

избыточных измерений I-го, II-го и/или III-го рода. Процесс избыточных измерений осуществляется согласно программы, записанной в запоминающем устройстве сигнального процессора СП, в соответствие с системами линейных уравнений величин (3) или (4).

Выводы

Впервые с позиции теории избыточных измерений дано определение понятию «метрологическая задача».

Предложена новая редакция определения «предмет метрологии», под которым понимается извлечение количественной информации не только о характеристиках и свойствах объектов и процессов с заданным качеством измерений, но и о состоянии средства измерений (измерительной системы).

Показано, что разработка математической модели, структурной или функциональной схемы технического решения средства избыточных измерений при линейной или нелинейной функции преобразования измерительного канала предполагает задание соответствующих исходных данных, требований и условий.

Приведены графические портреты (графики) всевозможных вариантов линейной функций преобразования и многообразие форм записи их аналитических выражений.

Разработана классификация путей и методов решения метрологических задач. Показано, что теоретическая проработка всех этапов решения метрологических задач является залогом успешного создания средств избыточных измерений.

Рассмотрен пример решения метрологической задачи без приписываемой объекту измерений математической модели и для случая измерения физических величин направленного действия при линейной функции преобразования измерительного канала.

Литература

1. РМГ 29-99. Метрология. Термины и определения. Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации. – Минск, 2002. – С. 8.
2. Измерительная задача [Электронный ресурс]. – Ресурс доступа : <http://slovari.yandex.ru/~книги/Естественные%20науки/Измерительная%20задача/>
3. Метрологическая задача [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://www.ngpedia.ru/id25218p1.html>
4. Кондратов В.Т. Методы избыточных измерений: основные определения и классификация [Электронный ресурс] / Кондратов В.Т. – Режим доступа : http://www.nbu.gov.ua/portal/natural/Vchnu_tekh/2010_3/47kon.pdf.
5. Предмет и задачи метрологии [Электронный ресурс]. – Режим доступа : <http://ks-invest.ru/metrology/gl-3.html>.
6. Кондратов В.Т. Научный прорыв в фундаментальной метрологии / В.Т. Кондратов // Вимірювальна та обчислювальна техніка в технологічних процесах. – 2011. – № 2. – С. 7–22.

Надійшла 27.6.2012 р.

Статтю представляє: д.т.н. Кондратов В.Т.

УДК 681.325

Т.О. ЗАВЕДЮК, Я.М. НИКОЛАЙЧУК, А.Р. ВОРОНИЧ

Інститут мікропроцесорних систем НАН України

САМОВІДНОВЛЮВАНА СИСТЕМА ПЕРЕДАВАННЯ СИГНАЛІВ МОДЕЛІ БІОНЕЙРОННОГО АКСОНА У БАЗИСІ КРЕСТЕНСОНА

Викладені методологія та теоретичні засади створення математичної теоретико-числової моделі самовідновлюваної системи передавання сигналів моделі біонейронного АКСОНА, які обґрунтовують принципові пояснення існування ефектів самовідновлення інформації за наявності пошкоджень чи відмови окремих нейронів.

The stated methodology and theoretical background to create a mathematical theoretical and numerical models of self-healing system of signal transmission bio-neural fibers that justify the fundamental reasons for having an effect of self-healing information in the presence of damage or failure of individual neurons.

Ключові слова: нейрон, самовідновлення сигналів, базис Крестенсона.

Вступ

Біонейронні системи глибоко досліджуються у всьому світі з позицій біології, нейрокібернетики, теорії сигналів, теорії кодування інформації [1]. При цьому важливою задачею є комп'ютерне моделювання особливостей функціонування біонейронних систем, отримання, перетворення та зберігання ними інформації.

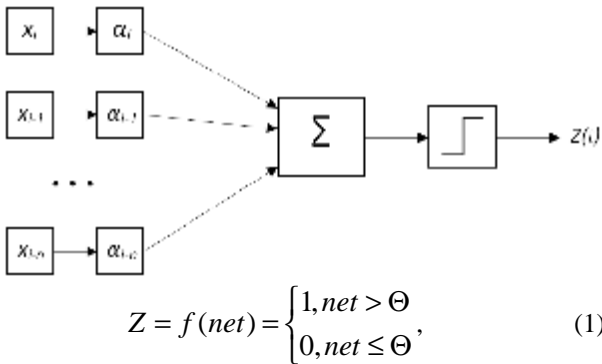
При дослідженні біологічних об'єктів встановлена особливість передавання сигналів в нейронних

пучках – наявність ефекту самовідновлення та самокорекції при пошкодженні або відмиранні окремих груп нейронів. При цьому актуальною математичною задачею є розробка теоретико-числової моделі самовідновлюваної системи передавання сигналів біонейронного аксона у базисі Крестенсона.

В ряді робіт [1] показано, що в нейронних структурах можливі значні "відмирання" великої кількості нейронів без відчутної втрати функціональних можливостей нейронної системи в цілому. Аналогічно, при передаванні сенсорної (аферентної) інформації пучками нейронів пошкодження і виведення з ладу значної їх кількості практично не спостерігається суттєвої зміни діапазону кодування амплітуди та динаміки передаваних сигналів. Вказані ефекти самозахисту та самовідновлення функції передавання сигналів у нейронних пучках потребує розробки нових ключових ідей побудови моделі нейронного пучка та відповідного теоретичного обґрунтування такого феномену, що є предметом дослідження у даній роботі.

Огляд літературних джерел

Аналіз літературних даних в галузі нейронних мереж та нейрокібернетики демонструє важливі наукові результати моделювання та теоретичної формалізації функцій нейрона, персептрона та нейронних мереж (рис. 1) [2–4].



де $net = \sum_{i=1}^n x_i \cdot a_i$, $-1 \leq a_i \leq +1$, Θ - поріг спрацювання.

Реакція нейрона на вхідний сигнал аналітично описана згідно з виразом [2]:

$$Z(t) = a_0 x(t) + a_1 \frac{dx}{dt} + a_2 \int x(t) dt + a_3 \int \frac{dx}{dt} dt + a_3 \int \frac{dx}{dt} dt + a_4 x^2(t) + a_5 \left(\frac{dx}{dt} \right)^2 + \dots, \quad (2)$$

де $Z(t)$ – реакція нейрона на вхідний сигнал;
 a_0, a_1, a_2, \dots – вагові коефіцієнти;
 $x(t)$ – вхідний сигнал.

В роботах [4, 5] описано і показано принцип передавання імпульсів "±1" по аксону нейрона.

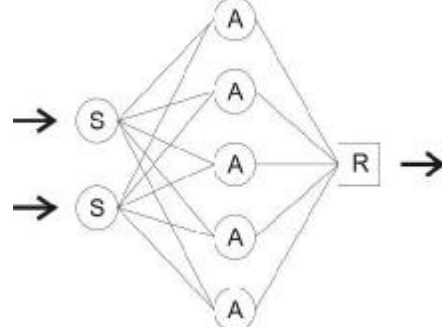
Сигнали передаються по нейронах у вигляді електричних імпульсів (рис. 2). Електрофізіологічні дослідження показали, що мембрана аксона із внутрішньої сторони заряджена негативно по відношенню до зовнішньої сторони, і різниця потенціалів становить приблизно -65 мВ. Цей потенціал, так званий потенціал спокою, обумовлений різницею концентрацій іонів калію і натрію по різні сторони мембрани.

Нервові імпульси рухаються по аксонах у вигляді незатухаючої хвилі деполяризації потенціалу (±1).

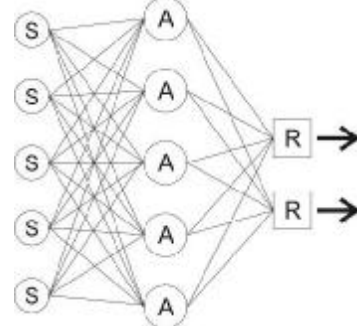
Таким чином, проведений огляд літературних джерел показує, що формування, передавання та кореляційне розпізнавання сигналів в нейронних системах можуть бути адекватно математично описані на основі знакових функцій кореляції та бінарних Хеммінгових просторів.

Наявність порогової функції $f(net) > \Theta$, яка виконується над числовим значенням зваженої суми net потребує застосування нелінійних теоретико-числових перетворень над інформаційними потоками, які

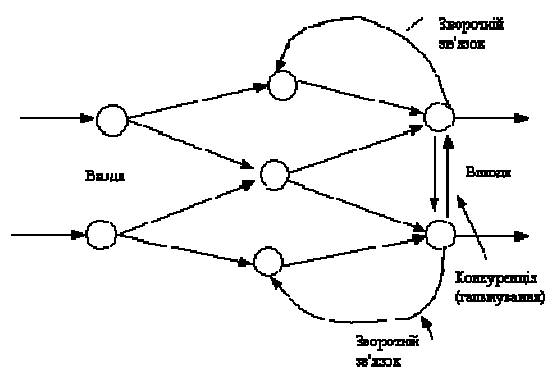
а) структура порогової моделі та реакція формального нейрона



б) схема простої нейронної мережі



в) елементарний персептрон Розенблатта



г) нейронна мережа модель нейрона

Рис. 1. Структура моделей нейрона (а,г), нейронної мережі (б) та персептрона (в)
 S – вхідні нейрони; A – приховані нейрони;
 R – вихідні нейрони

моделюють нейронні системи.

Таким математичним апаратом може бути система численна залишкових класів теоретика-числового базису Крестенсона.

Мета

Метою є створення структурної моделі самовідновлюваного передавання інформації по нейронних пучках.

Обґрунтування

Створення математичної моделі самовідновлення сигналів в нейронних волокнах може бути ефективно використано в сучасних системах передавання інформації при наявності впливу інтенсивних промислових завад, завмирання сигналів в каналах зв'язку або ціленаправлених несанкціонованих пошкоджень компонентів ліній зв'язку.

Структурна модель нейронного пучка як лінії передавання сигналів

На рис. 3 показана структурна модель каналів передавання сигналів по аксонах нейронів, яка враховує наявність стимулюючих і загальмовуючих входів на рівні рецепторів тіла нейрона.

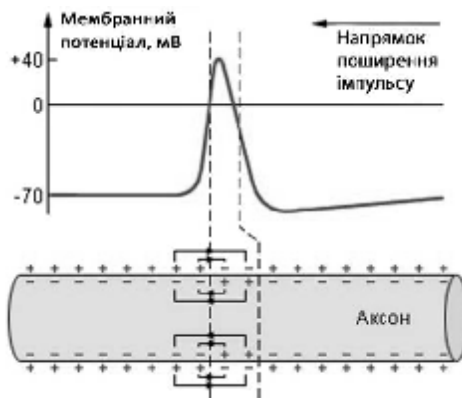


Рис. 2. Процес передачі сигналу по аксону у відповідності до зміни мембранного потенціалу нейрона

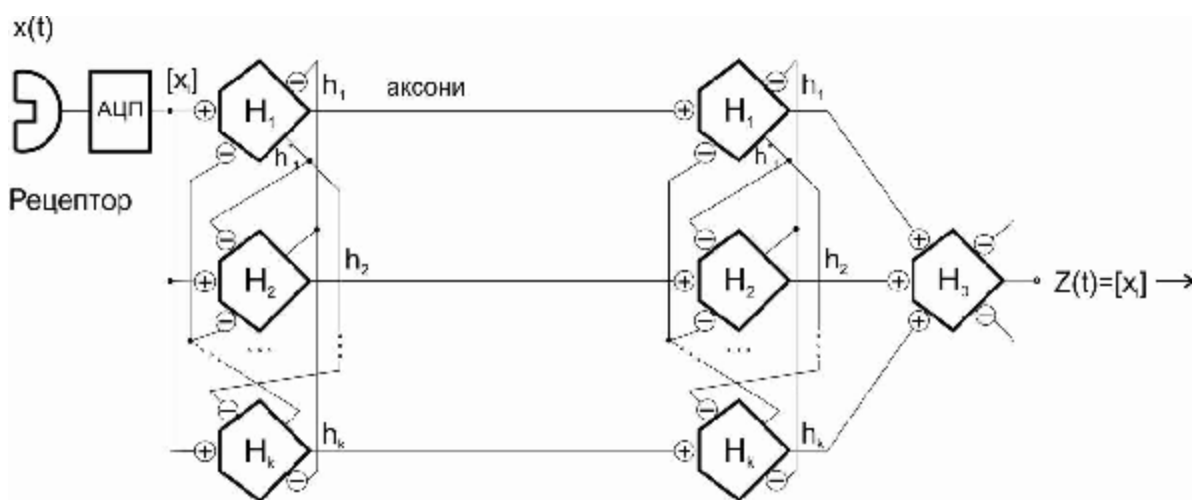


Рис. 3. Структурна модель передавання інформації в нейронному пучку

Обґрунтування доцільності застосування базису Крестенсона для теоретичного розв'язання задачі передавання сигналів по нейронних пучках

Теоретико-числовий базис (ТЧБ) Крестенсона утворюється на основі системи пилоподібних функцій. Названий базис породжує систему численна залишкових класів, фундаментальною основою якої є Китайська теорема про залишки та теорія полів Галуа [6].

Унікальною особливістю ТЧБ Крестенсона є однозначна комфортність прямого та зворотнього спектрального перетворення з точністю до фази, яка відсутня у широкосмукованому ТЧБ Фур'є на основі гармонічних функцій, в якому інформація про фазу перетворюваних сигналів втрачається. Тому у базисі Фур'є неможливо відновлювати сигнали після спектрального аналізу тільки з відповідними статистичними та кореляційними характеристиками. Таким чином, теоретичне рішення задачі передавання сигналів з самовідновленням в нейронних пучках доцільно виконати на основі ТЧБ Крестенсона. Тим більше, що біологічні дослідження дозволили однозначно встановити, що в нейронних системах гармонічні (синусоїдальні) сигнали перетворюються в число-імпульсні зі змінною частотою, амплітудою та періодичністю. Відповідно, теоретичне рішення поставленої задачі адекватно може бути отримане в дискретній формі ТЧБ Крестенсона.

Рішення задачі передавання сигналів нейронним пучком з самовідновленням

Нехай кожен з нейронів $H_0 \div H_k$ формує вихідний імпульсний сигнал згідно порогів P_1, P_2, \dots, P_k . Тоді вхідний сигнал $x(t)$ ідентифікований в рецепторі і перетворений в число-імпульсний сигнал $[x_i]$, як це показано на рис. 2, одночасно поступає на \oplus -входи всіх нейронів $H_0 \div H_k$. При цьому в тілі кожного нейрона (H_j) здійснюється порогова операція згідно виразу

$$[h_j] = \text{res} \sum_{i=1}^k [\oplus x_i] (\text{mod } P_j), \tag{3}$$

де $[h_j]$ – імпульсний сигнал з числом імпульсів, яке рівне найменшому невід'ємному залишку

порогової модульної операції;

res – символ порогової операції по модулю P_j .

Оскільки згідно функціональної структури нейронного пучка (рис. 3) імпульси $[h_j]$ j -го нейрона одночасно поступають на \ominus -входи всіх інших $H_{i \neq j}$ нейронів, то кожен зі всіх нейронів реалізує порогову функцію у вигляді:

$$[h_j^*] = \text{res} \sum_{i=1}^k a_{ij} \cdot [h_j], \quad (4)$$

де α_j – вагові коефіцієнти моделі нейрона (рис. 1а).

У результаті по кожному з волокон нейронного пучка будуть передаватися пачки імпульсів $[h_j]$, які в приймальному нейроні H_0 знову перетворюються у сигнал $[Z_i]$ згідно виразу

$$[Z_i] = \text{res} \sum_{j=1}^k b_j \cdot [h_j] (\text{mod } P_0), \quad (5)$$

де β_j та P_0 – відповідно вагові коефіцієнти та пороговий модуль приймального нейрона H_0 .

Очевидно, що при відмиранні окремого нейрона H_j по вході його аксону не формуються імпульси h_j^* і знімаються

відповідні заборони $\ominus h_j^*$ на \ominus -входах всіх інших нейронів, що приводить до пропорційної зміни (зростання) порогів їх спрацювання $P_j^* > P_j$.

Приклад рішення задачі на основі ТЧБ Крестенсона

Нехай число нейронів $k=3$. Задаємо систему взаємно-простих модулів $P_1=9, P_2=10, P_3=11$. Обчислимо діапазон квантування вхідних сигналів $P=P_1 \cdot P_2 \cdot P_3$, тобто $P=990$. Виберемо значення порогу спрацювання нейронів $P_0=13$.

Задамо таблицю впливу гадьмування кожного нейрона на інші нейрони у вигляді графа (рис. 4).

При відмові окремих нейронів отримаємо:

$$\begin{aligned} P1=0, & \quad P2=10+1=11, & \quad P3=11+1=12; \\ P2=0, & \quad P1=9+2=11, & \quad P3=11+1=12; \\ P3=0, & \quad P1=9+2=11, & \quad P2=10+2=12. \end{aligned} \quad (6)$$

Тобто, в результаті відмов окремих нейронів, змінюються порогові характеристики нейронів таким чином, що утворюється нова система залишкових класів (СЗК) з модулями:

$$P_i^* = \begin{cases} P_2 = 11, & P_3 = 12; \\ P_1 = 11, & P_3 = 12; \\ P_1 = 11, & P_2 = 12. \end{cases} \quad (7)$$

У результаті самовідновлення та самокорекції сигналів при їх передаванні по такому нейронному волокну, буде однозначним при діапазоні зміни вхідних сигналів x_i у границях: $0 \leq x_i \leq 131$.

Розглянемо приклад для конкретного значення вхідного сигналу.

Нехай $x_i=100; P_1=9; P_2=10; P_3=11; P_0=990$.

Перетворимо число x_i в набір залишків b_i в системі взаємно-простих модулів P_i . Тобто:

$$x_i = 100 \quad \begin{cases} \text{res}100(\text{mod}9) = 1; & b_1 = 1; \\ \text{res}100(\text{mod}10) = 0; & b_2 = 0; \\ \text{res}100(\text{mod}11) = 1; & b_3 = 1. \end{cases} \quad (8)$$

Зворотнє перетворення системи залишкових класів базису Крестенсона виконується згідно з виразом [6, 7]:

$$N_k = \text{res} \sum_{i=1}^k b_i B_i (\text{mod } P_0), \quad (9)$$

де b_i – найменші невід’ємні залишки числа N_k по модулю P_i ($0 \leq b_i \leq P_i-1$);

B_i – ортогональні базисні числа системи залишкових класів ($B_i = \frac{P_0}{P_i} m_i \equiv 1 (\text{mod } P_i)$), де m_i –

нормуючі фазові коефіцієнти недосконалого перетворення залишкових класів ($0 < m_i \leq P_i-1$).

Таким чином, число x_i представляється кодом СЗК у вигляді $x_i=100_{(10)}=(b_1, b_2,$



Рис. 4. Граф гальмуючих впливів у нейронному пучку

$b_3)_{(9,10,11)}=(1,0,1)_{(9,10,11)}$.

Розрахуємо базисні числа даної СЗК:

$$\begin{aligned} B_1 &= \frac{990}{9} m_1 \equiv 1(\bmod 9) = 110 m_1 \equiv 1(\bmod 9); & m_1 &= 5, B_1 = 550; \\ B_2 &= \frac{990}{10} m_2 \equiv 1(\bmod 10) = 99 m_2 \equiv 1(\bmod 10); & m_2 &= 9, B_2 = 891; \\ B_3 &= \frac{990}{11} m_3 \equiv 1(\bmod 11) = 90 m_3 \equiv 1(\bmod 11); & m_3 &= 6, B_3 = 540. \end{aligned} \quad (10)$$

На основі формули (9) та визначених базисних чисел (10) виконуємо зворотнє перетворення СЗК:

$$x_i = (b_1 B_1 + b_2 B_2 + b_3 B_3) \bmod 990 = (1 \cdot 550 + 0 \cdot 891 + 1 \cdot 540) \bmod 990 = 1090 \bmod 990 = 100.$$

Нехай спостерігається відмова першого нейрона по модулю $P=9$, тобто $P_1=0$. Тоді, згідно (6) і рис. 4, отримуємо нову СЗК з модулями $P_2=11$, $P_3=12$, а $P_0^*=132$.

У результаті зміни порогових значень нейронів H_2 та H_3 передача інформації згідно з моделлю буде відбуватись в новій СЗК з модулями $P_2=11$ і $P_3=12$ з розрахованими аналогічним способом базисними числами:

$$x_i = 100 \begin{cases} \nearrow \text{res}100(\bmod 11) = 1; & b_1 = 1; \\ \searrow \text{res}100(\bmod 12) = 4. & b_2 = 4. \end{cases}$$

$$x_i = 100_{(10)} = (b_1, b_2)_{(11,12)} = (1, 4)_{(11,12)};$$

$$B_1 = \frac{132}{11} m_1 \equiv 1(\bmod 11) = 12 m_1 \equiv 1(\bmod 11); \quad m_1 = 1; \quad B_1 = 12;$$

$$B_2 = \frac{132}{12} m_2 \equiv 1(\bmod 12) = 11 m_2 \equiv 1(\bmod 12); \quad m_2 = 11; \quad B_2 = 121.$$

Відповідно виконаємо зворотнє перетворення нової СЗК:

$$x_i = (1 \cdot 12 + 4 \cdot 121) \bmod 132 = 496 \bmod 132 = 100.$$

Аналогічно відбувається зміна порогових значень нейронів H_1 та H_3 при відмові H_2 , або H_1 та H_2 при відмові H_3 .

Проведений аналіз показує, що для наявності ефекту самовідновлення на основі ТЧБ Крестенсона, початкова надлишковість модулів системи залишкових класів оцінюється згідно відношення:

$$k_H = \frac{\sum_{i=1}^3 \hat{E}[\log_2 P_i]}{\sum_{i=1}^2 \hat{E}[\log_2 P_i^*]}, \quad (11)$$

де $\hat{E}[\cdot]$ – цілочисельна функція з заокругленням до більшого цілого.

Для розглянутого прикладу рішення задачі $k_H = 1,5$.

Висновки

Викладені методологія та теоретичні засади створення математичної теоретико-числової моделі самовідновлюваної системи передавання сигналів моделі біонейронного аксона обґрунтовують принципи пояснення існування ефектів самовідновлення інформації за наявності пошкоджень чи відмов окремих нейронів.

Отримані результати можуть стати теоретичною основою перспективних методів кодування інформації з самовідновленням в багатоканальних лініях зв'язку та мережах комп'ютерних систем, а також ефективно використані для реалізації відповідних нейропроцесорів та спецпроцесорів в умовах відмов окремих компонентів системи.

Література

1. Материалы XV Международной конференции по нейрокибернетике. Секционные доклады. Ростов-на-Дону. Изд-во ЮФУ 2009. – Т. – 1372 с.
2. Николайчук Я.М. Структура та функції рекурентного біонейрона для розпізнавання образів у Хеммінговому просторі / Я.М. Николайчук, Т.О. Заведюк // Поступ в науку. Збірник наукових праць Бучацького інституту менеджменту і аудиту. – Бучач. – 2010. – № 6. – С. 37–39.
3. Хайкин, Саймон. Нейронные сети : полный курс / Хайкин, Саймон. – [2-е изд.] ; [пер. с англ.]. – М. : Издательский дом "Вильямс", 2006. – 1104 с.
4. Иванов-Муромский К.А. Нейрофизиология, нейрокибернетика, нейробионика / Иванов-Муромский К.А. – К. : Вища школа, 1985. – 240 с.
5. Заведюк Т.О. Методи опрацювання та розпізнавання інформації в кореляційних нейропроцесорах

/ Т.О. Заведюк // Матеріали міжнародної проблемно-наукової міжгалузевої конференції "Інформаційні проблеми комп'ютерних систем, юриспруденції, енергетики, економіки, моделювання та управління (ПНМК-2011)". – 2011р. – Бучач – С. 73–77.

6. Николайчук Я.М. Теория джерел інформації / Николайчук Я.М. – Тернопіль, ТНЕУ. – 2008. – 536 с.

7. Акушский И.Я. Машинная арифметика в остаточных классах / И.Я. Акушский, Д.И. Юдицкий. – М. : Сов. радио. – 1968. – 460 с.

Надійшла 23.6.2012 р.

Рецензент: д.т.н. Горбійчук М.І.

УДК 536.532

Н.М. ВАСИЛЬКІВ, В.В. КОЧАН, О.В. КОЧАН, М.І. ЧИРКА

Тернопільський національний економічний університет

ДОСЛІДЖЕННЯ ВПЛИВУ НЕРІВНОМІРНОСТІ ДРЕЙФУ ТЕРМОПАР НА ПОХИБКУ КОРЕКЦІЇ ЇХ НЕОДНОРІДНОСТІ

Розглянуто методику та результати дослідження похибки методу корекції похибки вимірювання температури термопарами, що мають значну, набуту в процесі тривалої експлуатації при високій температурі, термоелектричну неоднорідність електродів.

Methodology and results of research of error of method of correction of error of measuring of temperature are considered by thermocouples, that have considerable, purchased in the process of the protracted exploitation at a high temperature, thermo-electric heterogeneity of electrodes.

Ключові слова: дрейф термопар, корекція неоднорідності.

Вступ

Традиційно для вимірювання температури в діапазоні вище 500°C в промисловості використовуються в основному термоелектричні перетворювачі (ТЕП), чутливим елементом яких є термопари [1, 2]. Останнім часом інтенсивно розроблялися давачі (сенсори) високих температур на основі іншого принципу дії (оптоволоконні, лазерні, термошумові), але вони поки що не можуть конкурувати з термоелектричними перетворювачами, не зважаючи на відносно велику похибку ТЕП, яка, як правило, домінує серед похибок інших компонентів вимірювального каналу [3-5], що змушує шукати методи її зменшення.

Відомими є методи корекції багатьох похибок термоелектричних перетворювачів, як-от від початкового розкиду функцій перетворення (ФП) [6], від часового дрейфу їх ФП під дією температури експлуатації шляхом групового та індивідуального прогнозу цього дрейфу за міжповірний або міжкалібрувальний інтервал [5, 7, 8], від впливу температури вільних кінців [9] тощо. Однак однією з найбільш небезпечних похибок термопар є похибка від набутої в процесі тривалої експлуатації термоелектричної неоднорідності їх електродів [10, 11]. Ця похибка проявляє себе як залежність термо-е.р.с., генерованої термопарою, яка тривалий час експлуатувалася, не тільки від температур робочого та вільного кінців, а й від профілю температурного поля вздовж термоелектродів.

Механізм впливу набутої неоднорідності електродів термопар на генеровану термо-е.р.с.

Механізм впливу набутої неоднорідності електродів термопар на генеровану термо-е.р.с. пояснює рис. 1.

На рис. 1,а) представлено термопару, наприклад, типу хромель-алюмель (ХА). Ця термопара експлуатується в температурному полі об'єкта, профіль якого задано лінією ABCD. За рахунок того, що за тривалий час експлуатації t термоелектроди деградували (окислення їх компонентів, дифузія домішок, рекристалізація та інше, див. [10]), ФП ділянки, наприклад, l_i відхиляється від номінальної. Згідно з [12], для часу t та температури t , рівної температурі T_i експлуатації ділянки l_i , відхилення ΔT її ФП від номінальної мають вигляд, представлений на рис. 1,б) та 1,в). Якщо профіль температурного поля вздовж термоелектродів змінився, наприклад, став AB1C1D, то

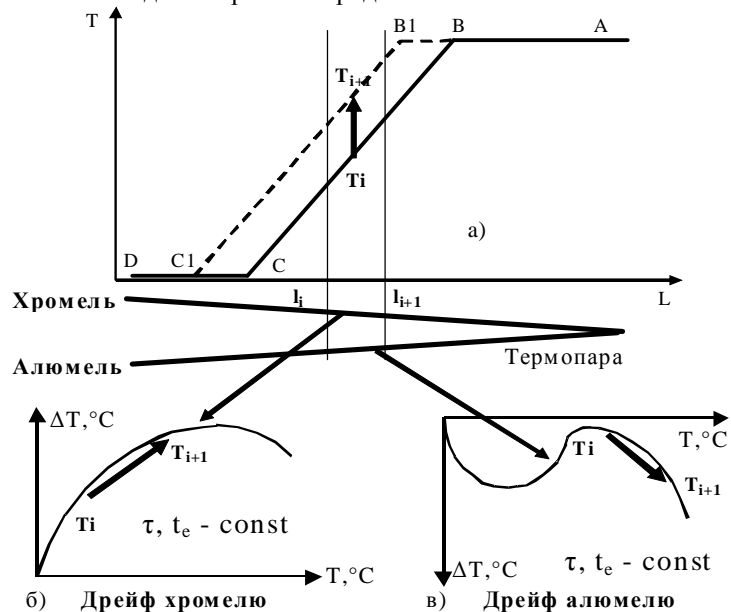


Рис. 1. Механізм впливу набутої термоелектричної неоднорідності електродів термопар на генеровану термо-е.р.с.