

УДК 62-791.2; 519.873

Б. В. ЧЕГОДАЄВ,

Інженер Дорожньої лабораторії автоматики, телемеханіки та зв'язку ДП «Донецька залізниця»,
Донецьк

МАТЕМАТИЧНА ТА ФУНКЦІОНАЛЬНА МОДЕЛІ СИСТЕМИ ОЦІНЮВАННЯ ЯКОСТІ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ ПРИСТРОЇВ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ ТА ЗВ'ЯЗКУ

Запропоновано альтернативний підхід до діагностування (контролю) пристроїв автоматики, телемеханіки та зв'язку, застосовуваних на залізничному транспорті України. Подані технічні та функціональні вирішення являють собою модель розрахунку, в якій можна змінювати всі параметри складових елементів, виконуючи пошук відмов при зміні як окремого параметра, так і комплексу досліджуваних показників. При цьому можлива реалізація коректної роботи перцептрона, із забезпеченням його навчання на базі заздалегідь заданих дійсних значень — відомих (передбачуваних) станів контрольованого (діагностованого) об'єкта у процесі моніторингу його функціонування.

Ключові слова: діагностика пристроїв сигналізації; централізації та блокування; безпека руху; перцептрон; технічне обслуговування; метод групового врахування аргументів.

Вступ

При проектуванні необхідного на залізницях України підходу до визначення якості виконання технічного обслуговування (ТО) пристроїв автоматики, телемеханіки і зв'язку (АТіЗ) важливе значення має побудова математичної і функціональної моделей із метою визначення загальної концепції та реалістичності впровадження тієї чи іншої розробки. Головним напрямком у реалізації кожного проекту слід вважати оснащення технічними засобами діагностики (контролю) основних кіл та елементів (пристроїв, агрегатів) підлогового обладнання сигналізації, централізації та блокування (СЦБ). А оскільки весь комплекс пристроїв являє собою єдину складну технічну систему, то математично описати її досить складно.

Проаналізуємо, наприклад, склавши відповідну математичну модель, такий технічний об'єкт, як стрілка електричної централізації (ЕЦ) при певних конструктивних особливостях (двопровідна схема управління, двигун постійного струму і т. ін.). Побудовану модель можна застосувати (як базу варіацію) до всіх без винятку пристроїв СЦБ.

В [1–4] викладено універсальні методологічні підходи, що дозволяють незалежно від конкретних сфер додатків будувати адекватні математичні моделі досліджуваних об'єктів.

Автори деяких наукових праць розглядають розв'язання практичних завдань із відновлення регресії як пошук адекватних моделей при використанні породжених ознак, отриманих за допомогою вимірюваних вихідних ознак. Розв'язання цих питань змушує суттєво підвищувати розмірність простору ознак, а отже, використовувати алгоритми ознак [5; 6].

Дослідження сучасних теоретиків і їхніх попередників розглядають завдання та методологію нейронного моделювання як один із розділів штуч-

ного інтелекту. При цьому закладаються основи побудови, навчання та функціонування найбільш поширених спеціалізованих штучних нейронних мереж (нейронних парадигм), призначених для виконання різних прикладних завдань [7; 8].

Основна частина

Головний метод побудови математичних і функціональних моделей полягає в застосуванні фундаментальних законів природи до конкретної ситуації. Ці закони, загально визнані, багаторазово підтверджені досвідом, виступають основою безлічі науково-технічних досягнень [1].

Наприклад, коли йдеться про оцінювання якості ТО пристроїв АТіЗ, спочатку визначаємо коло, елементи, параметри, значення яких необхідно отримати (зняти) за допомогою пристрою оцінювання якості ТО ($R_i, i = \overline{1, n}$). Цей пристрій встановлюють безпосередньо в підлоговому об'єкті (Sub) для подальшої ідентифікації та оцінювання коректності роботи останнього в цілому. Далі відбувається пошук найбільш чіткого співвідношення між станами (знятими, отриманими параметрами) $R_i, i = \overline{1, n}$ та еталонними (нормативними) значеннями $z_j, j = \overline{1, m}$, тобто визначення залежності $R_i = f_i(z_j)$ [2].

Перелік діагностованих (знятих) параметрів (рис. 1) включає в себе ті виміри (визначені значення), які характеризуються найбільшою інформативністю для оператора (у прикладі зі стрілкою виберемо максимально доступну кількість параметрів, які підлягають зняттю).

Вибір параметрів може здійснюватися одним із відомих методів:

- ◆ експертним методом відбору діагностованих параметрів;
- ◆ із використанням критерію протекції змінних;
- ◆ за максимальним значенням деякого коефіцієнта;

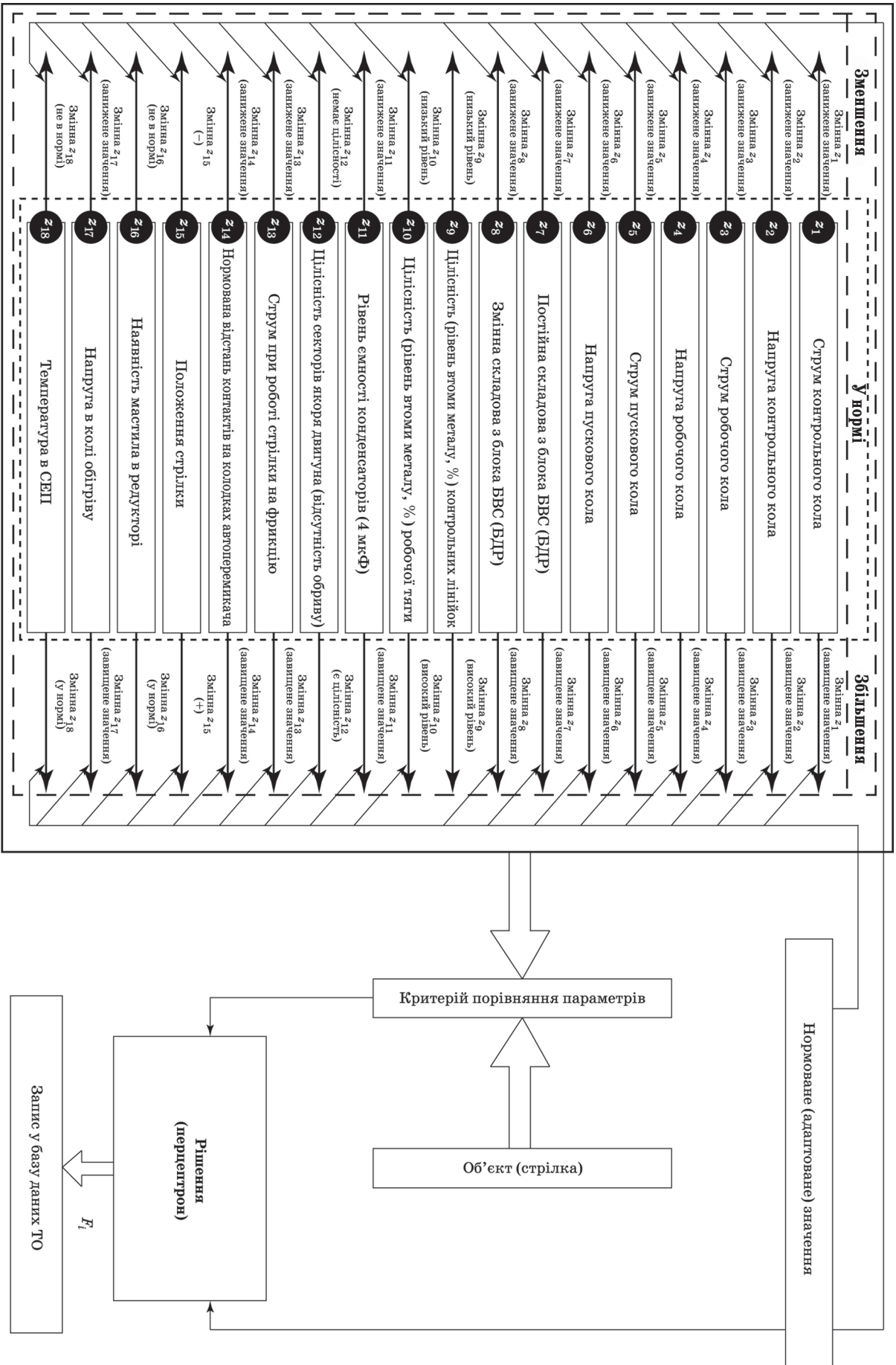


Рис. 1. Функціональна модель процесу діагностування об'єкта

♦ із використанням критерію дисперсії сигналу.

Далі скористаємось експертним методом відбору діагностованих параметрів. Зауважимо, що сучасний рівень розвитку технічних засобів, таких як мікроконтролери та мікропроцесори, дозволяє функціонально та архітектурно будувати як зазвичай складні технічні системи. Усе визначається набором висунених вимог [3].

Наведена на рис. 1 модель процесу діагностування об'єкта СЦБ включає в себе перцептрон, призначений для отримання об'єктивних функцій $F_i \rightarrow R_i$, які відображають стан кіл та елементів контрольованого (діагностованого) об'єкта. Керуючі сигнали подаються як на об'єкт, так і на еталонне значення (модель).

Передбачається, що значення, зняті з об'єкта діагностики (контролю), являють собою його дійсні значення, причому для їх визначення використовуються узгоджувальні пристрої (аналого-цифрові перетворювачі), що виступають як складові елементи об'єктного блока діагностики. Після отримання вимірних значень параметрів з об'єкта діагностики (контролю) вони надсилаються (усередині одного об'єкта) у модуль порівняння і за критеріальною ознакою близькості порівнюються в просторі еталонних (дійсних) ознак.

Зауважимо, що порівнянню підлягають усі отримані значення з об'єкта незалежно від часу надходження даних, які підлягають зняттю.

У модулі порівняння установлення розбіжностей між еталонним (дійсним) і вимірним (отриманим з об'єкта) значеннями здійснюється за траєкторіями зміни параметрів. При цьому виявлені відмінності в траєкторіях означають відхилення від нормованих значень, що буде «сигналізатором» для оператора, котрий опікується отриманням даних. Траєкторія зміни параметрів моделі має бути близька до траєкторії еталонних параметрів об'єкта і відповідати рівнянню [2]

$$\min_{j \in J} (MRz_j) = \int_{t_1}^{t_2} (z_{mj \rightarrow M}(t) - z_{oj}(t)) dt; \quad j = \overline{1, n}, \quad (1)$$

де $z_{mj \rightarrow M}(t)$, $z_{oj}(t)$ — траєкторія зміни відповідно значень параметрів, отриманих за допомогою технічного засобу діагностики та еталонного (нормативного) значення; t_1 , t_2 — часові межі розгляду.

Використовуючи рівняння (1), необхідно взяти до уваги ту обставину, що параметр $z_{mj \rightarrow M}$ визначається моделлю $M \in Y$, яку взято за основу, де Y — набір використовуваних методів [2].

У запропонованій моделі при визначенні якості методів пошуку можна застосовувати [4]:

- методи градієнтного пошуку, що спираються на обчислення похідних;
- ітераційні методи, що не передбачають обчислення похідних.

Схема діагностики являє собою модель розрахунку, в якій можна змінювати всі параметри складових елементів. Це дозволяє виконувати пошук при зміні як одного параметра, так і всіх параметрів у комплексі. Коли надходить інформація про мінімум обраного критерію MRz_j , відбувається процедура діагностики перцептрона в просторі ознак $z_j(t)$, що має на меті визначення вирішальної функції $R_s = f(z_j(t))$, яка характеризує змінний (новий) стан (положення) S .

При цьому мітку нового стану об'єкта ставить еталонне значення — модель M , яка визначає параметри і дозволяє надати їм певного смислового значення, що мінімізує відповідний критерій близькості параметрів [2].

Діагностичний процес як пошук і визначення вирішальної функції відбувається за тими самими правилами, що й у разі ухвалення звичайного рішення.

У процесі реалізації запропонованого підходу та концепції побудови діагностики й методів визначення якості ТО спочатку необхідно встановити критерій вибору правильного рішення за станом об'єкта, а саме:

- адекватного розрахунку досліджуваної схеми (вузла);
- правильного вибору рішення.

Розглянемо процес пошуку мінімуму критерію MRz_j . Необхідність досягнення мінімуму зумовлена пошуком значення параметра в розрахунковій моделі, при якому цей критерій прямує до мінімуму, як це зображено на рис. 1, що унаочнює процес пошуку правильного рішення. Наприклад, процес зміни параметра z_2 визначається траєкторією, закладеною в параметрах моделі (еталонного значення), і має наближатися до траєкторії зміни параметрів об'єкта.

При пошуку вирішальної функції, яка характеризує стан (показ, значення) об'єкта контролю, використовується метод групового врахування аргументів (МГВА), на основі якого будується і наш перцептрон.

Уявімо адаптований МГВА, який застосовується для розрахунку схеми перцептрона [5; 6].

Зв'яжемо вхідні ознаки попарно в опорних рівняннях згідно з таким порядком [7]:

$$\begin{aligned} F_1[t_1] &= a_0 + a_1 \cdot z_1[t_1] + a_2 \cdot z_2[t_1] + a_3 \cdot z_1[t_1] \cdot z_2[t_1]; \\ F_1[t_2] &= a_0 + a_1 \cdot z_1[t_2] + a_2 \cdot z_2[t_2] + a_3 \cdot z_1[t_2] \cdot z_2[t_2]; \\ &\vdots \\ F_1[t_n] &= a_0 + a_1 \cdot z_1[t_n] + a_2 \cdot z_2[t_n] + a_3 \cdot z_1[t_n] \cdot z_2[t_n]. \end{aligned}$$

Для ознак z_2 , z_3 маємо:

$$\begin{aligned} F_2[t_1] &= a_0 + a_1 \cdot z_2[t_1] + a_2 \cdot z_3[t_1] + a_3 \cdot z_2[t_1] \cdot z_3[t_1]; \\ F_2[t_2] &= a_0 + a_1 \cdot z_2[t_2] + a_2 \cdot z_3[t_2] + a_3 \cdot z_2[t_2] \cdot z_3[t_2]; \\ &\vdots \\ F_2[t_n] &= a_0 + a_1 \cdot z_2[t_n] + a_2 \cdot z_3[t_n] + a_3 \cdot z_2[t_n] \cdot z_3[t_n]. \end{aligned}$$

Для z_3, z_4 маємо:

$$\begin{aligned} F_2[t_1] &= a_0 + a_1 \cdot z_3[t_1] + a_2 \cdot z_4[t_1] + a_3 \cdot z_3[t_1] \cdot z_4[t_1]; \\ F_2[t_2] &= a_0 + a_1 \cdot z_3[t_2] + a_2 \cdot z_4[t_2] + a_3 \cdot z_3[t_2] \cdot z_4[t_2]; \\ &\vdots \\ F_2[t_n] &= a_0 + a_1 \cdot z_3[t_n] + a_2 \cdot z_4[t_n] + a_3 \cdot z_3[t_n] \cdot z_4[t_n]. \end{aligned}$$

Для z_4, z_5 маємо:

$$\begin{aligned} F_2[t_1] &= a_0 + a_1 \cdot z_4[t_1] + a_2 \cdot z_5[t_1] + a_3 \cdot z_4[t_1] \cdot z_5[t_1]; \\ F_2[t_2] &= a_0 + a_1 \cdot z_4[t_2] + a_2 \cdot z_5[t_2] + a_3 \cdot z_4[t_2] \cdot z_5[t_2]; \\ &\vdots \\ F_2[t_n] &= a_0 + a_1 \cdot z_4[t_n] + a_2 \cdot z_5[t_n] + a_3 \cdot z_4[t_n] \cdot z_5[t_n]. \end{aligned}$$

І, нарешті, для ознак z_{17}, z_{18} маємо:

$$\begin{aligned} F_{18}[t_1] &= a_0 + a_1 \cdot z_{n-1}[t_1] + a_2 \cdot z_n[t_1] + a_3 \cdot z_{n-1}[t_1] \cdot z_n[t_1]; \\ F_{18}[t_2] &= a_0 + a_1 \cdot z_{n-1}[t_2] + a_2 \cdot z_n[t_2] + a_3 \cdot z_{n-1}[t_2] \cdot z_n[t_2]; \\ &\vdots \\ F_{18}[t_n] &= a_0 + a_1 \cdot z_{n-1}[t_n] + a_2 \cdot z_n[t_n] + a_3 \cdot z_{n-1}[t_n] \cdot z_n[t_n]. \end{aligned}$$

За наведеним прикладом будуються аналогічні моделі (у нашому випадку для стрілки ЕЦ) для інших виходів, коли йдеться про відшукування вирішальних функцій. Для кожного об'єкта окремо розраховується критерій $MR(F_{ki})$, який оцінює близькість еталонного значення вихідного сигналу [5]:

$$MR(F_{ki}) = \frac{\sum_{i=1}^m (F_{ki} - R_{ki})^2}{\sum_{i=1}^m R_{ki}^2}, \quad (2)$$

де R_{ki} — дані, які фіксуються в моменти t_i .

Матриця F_{ki} діагональна:

$$F_{ki} = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}, \quad (3)$$

де по діагоналі розташовуються одиниці, що являють собою значення, яких набуває вихід моделі, коли фіксуються дані R_{ki} .

Згідно зі значеннями розрахованого (отриманого в результаті порівняння) критерію здійснюється відбір моделі для подальшого застосування на наступному етапі моделювання МГВА. Припустимо в даному разі модель наведено на рис. 2.

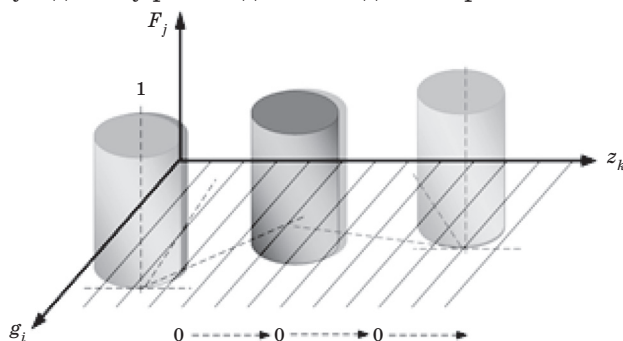


Рис. 2. Модель значень розрахованого критерію на основі методу групового врахування аргументів

Пропонований метод уможливило реалізацію коректної роботи перцептрона. При цьому навчання перцептрона проводиться на заздалегідь заданих дійсних даних, які характеризують відомі (передбачувані) стани контрольованого (діагностованого) об'єкта, тобто значення і покази, що їх матиме контрольований об'єкт при діагностиці [8].

Структуру методу групового врахування аргументів, адаптовану до наведеного прикладу (стрілка), зображено на рис. 3.

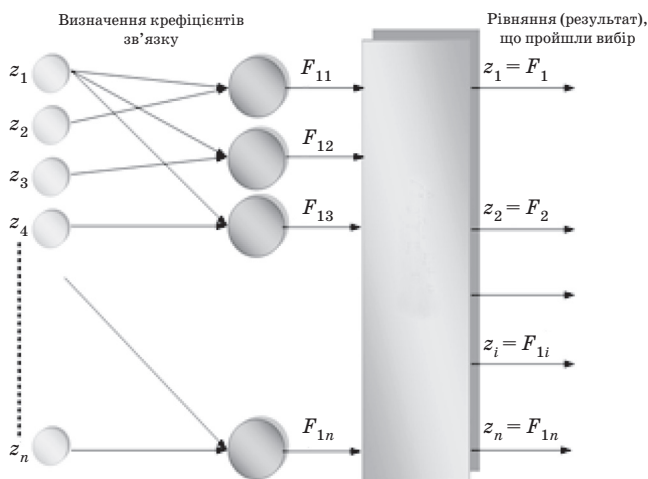


Рис. 3. Структура методу МГВА, адаптована до пропонованого підходу

При діагностиці та визначенні дійсних значень кіл (вузлів) технічного об'єкта можливі такі випадки [5]:

- стан об'єкта (вузлів, кіл) збігається з наперед заданим еталонним (нормативним) значенням;
- стан об'єкта (вузлів, кіл) межує з двома чи більше заздалегідь заданими еталонними значеннями. Тоді необхідно виконати аналіз зв'язків параметрів (граничних значень) і виходів моделі, оскільки в такій ситуації можливі відмови (вихід за допустимі норми), коли одночасно можуть не відповідати еталонним значенням кілька параметрів.

Розглянемо два випадки дійсних значень кіл, наведених на рис. 4 і 5, що ілюструють побудову передбачуваного перцептрона, зведеного до встановлення зв'язків між вхідними значеннями (параметрами) і виходом.

Вірогідність для n -вимірному вектора набирає вигляду

$$F_k = \sum_{i=0}^n (a_i \cdot z_k^i + a_j \cdot z_k^j).$$

Перешкоди і корисні сигнали не корельовані [5; 6].

При коригуванні моделі на значеннях виходів F_j, F_{j+1} дістаємо більш точне відображення станів об'єкта, тобто коректніше буде працювати система в цілому, відображаючи поведінку об'єкта згідно з такими залежностями [5; 6]:

$$R_j^k = f_j(z_i \cdot k, z_{i+1} \cdot k); \quad (4)$$

$$R_{j+1}^k = f_j(z_i \cdot k, z_{i+1} \cdot k). \quad (5)$$

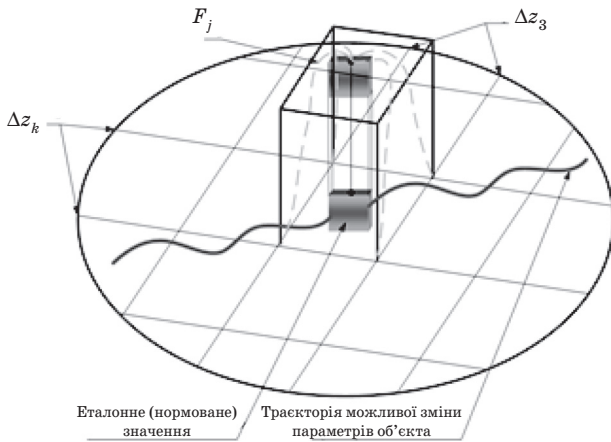


Рис. 4. Стан об'єкта (параметри) збігається з еталонним значенням

Отже, для контролю якості ТО є сенс застосовувати перцептрон із коригуванням моделі, що дозволяє:

- підвищувати вірогідність отримуваних даних про параметри, які підлягають зняттю з об'єкта контролю та діагностики;
- застосовувати нові опорні функції для більш детального опису поводження (відстеження станів) об'єкта діагностики.

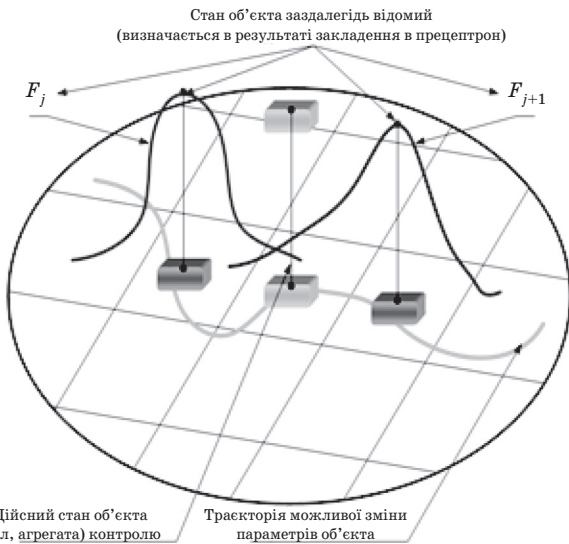


Рис. 5. Стан об'єкта не збігається із заздалегідь закладеним еталонним значенням

Наступний крок при реалізації системи — передавання даних із флеш-носія інформації операторові — об'єкту отримання даних. Це можна здійснити в різний спосіб, забезпечивши, наприклад відображення на переносному приймально-передавальному пристрої, за допомогою пересувних об'єктів отримання інформації (стаціонарний ПК у вагоні-лабораторії тощо) або наданням віддаленого доступу операторові, який має право на отримання цієї інформації.

При побудові функціональної складової запропонованого підходу особливо важливо домогтися

найбільшої інформативності відображення отриманих даних для найкращого сприйняття оператором і своєчасного розпізнавання критичних станів на об'єкті. Передбачуваний проект візуалізації отриманих даних щодо об'єкта контролю якості ТО наведено на рис. 6 і 7.

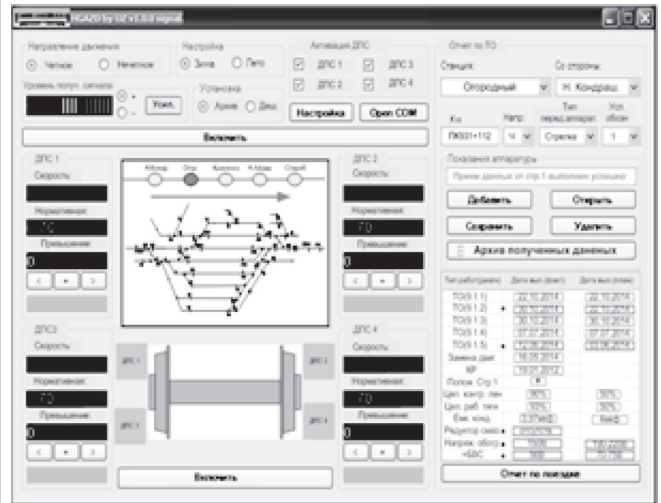


Рис. 6. Проект активного вікна програмного забезпечення щодо відображення інформації з підлогових об'єктів і датчиків бортового обладнання

Зауважимо, що інформацію, яка надходить від бортового обладнання вагона-лабораторії та від передавального обладнання підлогового об'єкта (стрілка, світлофор тощо), можна подати як два окремі блоки.

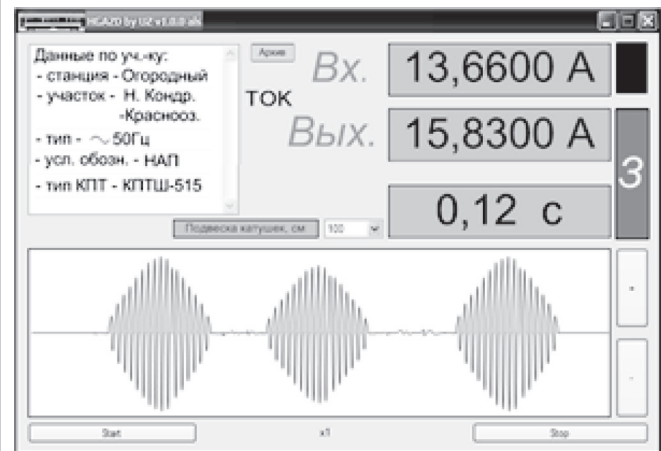


Рис. 7. Проект активного вікна програмного забезпечення з контролю параметрів коду АЛС (вагон-лабораторія)

Варто наголосити, що згідно із запропонованим підходом можна реалізувати відразу кілька спільних проектів:

- безпосередній контроль за ТО;
- діагностика підлогового обладнання;
- прогнозування відмов;
- заміна застарілого бортового обладнання вагона-лабораторії з контролю параметрів коду АЛС («Навігатор», «Колос» тощо).

Висновки

Запропоновано функціональну та математичну моделі (орієнтовні) діагностики підлогового об'єкта (стрілка) ЕЦ, які являють собою базові варіації побудови повноцінної системи оцінювання якості ТО.

Упровадження такої системи — пріоритетне завдання, розв'язання якого на залізницях України посприє істотному підвищенню надійності залізничних систем автоматики та безпеку руху.

Поданий проект моделей активних вікон програмного забезпечення візуалізації результатів діагностики (моніторингу) та визначення якості ТО може розглядатись як опорний у процесі випробування системи в реальних умовах (на макеті).

Література

1. Самарский, А. А. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры: учеб. пособие / А. А. Самарский, А. П. Михайлов. — 2-е изд., испр. — М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. — 320 с.

2. Малышенко, Ю. В. Техническая диагностика: учеб. пособие / Ю. В. Малышенко, Л. Ф. Стыцюра, Ю. Л. Саяпин; под общ. ред. Ю. В. Малышенко. — Владивосток: Изд-во ВГУЭС, 2010. — 302 с.

3. Раннев, Г. Г. Интеллектуальные средства измерений: учебник для студ. высш. учеб. заведения / Г. Г. Раннев. — М.: Изд. центр «Академия», 2010. — 272 с.

4. Айвазян, С. А. Прикладная статистика. Основы моделирования и первичная обработка данных: учебник / С. А. Айвазян, И. С. Енюков, Л. Д. Мешалкин. — М.: Финансы и статистика, 1983. — 472 с.

5. Стрижиков, В. В. Методы индуктивного порождения регрессионных моделей / В. В. Стрижиков. — М.: Вычислит. центр РАН, 2008. — 61 с.

6. Стрижиков, В. В. Методы выбора регрессионных моделей / В. В. Стрижиков, Е. А. Крымова. — М.: Вычислит. центр РАН, 2010. — 60 с.

7. Розенблатт, Ф. Принципы нейродинамики. Перцептроны и теория механизмов мозга: пер. с англ. / Ф. Розенблатт. — М.: Изд-во Мир, 1965. — 480 с.

8. Брюхомицкий, Ю. А. Нейросетевые модели для систем информационной безопасности: учеб. пособие / Ю. А. Брюхомицкий. — Таганрог: Изд-во ТРТУ, 2005. — 160 с.

Б. В. Чегодаев

МАТЕМАТИЧЕСКАЯ И ФУНКЦИОНАЛЬНАЯ МОДЕЛИ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ КАЧЕСТВА ТЕХНИЧЕСКОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ УСТРОЙСТВ АВТОМАТИКИ, ТЕЛЕМЕХАНИКИ И СВЯЗИ

Предложен альтернативный подход к диагностике (контролю) устройств автоматики, телемеханики и связи, применяемых на железнодорожном транспорте Украины. Представленные технические и функциональные решения образуют модель расчета, в которой возможно изменять все параметры составляющих элементов, осуществляя поиск отказов как при смене одиночного параметра, так и комплексном изменении показателей. При этом возможна реализация корректной работы перцептрона, с обеспечением его обучения на базе заранее заданных действительных значений — известных (предсказуемых) состояний контролируемого (диагностируемого) объекта в процессе мониторинга его функционирования.

Ключевые слова: диагностика устройств сигнализации; централизации и блокировки; безопасность движения; перцептрон, техническое обслуживание; метод группового учета аргументов.

B. V. Chegodaev

MATHEMATICAL AND FUNCTIONAL MODELS OF QUALITY ASSESSMENT SYSTEM MAINTENANCE DEVICES OF AUTOMATICS, TELEMECHANICS AND COMMUNICATION

The article is suggested an alternative model of system diagnosis (control) devices of automatics, telemechanics and communication for use on railway transport of Ukraine. Provided technical and functional solutions which are a model of calculation in which it is possible to change all the parameters of the constituent elements that allows you to search bounce as well as changing a single parameter and complex changes to the settings. In these models a possible implementation of the correct operation of the perceptron, thus perceptron training is held at the predetermined valid data, which are famous (alleged) state-controlled (indicated) object, or in other words, values and statements that will be controlled object at diagnosis (monitoring).

Keywords: diagnostics alarm device; centralization and blocking; traffic safety; perceptron; maintenance; group accounting method arguments.