Хопфілда, яка складається з множини нейронів і відповідної множини одиничних затримок, і формують систему з великою кількістю зворотних зв'язків.

Алгоритми навчання нейронних мереж аналогічні алгоритмам пошуку глобального екстремуму функцій багатьох змінних. Алгоритм управління потоками на одному вузлі полягає в наступному. На вхід нейронної мережі з числом нейронів N надходить вимірювальна інформація, відповідно до якої мережа знаходить образ на виході і встановлюється у стан рівноваги. Від аналізатора мережі поступає інформація про кількість вузлів в мережі, зокрема, каналів, які об'єднують ці вузли, вузол призначення, кількість можливих маршрутів до вузла призначення. На виході такої мережі має утворитися маршрут залежно від всіх цих факторів.

Даний клас задач може бути сформульований у вигляді задачі комівояжера. При формулюванні таких задач у термінах оптимізації функції Ляпунова нейронна мережа дає потужний інструмент пошуку найближчого рішення.

Рішення класичної задачі комівояжера завдання формулюється так: у нейронній мережі з $N = n^2$ нейронів з $n!/2n$ маршрутів вибрати один з найменшою довжиною (статки кожного нейрону описується двома індексами).

Для вирішення даної задачі складається функція обчислювальної енергії для нейронної мережі. Вважаємо, що стан з найменшою енергією відповідає найкоротшому шляху. У загальному вигляді така функція для нейронної мережі Хопфілда має вигляд:

$$E = -\frac{1}{2} \sum_i \sum_j w_{ij} Y_i Y_j - \sum_j I_j Y_j - \sum_j T_j Y_j, \quad (7)$$

де E – штучна енергія мережі; w_{ij} – вага від входу нейрона i до входу нейрона j ; Y_j – вихід нейрона j ; I_j – зовнішній вхід нейрона j ; T_j – поріг нейрона j .

Зміна енергії, що викликана зміною стану j -нейрона, можна представити

$$\delta E = (\sum_i (w_{ij} Y_i) + I_j - T_j) \delta Y_j, \quad (8)$$

де δY_j – зміна виходу j -го нейрона.

Для даної системи функція енергії повинна задовольняти наступним вимогам: підтримувати стійкість рухів; функція енергії відповідає коротким маршрутам руху системи.

Цим вимогам задовольняє функція енергії виду (при цьому $Y_j = 0, 1$):

$$E = \frac{A}{2} \sum_x \sum_i \sum_{j \neq i} Y_{xi} Y_{xj} + \frac{B}{2} \sum_i \sum_x \sum_{k \neq i} Y_{xi} Y_{ki} + \frac{C}{2} \left(\sum_x \sum_i Y_{xi} - n \right)^2 + \frac{D}{2} \sum_x \sum_{k \neq x} \sum_i d_{xk} Y_{xi} (Y_{kj+1} + Y_{kj-1}), \quad (9)$$

де A, B, C, D – позитивні множники.

Перший член дорівнює нулю, якщо проходимо точку тільки один раз, другий член дорівнює нулю, якщо в кожен момент часу проходимо лише одну точку. Третій член дорівнює нулю, якщо проходимо всі задані контрольні точки. При виконанні цих умов функція енергії має

мінімуми в усіх станах, якщо вимірювання проводиться за всіма точками і тільки один раз. Усі інші стани мають більш високу енергію.

Також при побудові інтелектуальної системи керування необхідно врахувати, що в інформаційно-керуючій системі (ІКС) КВМ при вимірюванні одного параметра використовуються сигнали не менш ніж двох датчиків. Основним завданням ІКС КВМ є підвищення точності вимірювань. Тому, це питання вирішується шляхом застосування методу комплексування. Інформація, що отримується в результаті комплексування, забезпечує завадостійкість, надійність, чутливість і точність роботи всієї системи в цілому, а також незалежність її від дії зовнішніх дестабілізуючих факторів.

Розглянемо метод комплексування на прикладі ІКС КВМ з двома вимірювальними перетворювачами.

Прийемо умову що $m(t)$ – вимірювана величина; $n_1(t)$, $n_2(t)$ – похибки датчиків вимірювань ІКС КВМ.

Апріорі відомо, що спектри перешкод розташовані переважно в низькочастотній та високочастотній областях.

На виході результуючого пристрою маємо сигнал $n_1(t) - n_2(t)$. Передаточна функція $F(s)$ вибирається так, щоб фільтр з мінімальними спотвореннями пропускав $n_1(t)$ і придушував $n_2(t)$. Тоді сигнал на виході другого віднімаючого пристрою буде близький до сигналу що вимірюється $x(t) = m(t) + \varepsilon(t)$, де $\varepsilon(t)$ – похибка ІКС КВМ.

Для мінімізації похибки передатна функція $F(s)$ повинна відповідати фільтру низьких частот. Тоді $1 - F(s)$ буде характеристикою фільтра високих частот.

Існують похибки ІКС КВМ, які виникають за результатом дії систематичних і випадкових збурень. Вважається, що систематичні похибки враховуються за допомогою засобів і методів оцінки та компенсації похибок. У подальших розрахунках враховуються тільки випадкові похибки датчиків, які передбачаються стаціонарними випадковими взаємно некорельованими гаусовими процесами з дрібно-раціональними спектрами та рівними нулю середніми значеннями.

У роботах Заде і Рагацціні [11] в якості критерію оптимуму використано мінімум величини СКВ перетворення випадкової компоненти корисного сигналу при рівності нулю похибки перетворення не випадкової складової.

Знайдемо оптимальну передаточну функцію керування. Візьмемо за основу критерій мінімуму СКВ і обчислимо відповідне цій характеристиці значення СКВ вимірювання.

Випадкова похибка вимірювання

$$\varepsilon_{\bar{n}}(t) = n_1(t) - \int_0^{\infty} [n_1(t-\tau) - n_2(t-\tau)]k(\tau)d\tau,$$

де $k(\tau)$ – підінтегральна функція.

Відповідне значення визначається формулою

$$\begin{aligned} \overline{\varepsilon_{\bar{n}}^2} = & R_{n_1}(0) - 2 \int_0^{\infty} R_{n_1}(t)k(t) dt + \int_0^{\infty} \int_0^{\infty} [R_{n_1}(t-\tau) + R_{n_2}(t-\tau)] \times \\ & \times k(t)k(\tau) dt d\tau. \end{aligned}$$

Необхідна і достатня умова мінімуму функціонала записується наступним чином [12]

$$\int_0^{\infty} [R_{n_1}(t-\tau) + R_{n_2}(t-\tau)]k(\tau)d\tau = R_{n_1}(t), \quad t > 0.$$

Розв'язання цього рівняння знаходиться за формулою [12]

$$F(s) = \frac{1}{\Psi(s)} \left[\frac{S_{n_1}(s/j)}{\Psi^*(s)} \right]_+,$$

де $S_{n_1}(s/j) = \frac{2a\sigma_{\bar{B}X}^2}{H^2(s^2 - \beta^2) \cdot (s^2 - a^2)}$ – спектральна щільність похибки вимірювального датчика;

$$\begin{aligned} \Psi(s) &= \left[S_{n_1}(s/j) + S_{n_2}(s/j) \right]^+, \\ \Psi^*(s) &= \left[S_{n_1}(s/j) + S_{n_2}(s/j) \right]^-. \end{aligned}$$

Передаточну функцію вимірювального датчика за відношенням до дестабілізуючого впливу представимо у вигляді

$$\hat{O}_1(s) = \frac{1}{H(s+\beta)},$$

з тим, щоб після одержання оптимальної характеристики спрямувати β до нуля.

Знайдемо значення СКВ, відповідне оптимальній характеристиці руху системи. Використовуючи для цього необхідну і достатню умову оптимуму, вираз для СКВ представимо у вигляді:

$$\left(\overline{\varepsilon_N^2}\right)_{\min} = R_{n1}(0) - \int_0^{\infty} R_{n1}(t) k(t) dt,$$

де $k(t)$ – оптимальна імпульсна перехідна функція, відповідна передавальній функції.

Перейдемо до комплексної змінної, і перетворимо цей вираз таким чином:

$$\left(\overline{\varepsilon_N^2}\right)_{\min} = \frac{1}{2\pi j} \int_{-\infty}^{+\infty} R_{n1}(s/j) [1 - \Phi(-s)] ds. \quad (10)$$

Виконаний розрахунок за формулою (10) дає таке значення СКВ вивірювання, яке показує, що проведений синтез у класі систем з невідомою структурою збільшує точність у два рази.

Висновки. Розроблена інформаційна технологія, яка базується на використанні апарату штучних нейронних мереж і дозволяє сформулювати алгоритм інтелектуального керування КВМ, що ідентифікує систему і керує нею в реальному режимі часу

Бібліографічні посилання

1. Координатные измерительные машины и их применение / [А. Ю. Каспарайтис, М. Б. Модестов, З. А. Раманаускас и др.; под ред. А. А. Гапшиса] – М., 1988. – 328 с.
2. **Гапшис А. А.** Координатные измерительные машины / А. А. Гапшис, А. Ю. Каспарайтис // Станкостроение Литвы. – 1986. – №14. – С.5 – 11.
3. **Дмитриев А. К.** Основы теории построения и контроля сложных систем / А. К. Дмитриев, П. А. Мальцев. – Л., 1988. – 340 с.
4. **Тимофеев А. В.** Адаптивные робототехнические комплексы / А. В. Тимофеев. – Л., 1988. – 332 с.
5. **Заде Л. А.** Роль мягких вычислений и нечеткой логики в понимании, конструировании и развитии информационных интеллектуальных систем / Л. А. Заде // Новости искусственного интеллекта, 2001. – №2 – 3. – С. 7 – 11.
6. **Аверкин А. Н.** Мягкие вычисления и измерения / А. Н. Аверкин, С. В. Прокопчина // Интеллектуальные системы – М., 1997. – Т.2, Вып. №1-4. – С. 93 – 114.
7. Нечеткие множества в моделях управления и искусственного интеллекта / [А. Н. Аверкин, И. З. Батыршин, А. Ф. Блишун и др.; под ред. Д. А. Поспелова] – М., 1986. – 312 с.

8. **Комашинский В.И.** Нейронные сети и их применение в системах управления и связи / В. И. Комашинский, Д. А. Смирнов. – М., 2003. – 94 с.
9. **Вороновский Г. К.** Генетические алгоритмы, искусственные нейронные сети и проблемы виртуальной реальности / Г. К. Вороновский, К. В. Махотило, С. Н. Петрашев, С. А. Сергеев. – Х., 1997. – 112 с.
10. **Ободан Н. И.** Интеллектуальная система управления технологическим процессом с распределенными параметрами / Н. И. Ободан, Н. А. Гук // Управляющие системы и машины. – 2007. – №6. – С. 3 – 8.
11. **Zadeh L. A.** An extension of wiener`s theory of prediction / L. A. Zadeh, J. R Ragazzini // Applied physics. – 1950. – Vol.21. – №7. – P. 645–655.
12. **Петров В. В.** Основы динамической точности автоматических информационных устройств и систем / В.В. Петров, А.С. Усков. – М., 1976. – 216 с.
13. **Квасников В. П.** Повышение точности и быстродействия информационно-измерительных систем механических величин объектов со сложными пространственными поверхностями / В. П. Квасников. – Черкассы, 2002. – 192 с.

Надійшла до редколегії 20.07.11