

доцільним існування спрощеного (в схемотехнічному плані) варіанта киснеміра, в якому передбачено ручне регулювання коефіцієнта перетворення.

**Висновок.** Отже, нами запропонована конструкція первинного перетворювача концентрації кисню для контролю останнього у воді теплоагрегатів. Ця конструкція, на відміну від існуючих, передбачає роботу в діапазоні температур від 10 до 85 °С, що дає можливість контролювати концентрацію кисню в тракці вакуумних деаераторів без застосування пристроїв підготовки проб. Реалізація в перетворювачі ультразвукового перемішування дає змогу встановлювати його (перетворювач) в слабоциркулюючі об'єми води без додаткового встановлення перемішувачів.

Крім того, розглянуто питання градування перетворювачів, які працюють в розширених діапазонах температур.

1. Живилова Л.М., Маркин Г.П. *Автоматический химический контроль теплоносителя ТЭС.* – М. 1987. 2. Альперин В.З., Конник Э.И., Кузьмин А.А. *Современные электрохимические методы и аппаратура для анализа газов в жидкостях и в газовых смесях.* – М. 1975. 3. *Ультразвук.* / Глав. ред. Голямина И.П. – М. 1979. 4. *Кислородомер мембранный автоматический типа АКП-205. Паспорт 1Е2.850.235 ПС.* 1997.

УДК 621.372

**Орест Івахів**

НУ “Львівська політехніка”,  
кафедра інформаційно-виміральної техніки

## **ЗАСАДИ ДОЦІЛЬНОГО ПРОЕКТУВАННЯ АДАПТИВНО-ЦИКЛІЧНОЇ СИСТЕМИ**

© Івахів Орест, 2001

**The analog sources serving combine regular-adaptive type system designing practicability in the minimal channel capacity demands with the desired total renovation error sence is investigated in this paper.**

**Вступ.** Вимірювання – обов'язкова складова практичної діяльності людини. Вимірювання не здійснюються заради самих вимірювань. Вони підпорядковані певній меті вивчення природних закономірностей досліджуваного об'єкта, його стану, прогнозування його поведінки на майбутнє. Оскільки об'єкти вимірювання (зокрема, і в теплоенергетиці) ускладнюються, збільшується кількість вимірюваних параметрів, то для їх обслуговування використовуються вимірвальні системи, вимірвально-обчислювальні комплекси та мережі з широкою номенклатурою просторово розподілених вимірвальних перетворювачів – джерел вимірвальної інформації [1]. Ці новітні засоби дають змогу звільнити людину від формалізованого опрацювання вимірвальної інформації, а при їх проектуванні застосовуються сучасні інформаційні технології: компресування [2–6], теорія нейронних мереж [7–16], розмитих множин [17–22] та експертних систем [23–26]. Зокрема, протягом останніх років активно проектують вимірвальні системи, адаптивні до інформаційного потоку, які дають змогу економніше використовувати наявну пропускну здатність каналу зв'язку, обсяги пам'яті, знизити вимоги до швидкодії обчислювальних засобів. Найчастіше

компресування в цих системах забезпечується адаптивним комутуванням або поліноміальними прогнозерами чи інтерполяторами [27–32]. Зменшуючи надлишковість, адаптивне подання сукупності параметрів породжує появу сумарного потоку відліків, випадковість якого проявляється як у хаотичному їх надходженні від різних джерел вимірювальної інформації (звідси потреба в ідентифікуванні відліків окремих джерел), так і у випадковості моментів появи повідомлень в системах з прогнозерами (інтерполяторами). Потреба в додатковій службовій інформації дещо знижує ефективність компресування вимірювальної інформації і при певних частотних властивостях сукупності джерел може повністю нівелювати його [33]. Саме тому доцільно дослідити можливість створення комбінованої, адаптивно-циклічної системи [34–36], в якій частина джерел обслуговується адаптивно, а частина – циклічно. Перерозподіл джерел між окремими підсистемами можна здійснити, аналізуючи вимоги кожного з джерел до пропускної здатності каналу зв'язку за критерієм найменших вимог до неї при тому чи іншому способі обслуговування, а саме: адаптивному чи регулярному. Як базову структуру використаємо адаптивну систему, в якій надмірність усувається методом прогнозування нульового порядку, погодження із синхронним каналом забезпечується буферним запам'ятовувальним пристроєм, а маркування моменту появи ненадмірного відліку здійснюється генератором часових позначок [28].

**Аналіз похибок відновлення вимірювальних сигналів.** Похибка відновлення сигналу аналогового джерела вимірювальної інформації в системі з регулярним обслуговуванням має складові, зумовлені дискретизуванням в часі, квантуванням за рівнем; для системи з адаптивним обслуговуванням характерні похибки прогнозування від можливих втрачань відліків через переповнення запам'ятовувального пристрою, можливих при відновленні вимірювальних сигналів зміщень відліків в часі від фактичних моментів їх появи та спільні для обидвох систем – похибки від впливу завад у лінії зв'язку та неточності вимірювальних засобів, тобто інструментальної.

При адаптивному обслуговуванні середній квадрат відносної похибки прогнозування

$$\delta_{\text{прі}}^2 = \frac{\varepsilon^2}{12}, \quad (1)$$

де  $\varepsilon = \Delta U / \sigma$  та  $\Delta U$  – відносний та абсолютний крок квантування за рівнем, відповідно;  $\sigma$  – середньоквадратичне відхилення  $i$ -го вимірювального сигналу.

Середній квадрат відносної похибки від втрачань відліків

$$\delta_{\text{втр}}^2 = \varepsilon^2 \frac{P_{\text{втр}}(1 + P_{\text{втр}})}{(1 - P_{\text{втр}})^2}, \quad (2)$$

де  $P_{\text{втр}}$  – ймовірність втрачання відліків у буферному запам'ятовувальному пристрої.

Середній квадрат відносної похибки від часових зміщень відліків

$$\delta_{\text{змі}}^2 = \varepsilon^2 \frac{k_M \rho_o}{6n_{\text{еф}}^2}, \quad (3)$$

де  $k_M = T_M / T$  та  $T_M$  – відносний та абсолютний період часових позначок;  $\rho_o = \lambda T$  – коефіцієнт завантаженості буферного запам'ятовувального пристрою;  $\lambda$  – сумарна інтенсивність ненадмірних відліків;  $T$  – такт синхронної лінії зв'язку;  $n_{\text{еф}}$  та  $n$  – ефективна та реальна кількість джерел у системі.

Зокрема,

$$\varepsilon = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{\omega_{\Sigma}^A T}{\rho_0}, \quad (4)$$

де  $\omega_{\Sigma}^A$  – сумарна середньоквадратична частота сукупності джерел адаптивної системи [28].

Відносний середній квадрат похибки, зумовленої діями завод у лінії зв'язку, оцінено, враховуючи доповнення до парності (непарності) кількості символів “одиниця” окремо в адресній та інформаційній частинах кодового слова. На приймальному боці системи перевіряють парність (непарність) та стирання спотворених відліків, виявлених перевіркою. Цю похибку можна оцінити за формулою, що описує похибку від втрачання відліків (2), якщо врахувати, що вибірккові значення  $i$ -го джерела стираються при спотвореннях тієї чи іншої частини слова, відповідно, із ймовірністю

$$\begin{aligned} P_{\text{emp } a} &= 1 - P_{na} = 1 - (1 - p)^{m_a + 1} \approx p(m_a + 1) \\ P_{\text{emp } i} &= 1 - P_{ni} = 1 - (1 - p)^{m_i + 1} \approx p(m_i + 1), \end{aligned}$$

тут  $P_n$  – ймовірність неспотворення жодного з  $m_a$  адресних чи  $m_i$  інформаційних символів кодового слова;  $p$  – ймовірність спотворення одного двійкового символу. Отже,

$$\delta_{\text{emp } i}^2 = \varepsilon^2 p m_c^A, \quad (5)$$

де  $m_c^A = (m_a + m_i + 2)$  – кількість двійкових символів, які припадають на одне ненадмірне вибірккове значення. За виразами (1) – (3), (5) середній квадрат відносної сумарної похибки

$$\delta_i^2 = \frac{\varepsilon^2}{12} \left[ 1 + 12 \frac{P_{\text{emp}} (1 + P_{\text{emp}})}{(1 - P_{\text{emp}})^2} + 2 \frac{k_M \rho_o}{n_{\text{ef } i}^2} + 12 p m_c^A \right] + \delta_{ai}^2, \quad (6)$$

де  $\delta_{ai}$  – відносна інструментальна складова похибки.

При регулярному обслуговуванні відносний середній квадрат похибки квантування

$$\delta_{\text{кв } i}^2 = \frac{\varepsilon^2}{12}, \quad (7)$$

Відносний середній квадрат похибки дискретизування [11]

$$\delta_{oi}^2 = \frac{1}{3} \omega_{li}^2 T_{oi}^2, \quad (8)$$

де  $\omega_{li}$  – середньоквадратична частота  $i$ -го джерела системи;  $T_{oi}$  – період опитування  $i$ -го джерела.

Відносний середній квадрат похибки, зумовленої діями завод у лінії зв'язку, оцінено аналогічно до адаптивного обслуговування, через стирання спотворених відліків, виявлених перевіркою парності (непарності) кількості символів “одиниця” в кодовому слові., враховуючи, що вибірккові значення  $i$ -го джерела стираються з ймовірністю

$$P_{\text{emp}} = 1 - P_H = 1 - (1 - p)^{m_c^P} \approx p m_c^P,$$

де  $P_n$  – ймовірність неспотворення жодного з  $m_c^P = (m_i + m_{\text{сирхр}} + 1)$  символів, які припадають на одне вибірккове значення.

Отже,

$$\delta_{\text{emp } i}^2 = \varepsilon^2 p m_c^p. \quad (9)$$

При взаємній незалежності складових (7) – (9) відносний середній квадрат сумарної похибки відновлення

$$\delta_i^2 = \frac{1}{3} (\omega_{\text{oir } T_{oi}})^2 [1 + p m_c^p] + \frac{\varepsilon^2}{12} + \delta_{ai}^2. \quad (10)$$

**Визначення вимог до швидкодії.** Похибка від дискретизування (10) при регулярному обслуговуванні пов'язана із періодом дискретизування  $T_{oi}$

$$T_{oi} = \sqrt{3} \frac{1}{\omega_{li}} \sqrt{\frac{\delta^2 - \delta_i^2 - \varepsilon^2/12}{1 + p m_c^p}}.$$

Оскільки інтенсивність відліків  $i$ -го джерела  $\lambda_i = \frac{1}{T_{oi}}$ , то такт комутування в системі з часовим розділенням каналів

$$T = 1/\lambda_c = 1 / \sum_{i=1}^n \lambda_i = \left[ \sum_{i=1}^n 1/T_{oi} \right]^{-1}.$$

Враховуючи його зв'язок з тривалістю  $\tau$  одного елементарного символу  $T = m_c \tau$  та пам'ятаючи, що система з регулярним обслуговуванням розрахована на максимальні значення частот кожного з джерел системи, оцінимо необхідну швидкодію за виразом

$$V_\tau^P = 1/\tau^P = \frac{\sqrt{1 + p m_c^p}}{\sqrt{3(\delta_i^2 - \delta_{ai}^2 - \varepsilon^2/12)}} m_c^P \sum_{i=1}^n \omega_{li \max} = \frac{m_c^P \sqrt{1 + p m_c^p}}{\sqrt{3(\delta_i^2 - \delta_{ai}^2 - \varepsilon^2/12)}} \omega_\Sigma^P, \quad (11)$$

де  $\omega_\Sigma^P = \sum_{i=1}^n \omega_{li \max}$  – середньоквадратична частота сукупності джерел системи при регулярному обслуговуванні;  $\omega_{li \max} = M \omega_{li} + a_i \sigma_{\omega_{li}}$ ,  $M \omega_{li}$  та  $\sigma_{\omega_{li}}$  – максимальне значення, математичне очікування та середньоквадратичне відхилення середньоквадратичної частоти  $i$ -го джерела, відповідно;  $a_i$  – коефіцієнт, значення якого визначається довірчою ймовірністю  $P_{\text{дов}}$ .

Отже, сумарна середньоквадратична частота сукупності визначатиметься співвідношенням

$$\omega_\Sigma^P = \sum_i (M \omega_{li} + a_i \sigma_{\omega_{li}}) = \sum_i M \omega_{li} + \sum_i a_i \sigma_{\omega_{li}},$$

й, зокрема, при однаковому для всіх джерел коефіцієнті  $a_i = a$  ( $i = \overline{1, n}$ ).

$$\omega_\Sigma^P = \sum_i M \omega_{li} + a \sum_i \sigma_{\omega_{li}}. \quad (12)$$

Для системи з адаптивним обслуговуванням, враховуючи співвідношення між відносною апертурою (4) та коефіцієнтом завантаженості, одержимо

$$V_\tau^A = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{m_c^A \omega_\Sigma^A}{\rho_0 \varepsilon} = \frac{m_c^A \omega_\Sigma^A}{\sqrt{6\pi} \rho_0 (\delta_i^2 - \delta_{ai}^2)} \sqrt{1 + 12 \frac{P_{\text{emp}} (1 + P_{\text{emp}})}{(1 - P_{\text{emp}})^2} + 2 \frac{k_M \rho_0}{n_{\text{ef } i}^2} + 12 p m_c^A}. \quad (13)$$

В системі з адаптивним обслуговуванням середньоквадратичні частоти сукупності джерел (як випадкові величини) формують випадкове значення сумарної середньоквадратичної частоти  $\omega_{\Sigma}^A$ . Оскільки кількість джерел сукупності значна, то відповідно до закону великих чисел можна припустити, що розподіл сумарної частоти добре апроксимується нормальним з першим початковим та другим центрованим моментами, відповідно:

$$M\omega_{\Sigma} = \sum_{i=1}^n M\omega_{i} \quad \text{та} \quad \sigma_{\omega_{\Sigma}}^2 = \sum_{i=1}^n \sigma_{\omega_{i}}^2.$$

Із заданою довірчою ймовірністю  $P_{\text{доп}}$  можна записати відповідне значення сумарної середньоквадратичної частоти

$$\omega_{\Sigma}^A = M\omega_{\Sigma} + a\sigma_{\omega_{\Sigma}},$$

та

$$\omega_{\Sigma}^A = \sum_i M\omega_{i} + a\sqrt{\sum_i \sigma_{\omega_{i}}^2}. \quad (14)$$

#### Встановлення показника доцільності вибору певного способу обслуговування.

Внесок кожного окремого джерела визначаємо за зміною оцінюваного значення швидкодії (11) та (13) при виведенні цього джерела із системи, використовуючи співвідношення (12) та (14), а саме:

$$\Delta V_{\tau} = V_{\tau}' - V_{\tau}''$$

тут вираз з одним штрихом – вимоги до швидкодії при обслуговуванні усіх джерел сукупності, з двома штрихами – після виведення  $j$ -го джерела з середньоквадратичною частотою  $\omega_{1j}$ .

Для коректного порівняння градієнтів швидкостей припускаємо, що обслуговується одна й та сама сукупність джерел вимірювальної інформації, та маємо однакові допустимі похибки відновлення вимірювальних сигналів.

При регулярному обслуговуванні градієнт швидкості одержимо за виразом (11)

$$\Delta V_{\tau}^P = m_c^P \omega_{1j} \sqrt{\frac{1 + pm_c^P}{3(\delta_i^2 - \delta_{ai}^2 - \delta_{ksi}^2)}} = 2 \frac{m_c^P \omega_{1j}}{\varepsilon} \sqrt{\frac{1 + pm_c^P}{\frac{12}{\varepsilon^2}(\delta_i^2 - \delta_{ai}^2) - 1}}.$$

А оскільки похибка квантування (7) при регулярному обслуговуванні еквівалентна похибці прогнозування (1) при адаптивному обслуговуванні, то, врахувавши отримане з рівності (6) співвідношення

$$12 \frac{(\delta_i^2 - \delta_{ai}^2)}{\varepsilon^2} = \left( 1 + \frac{P_{\text{вмп}}(1 + P_{\text{вмп}})}{(1 - P_{\text{вмп}})^2} + 2 \frac{k_M \rho_0}{n_{\text{ef } i}^2} + 12 pm_c^A \right),$$

маємо

$$\Delta V_{\tau}^P = 2 \frac{m_c^P \omega_{1j}}{\varepsilon} \sqrt{\frac{1 + pm_c^P}{\frac{P_{\text{вмп}}(1 + P_{\text{вмп}})}{(1 - P_{\text{вмп}})^2} + 2 \frac{k_M \rho_0}{n_{\text{ef } i}^2} + 12 pm_c^A}}. \quad (15)$$

При адаптивному обслуговуванні градієнт швидкості:

$$\Delta V_{\tau}^A = \sqrt{\frac{2}{\pi}} \frac{m_c^A}{\varepsilon \rho_o} (\omega_{\Sigma 1}^A - \omega_{\Sigma 2}^A), \quad (16)$$

де  $\omega_{\Sigma 1}^A$  та  $\omega_{\Sigma 2}^A$  – сумарна середньоквадратична частота сукупності джерел при адаптивному обслуговуванні всіх джерел системи та без  $j$ -го, відповідно.

Зміна середньоквадратичної частоти сукупності джерел системи

$$\omega_{\Sigma 1}^A - \omega_{\Sigma 2}^A = \left[ M\omega_{1j} + a \left( \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{\omega li}^2} - \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sigma_{\omega li}^2} \right) \right] = [M\omega_{1j} + a\Delta\sigma]. \quad (17)$$

Розглянемо докладніше складову  $\Delta\sigma$  й припустимо, що вона пропорційна до зменшуваного або від'ємника з певним коефіцієнтом  $k < 1$ , тобто

$$\Delta\sigma = \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{\omega li}^2} - \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sigma_{\omega li}^2} \equiv k \sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{\omega li}^2} \quad \text{або} \quad \Delta\sigma \equiv k \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sigma_{\omega li}^2}.$$

Розв'язуючи ці рівності, знайдемо, що

$$k = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{\omega 1j}^2}{\sum_{i=1}^n \sigma_{\omega li}^2} \quad \text{або} \quad k = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{\omega 1j}^2}{\sum_{i=1}^{n-1} \sigma_{\omega li}^2}, \quad \text{а отже,} \quad \Delta\sigma = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{\omega 1j}^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \sigma_{\omega li}^2}} \quad \text{або} \quad \Delta\sigma = \frac{1}{2} \frac{\sigma_{\omega 1j}^2}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sigma_{\omega li}^2}}. \quad (18)$$

Другий розв'язок створює жорсткіші умови порівняння для системи з адаптивним обслуговуванням. Тому, застосувавши його до виразу (17), сформуємо відношення змін швидкостей (16) та (15)

$$\frac{\Delta V_{\tau}^A}{\Delta V_{\tau}^P} = \frac{m_c^A}{\rho_o m_c^P \sqrt{2\pi}} \sqrt{\frac{P_{\text{emp}}(1+P_{\text{emp}}) + 2 \frac{k_M \rho_o}{n_{\text{efi}}^2} + 12 p m_c^A}{(1-P_{\text{emp}})^2}} \left( \frac{M\omega_{1j} + a\Delta\sigma}{M\omega_{1j} + a\sigma_{\omega 1j}} \right) \leq \frac{k_s}{\rho_o \sqrt{2\pi}} \left[ \frac{1+(a\Delta\sigma)/(M\omega_{1j})}{1+(a\sigma_{\omega 1j})/(M\omega_{1j})} \right],$$

$$\text{тут } k_s = \frac{m_c^A}{m_c^P} = \frac{m_i + m_a + 2}{m_i + m_s + 1} > 1.$$

Враховуючи вирази (17) та (18), необхідно знайти умову, за якої вимоги до пропускної здатності каналу зв'язку при адаптивному обслуговуванні будуть меншими, ніж при регулярному. Для цього необхідно, щоби

$$\frac{k_s}{\rho_o \sqrt{2\pi}} \left\{ \frac{1 + \frac{a\sigma_{\omega 1j}}{2M\omega_{1j}} \cdot \frac{\sigma_{\omega 1j}}{\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sigma_{\omega li}^2}}}{1 + \frac{a\sigma_{\omega 1j}}{M\omega_{1j}}} \right\} < 1. \quad (19)$$

Розв'яжемо цю нерівність, спершу розглянувши розв'язки відповідної рівності, враховуючи, що для фізичності середньоквадратичного відхилення необхідно мати  $\sigma_{\omega 1j} > 0$ , що забезпечується при

$$M\omega_{1j} < \frac{a \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} \sigma_{\omega li}^2}}{2k_s(k_s - 1)}.$$

Наприклад, при  $M\omega_{1j} = \frac{a\sqrt{\sum_{i=1}^{n-1}\sigma_{\omega_{1i}}^2}}{2k_s^2}$  одержимо дві умови  $\sigma_{1j} = \left(\frac{k_s}{\rho_0\sqrt{2\pi}} - 1\right)\frac{M\omega_{1j}}{a}$  та  $\sigma_{1j} = \left(\frac{3k_s}{\rho_0\sqrt{2\pi}} + 1\right)\frac{M\omega_{1j}}{a}$ . Візьмемо як розв'язок нерівності (19) жорсткішу умову, а саме:

$$\frac{\sigma_{\omega_{1j}}}{M\omega_{1j}} < \frac{1}{a}\left(\frac{k_s}{\rho_0\sqrt{2\pi}} - 1\right). \quad (20)$$

Тобто, якщо показник нестаціонарності  $j$ -го джерела  $\sigma_{\omega_{1j}}/M\omega_{1j}$  задовольняє нерівність (20), тоді це джерело менш вимогливе до пропускну здатності каналів зв'язку при його адаптивному обслуговуванні. За результатами перевірки нерівності усіх джерел сукупності можна розподілити їх між двома підсистемами – адаптивного та регулярного обслуговування.

**Висновок.** Використовуючи знайдений критерій оптимального обслуговування джерела виміральної інформації, вдається за його значеннями ефективно розподілити джерела між відповідними підсистемами. Результати імітаційного моделювання в середовищі Matlab підтвердили доцільність проектування адаптивно-циклічної системи, що базується на поліноміальному прогнозуванні, буферному запам'ятовувальному пристрої та генераторі часових позначок.

1. Соковых А.В. Построение информационных систем с использованием новых технологий корпорации Digital // Приборы и системы управления. 1995. N 1. С. 10-13.
2. Hanan Samet. Data structures for quadtree approximation and compression // Communication of the ACM. 1985. N 9. P. 973-993.
3. Gordon V. Cormack. Data compression on a database system // Communication of the ACM. 1985. N 12. P. 1337-1341.
4. David R. Mcintyre and Michael A. Pechura. Data compression using static Huffman code-decode tables. // Communication of the ACM. 1985. V. 28, N 6, P. 612-616.
5. Szczepaniak P., Waszkiewicz P. Preliminary preparation of patterns for their compression // Third Conference "Neural Networks and Their Application" – Kule. 14-18. 1997. – P. 304-309.
6. Borek R. Kompresja informacji metrologicznej. Problemy definicyjne i techniczne. Materiały VII międzynarodowego seminarium metrologów "Metody i technika przetwarzania sygnałów w pomiarach fizycznych". – Rzeszow (Polska), 1999, S. 13-29.
7. Anderson J.A. and Rosenfeld E. Neurocomputing: Foundation of Research. Cambridge, Massachuset. 1988.
8. Brunuk S. and Lautrup B. Neural Networks, Computers with Intuition. Singapore. 1990.
9. Теї А., Грибомон П., Луи Ж., Снийерс Д., Водон П., Гоше П., Грегуар Э., Сангес Э., Дельсарт Ф. Логический подход к искусственному интеллекту: от классической логики к логическому программированию. – М. 1990.
10. Widrow B., Lehr M. A 30 years of adaptive neural networks: perceptron, madaline, and backpropagation // Proceedings of IEEE. 1990. – V. 78. – №9. – P. 1415-1442.
11. Dayhoff Judith E. Neural networks architectures: an introduction. New York. 1990.
12. Амосов Н.М., Куссуль Е.М., Касаткина Я.М., Касаткин А.М. Нейроподобные сети и нейрокомпьютеры. Под. ред. Амосова Н.М. – К. 1990.
13. Амосов Н.М., Байдык Т.Н., Гольцев А.Д. и др. Нейрокомпьютеры и интеллектуальные роботы / Под. ред. Н.М. Амосова. – К. 1991.
14. Solbut A., Werdoni J. Implementacja sieci neuronowej na procesorze motorola DSP 96002 // Materiały Krajowego Kongresu Metrologii "Nowe wyzwania i wizje metrologii, Gdansk "98", 15-18.09.1998, T. 3, 1998,

- S. 182-189. 15. Postolache O., Fosala C., Cretu M. A Virtual TC Calibrator Based on RDF Neural Networks // 44 Internationales Wissenschaftliches Kolloquium 20-23.09.1999. Band 1. Vortrags-rechen. Prozeßmeß- und Sensortechnik. Oberflächen – und Lichtmeßtechnik. Qualitätssicherung. PC-basierte Automatisierungs - systeme. Maschinenbau im Informationszeitalter. Technische Universität Ilmenau, 1999, p. 262-267. 16. Брагінець С., Ціделко В. Нейромережеві технології в експериментальній інформатиці (вимірювання, контроль, діагностика та тестування) // Вимірювальна техніка і метрологія. 2000. №57. С. 5-9. 17. Zadeh L.A. Fuzzy sets // Information and Control, No. 8. 1965. P. 338-353. 18. Заде Л.А. Понятие лингвистической переменной и его применения к принятию приближенных решений. – М. 1976. 19. Negoita C.V., Ralescu D.A. Application of fuzzy sets to systems analysis, Basel, Birkhauser, 1975. 20. Кофман А. Введение в теорию нечетких множеств. – М. 1982. 21. Нечеткие множества и теория возможностей. Последние достижения. – М. 1986. 22. Zadeh L.A. From Computing with Numbers to Computing with Words – from Manipulation of Measurements to Manipulation of Perceptions // Proceedings of the 16-th World IMEKO Congress, Vol.I-Sept.25-28, 2000. – Vienna, Austria, P. 353–358. 23. Уотермен Д. Руководство по экспертным системам. – М. 1989. 24. Искусственный интеллект: Кн. 1. Системы общения и экспертные системы. – М. 1990. 25. Кисель Е.Б. Сравнение оболочек экспертных систем реального времени // Приборы и системы управления, 1995, № 6, с. 29-32. 26. Lara – Rosano F. Implementaring Expert Systems in Engeneering // Proceedings of the 16-th World IMEKO Congress, vol.IX, topic 30 - Artificial Intelligence in Measurement Techniques, Sept. 25-28, 2000, – Vienna. P. 217–220. 27. Кантор А.В., Тимоник В.Г., Азарова Ю.Г. Сокращение избыточности многоканальной телеметрической информации методов адаптивной дискретизации с ассоциативной сортировкой // Аппаратура для космических исследований. – М. 1972. 28. Калашиников И.Д., Степанов В.С., Чуркин А.В. Адаптивные системы сбора и передачи информации. – М. 1975. 29. Свириденко В.А., Звездин В.С. Сокращение избыточности в многоканальных сообщениях путем разностного кодирования предсказанием и фильтрацией // Вопросы кибернетики. Автоматизация экспериментальных исследований. Вып. 62, – М. 1979. 30. Адаптивные телеизмерительные системы / Б.Я. Авдеев, Е.М. Антонюк, С.Н. Долинов и др. – М. 1981. 31. Новоселов О.Н., Фомин А.Ф. Основы теории и расчета информационно-измерительных систем. – М. 1991. 32. Кодирование сигналов ТВВЧ с экстраполяторным предсказанием // Экспресс-информация "Передача информации". 1993. С. 2-8. 33. Василик Ю.В., Ивахів О.В. Порівняння альтернативних принципів організації абонентського пункту вимірювально-обчислювальної мережі // Вісн. ДУ "Львівська політехніка". – Львів. 1994. № 283. С. 66-74. 34. Ивахів О.В. Дослідження доцільності проектування комбінованої системи. Вимірювальна техніка і метрологія. Вип. 56, 2000, С. 108-113. 35. Ивахів О.В. Дослідження імітаційної моделі адаптивно-циклічної системи // Вимірювальна техніка і метрологія. 1999. Вип. 54. С. 92-95. 36. Ivakhiv O., Kowalczyk A., Velgan R. Combined adaptive-regular type system. Proceedings of the 7<sup>th</sup> International Methrologyst Seminar “Methods and Technics of Signal Processing in Physical Measurements” Lviv-Kamianec’-Podilskiy, Ukraine, June 29-July 7, – Rzeszow, Poland, Oktober 26-28, 1999, P. 113-116.