
ТЕХНІЧНІ НАУКИ

УДК 004. 89; 519.816; 351.746.1

О. С. Андрощук, доктор технічних наук, доцент, професор кафедри оперативного мистецтва Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького (м. Хмельницький)

А. В. Крижний, доктор технічних наук, професор, науковий співробітник науково-дослідного відділу Національної академії Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького (м. Хмельницький)

БАГАТОКРИТЕРІАЛЬНА ОЦІНКА МЕТОДІВ ПОБУДОВИ СИСТЕМИ ПРОГНОЗУВАННЯ НА БАЗІ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ ЩОДО ПОКАЗНИКІВ ДІЯЛЬНОСТІ ОРГАНІЗАЦІЙНИХ СИСТЕМ СПЕЦІАЛЬНОГО ПРИЗНАЧЕННЯ

Подано модель вибору раціонального складу архітектури системи прогнозування на базі штучних нейронних мереж в організаційних системах спеціального призначення на основі розв'язання багатокритеріальної задачі. Модель надає можливість на підставі статистичних даних вибрати методи із врахуванням специфіки завдань.

Ключові слова: прогнозування, штучна нейронна мережа, модель вибору

Постановка проблеми у загальному вигляді. Вирішення завдань з прогнозування, що входять до складу завдань прийняття рішень в організаційних системах спеціального призначення, пов'язано з проблемою домінування якісних, невизначених і нечітких факторів, нелінійним характером залежності вхідних і та вихідних змінних. Прикладами таких завдань може бути прогноз кількості осіб, об'єктів, транспортних засобів і вантажів до протиправної діяльності правоохоронними органами [1–4], прогноз розвитку надзвичайної ситуації органами цивільного захисту [5], прогноз військової небезпеки збройними формуваннями [6].

Аналіз останніх досліджень і публікацій, у яких започатковано вирішення даної проблеми та на які опирається автор. Питання прогнозування розглядалися у роботах Е. М. Четиркіна [7], В. Г. Глюшинського [8], Д. Е. Ханка [9] тощо. Прогнозування показників службової діяльності прикордонних структур частково розглядалось А. Ф. Кучковим та Н. Ф. Лукашевичем [10]. Ці завдання все більше виконуються за допомогою системи прогнозування на базі штучних нейронних мереж (СПШНМ). Побудова архітектури такої системи передбачає вибір низки методів та алгоритмів, які подані у таблиці.

У прикордонних підрозділах та органах для вирішення завдань прогнозування традиційно використовуються такі екстраполяційні методи математичної статистики, як метод середніх, метод найменших квадратів [10; 11], евристичні експертні методи [12] тощо, які було орієнтовано в основному на стаціонарні умови. Сучасні умови функціонування Державної прикордонної служби України (ДПСУ) характеризуються нестабільністю економічних, політичних, екологічних процесів тощо, що вимагає вдосконалення методів аналізу і прогнозування [13].

Більшість даних у діяльності ДПСУ, які зберігаються в базах даних інформаційно-телекомунікаційних систем, можна інтерпретувати як часовий ряд, що є вихідною умовою для застосування відповідних методів. Прогнозуванню на основі моделей часових рядів присвячено низку досліджень із використанням статистичних методів і суб'єктивних знань експертів, зокрема роботи Дж. Бокса, Г. Дженкінса, [14], В. П. Боровікова, Г. І. Івченко [15], Н. А. Садовнікової, Р. А. Шмойлової [16] тощо.

Недоліками зазначених вище підходів є [17]: відсутність у моделі відомостей щодо структури і системи зв'язків реального об'єкта, що вносить суб'єктивізм у вибір як самої моделі, так і її структури; труднощі побудови моделей за умови, що дані мають нелінійний характер; недостатня

точність прогнозу; значна чутливість отриманих результатів до недостатньої інформації та (або) її зашумленість; залежність результату прогнозу від кваліфікації аналітика в конкретній предметній сфері тощо.

Серед методів урахування таких факторів значного поширення набули підходи на основі теорії штучних нейронних мереж [18].

Ураховуючи велике різноманіття завдань, що вирішуються багатьма організаційними системами спеціального призначення [1–6], зростання їх кількості та складності, завдання побудови раціональної архітектури СПШНМ для кожного окремого випадку є актуальним.

Склад методів моделі прогнозування на базі штучної нейронної мережі

№ з/п	Етапи побудови СПШНМ	Метод									
1	Загальна формалізація завдання										
2	Збір початкових даних										
a	відновлення пропущених даних	Середнє згладжування		Нейромережний			Відкидання пропущених даних				
б	очищення даних										
3	Аналіз і перетворення початкових даних										
a	нормування	Логарифмування			Статистичні			Перетворення Фур'є	Виважене перетворення		
				Нахил ліній регресії							
б	масштабування	$\frac{X_i - \min X}{\max X - \min X}$		$(X_i - m)c$							
в	відбір вхідних даних	Статистичні методи		Аналіз чутливості		Визначення відносного впливу даного входу					
4	Формування навчальної і тестової вибірок	Динамічного довірчого інтервального оцінювання			Евристичні						
5	Вибір структури штучної нейронної мережі	Деструктивний			Конструктивний						
6	Вибір функції активації та завдання вхідних параметрів	Порогова	Лінійна	Ступенева	Сигмоїдна	Гіперболічного тангенса		Біполярна			
7	Обґрунтування вибору методу навчання	Ньютона	Гауса	Левенберга-маркварта	Квадратного вивески	Зв'язаних градієнта	Генетичний	Градієнтного спуску	Зворотного розповсюдження	помилки	
8	Обґрунтування вибору нейропакета	Neuro-Solutions	Statistica Neural Networks	Mat Lab	Deductor		Neuro-Shell 2		Brain-Maker		

Постановка завдання. Принциповими особливостями вирішення завдання вибору раціонального варіанта архітектури СПШНМ, що визначають метод його рішення, є:

- багатокритеріальність завдання вибору;
- відсутність опису показників якості методів і кінцевого результату СПШНМ;
- різноманіття ситуацій тощо.

У зв'язку із цим вибір раціональної архітектури СПШНМ пропонується здійснити, вирішуючи класичне завдання оптимізації [20].

Метою статті є подання підходу щодо вибору раціонального складу архітектури СПШНМ із застосуванням методів багатокритеріальної оптимізації.

Виклад основного матеріалу дослідження. Моделі вибору раціональної архітектури СПШНМ та обґрунтування методу її дослідження представимо на прикладі вибору архітектури СПШНМ з прогнозування перетинання державного кордону (ДК), яку подано у [1–4].

Визначимо множини:

1. Множина Θ – кінцева множина об'єктів прогнозу $\gamma_1, \gamma_2, \dots, \gamma_n$. I – множина індексів елементів: $I = \{1, 2, \dots, n\}$. Приклади об'єктів: особи, транспортні засоби, вантажі, що перетинають ДК.

2. Множина типів методів СПШНМ за напрямками побудови Z – кінцева множина елементів $\{z_{ik}\}$, де z_{ik} – k -й тип методів за i -м об'єктом прогнозу $i = \overline{1, N}, k = \overline{1, M}$ (наприклад, нормування та масштабування) (див. таблицю).

3. Множина всіх методів СПШНМ W – кінцева множина елементів $\{w_{ikj}\}$, де w_{ikj} – j -й метод k -го типу за i -м об'єктом прогнозу (для спрощення візьмемо випадок, коли кількість методів усіх типів є однаковою) $i = \overline{1, N}, k = \overline{1, M}, j = \overline{1, L}$ (наприклад, генетичний або Гауса щодо навчання) (див. таблицю).

4. Множина значень характеристик методів (вартість, швидкість розрахунку, алгоритмічна складність) – S . Елемент $s_{ikj} \in S, i = \overline{1, N}, k = \overline{1, M}, j = \overline{1, L}$ являє собою реалізацію характеристики w_{ikj} -го методу прогнозу об'єкта $\gamma_i \in \Theta$. Потужності множин W та S збігаються:

$$|W| = |S|.$$

5. Множина характеристик вихідних значень прогнозу – O (помилка прогнозу). Елемент $o_{ikj} \in O, i = \overline{1, N}, k = \overline{1, M}, j = \overline{1, L}$ характеризує реалізацію підмножини методів $\{w_{ikj}\}$ прогнозу об'єкта $\gamma_i \in \Theta$.

Введемо змінну:

$$x_{ikj} = \begin{cases} 1, & \text{якщо застосовується } w_{ikj}\text{-й метод з об'єктом } \gamma_p \\ 0, & \text{у протилежному випадку, } i = \overline{1, N}, k = \overline{1, M}, j = \overline{1, L} \end{cases} \quad (1)$$

Відзначимо, що за кожним об'єктом прогнозу застосовується один метод СПШНМ (мається на увазі те, що одночасно два однотипних методи не можуть застосовуватись для прогнозу одного об'єкта), тобто

$$\sum_{j=1}^L E_{kj} = 1. \quad (2)$$

Основні параметри СПШНМ. Прогноз об'єкта γ_p здійснюється після вибору сукупності методів w_{ikj} , $i = \overline{1, N}$, $k = \overline{1, M}$, $j = \overline{1, L}$.

Для перевірки якості СПШНМ береться вибірка значень характеристик (наприклад, кількість осіб) за певний період.

Результатом прогнозу i -го об'єкта сукупністю (об'єднанням) методів буде вираз

$$O_i \left(\bigcup_{k=1}^M \bigcup_{j=1}^L w_{ikj} x_{ikj} \right), \quad (3)$$

у більш загальному випадку

$$O \left(\bigcup_{i=1}^N \bigcup_{k=1}^M \bigcup_{j=1}^L w_{ikj} x_{ikj} \right). \quad (4)$$

Цей вираз має бути мінімізовано для помилки прогнозу.

Характеристика (вартість) прогнозу об'єкта повинна бути мінімізована (максимізована) або, принаймні, вона не повинна перевищувати якоїсь величини, скажімо S_{oi} :

$$S_i = \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^L s_{ikj} x_{ikj} \leq S_{oi}, \quad (5)$$

де кожний доданок $s_{jki} x_{jki}$ – характеристика (вартість) реалізації $w_{jki} \in W$ метода, використаного на оцінку об'єкта $\gamma_i \in \Theta$, $1 \leq i \leq N$.

Для системи загалом це можна записати так:

$$S = \sum_{i=1}^N S_i = \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^L s_{ikj} x_{ikj} \leq S_o, \quad (6)$$

де S_o – обмеження вартості для системи.

Тривалість прогнозу об'єкта повинна бути мінімізована або, принаймні, вона не повинна перевищувати граничний термін:

$$\sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^L t_{ikj} x_{ikj} \leq T, \quad (7)$$

де T – граничне значення часу прогнозу характеристики (кількості осіб, транспортних засобів, вантажів, які перетинають ДК).

Модель вибору раціонального складу архітектури СПШНМ

У прямій постановці – визначити оптимальну архітектуру СПШНМ за виразом

$$O(\bigcup_{i=1}^N \bigcup_{k=1}^M \bigcup_{j=1}^L w_{ikj} x_{ikj}) \rightarrow \underset{\text{благ}}{\max}(\underset{\text{пор}}{\min}). \quad (8)$$

При мінімумі часу середньої оцінки i -го об'єкта маємо

$$\sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M t_{ik} x_{ik} / N \rightarrow \min, \quad (9)$$

де t_{ikj} – часові витрати, необхідні для оцінки j -м методом СПШНМ k -го типу i -го об'єкта; x_{ikj} – змінна, яка дорівнює 1, якщо застосовується j -й метод СПШНМ k -го типу i -го об'єкта, і дорівнює 0 у протилежному випадку; N – кількість об'єктів; M – кількість типів методів СПШНМ; L – кількість методів СПШНМ k -го типу.

За таких обмежень:

а) на кожен СПШНМ призначається один метод k -го типу:

$$\sum_{j=1}^L x_{jki} = 1; \quad (10)$$

б) загальна характеристика (вартість) СПШНМ не перевищує граничну:

$$\sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M \sum_{j=1}^L s_{ikj} x_{ikj} \leq S, \quad (11)$$

де s_{jki} – характеристика (вартість) j -го методу СПШНМ k -го типу для оцінки i -го об'єкта; S – гранична характеристика (вартість) СПШНМ.

У зворотній постановці – визначити оптимальний склад методів СПШНМ за виразом

$$O(\bigcup_{i=1}^N \bigcup_{k=1}^M \bigcup_{j=1}^L w_{ikj} x_{ikj}_{\text{баз}}) \rightarrow \max(\min)_{\text{пор}} \quad (12)$$

Загальна характеристика (вартість) забезпечення прогнозу об'єкта $\gamma_i \in \Theta$, $i = \overline{1, n}$ має бути мінімальною, тобто

$$\sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M s_{ikj} x_{ik} \rightarrow \min. \quad (13)$$

За цих обмежень:

а) на кожну СПШНМ призначається один метод k -го типу:

$$\sum_{j=1}^L x_{jki} = 1; \quad (14)$$

б) середня тривалість прогнозу не може перевищувати граничний термін:

$$\sum_{j=1}^L \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^M t_{ikj} x_{ik} / N \leq T, \quad (15)$$

де T – граничне значення часу прогнозу об'єкта (особи, транспортного засобу, вантажу, які перетинають ДК).

Розв'язання задач (8)–(11) та (12)–(15) надасть змогу вибрати оптимальну архітектуру СПШНМ, а вирішення відповідної сукупності завдань для всієї множини об'єктів – створити варіант інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень у складі програмно-технічних комплексів організаційних систем [21].

Аналіз літератури [22–25] свідчить, що всі численні методи розв'язання багатокритеріальних задач можна звести до трьох груп методів:

метод головного показника;

метод результуючого показника;

лексикографічні методи (методи послідовних поступок).

Наявність змінної x_{ik} і характер завдання, що вирішується, указує на необхідність застосування методів цілочисельного сепарабельного програмування для вирішення поставленого завдання [26]. Для його реалізації на відміну від цих методів автором пропонується використання генетичного методу [27], який себе добре зарекомендував для вирішення завдань параметричного налаштування [28].

Практичну реалізацію запропонованої моделі здійснено у вигляді програми “Вибір архітектури СПШНМ”, який запропоновано включити до складу банку програмного забезпечення.

Перевірку адекватності розробленої моделі вибору архітектури СПШНМ здійснено за допомогою експерименту. Експеримент проводився на базі кафедри інтегрованого управління кордонами Національної академії Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. Для експерименту було відібрано дані щодо осіб, які перетинали пункти пропуску різного призначення через ДК, у різний час, у різних пунктах пропуску. Під час експерименту розглядалися відомості, що містили значення вхідних оцінок протягом 90 діб, які перетинали ДК.

Програма “Вибір архітектури СПШНМ” на підставі вихідних даних за різними комбінаціями методів архітектури СПШНМ відповідно до розробленої моделі розраховувала прогноз кількості осіб. У результаті найкращі результати було отримано із застосуванням нейро-фаззи мережі запропонованої архітектури.

Висновок. Отже, у статті вперше подано модель вибору раціонального складу архітектури СПШНМ для прогнозу в організаційних системах спеціального призначення на основі розв’язання багатокритеріальної задачі. Модель надає можливість на підставі статистичних даних вибирати методи СПШНМ із урахуванням специфіки завдань. Дослідження моделі надасть змогу вибрати оптимальну архітектуру СПШНМ, а вирішення відповідної сукупності завдань для всієї множини об’єктів – створити варіант інтелектуальної системи підтримки прийняття рішень у складі програмно-технічних комплексів організаційних систем.

Перспективами подальших розвідок у даному напрямку є обґрунтування методу вибору раціонального складу архітектури СПШНМ.

Список використаної літератури

1. Андрощук О. С. Прогнозування в охороні державного кордону на основі нейромережного підходу / О. С. Андрощук, В. В. Ковтун, Е. В. Матусяк // Збірник наукових праць. Серія : Військові та технічні науки / Державна прикордонна служба України; Національна академія Державної прикордонної служби України імені Богдана Хмельницького. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2010. – № 54 – С. 41–46.

2. Андрощук О. С. Застосування штучних нейро-нечітких мереж для прогнозування у діяльності Державної прикордонної служби / О. С. Андрощук // Збірник

наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – Вип. № 4 (26). – Харків : ХУПС ім. І. Кожедуба, 2010. – С. 90–93.

3. Андрощук О. С. Прогнозування обстановки на державному кордоні із використанням штучних нейронних мереж / О. С. Андрощук, С. О. Фесенко // Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку : матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 5–6 липня 2010 року). – К. : ДП “ЦНДІ НіУ”, 2010. – С. 35.

4. Андрощук О. С. Нейромережні моделі прогнозу показників діяльності Державної прикордонної служби України / О. С. Андрощук // Системний аналіз та інформаційні технології : матеріали Міжнародної науково-технічної конференції SAIT 2011 (Київ, 23–28 трав. 2011 р.) / ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”. – Київ: ННК “ІПСА” НТУУ “КПІ”, 2011. – С. 197.

5. Снитюк В. Е. Эволюционные технологии принятия решений в пожаротушении / В. Е. Снитюк, А. А. Быченко, А. Н. Джулай. – Черкассы : Маклаут, 2008. – 264 с.

6. Теорія прийняття рішень органами військового управління : монографія / В. І. Ткаченко, Є. Б. Смірнов та ін. ; за ред. В. І. Ткаченка, Є. Б. Смірнова. – Х. : ХУПС, 2008. – 545 с.

7. Четыркин Е. М. Статистические методы прогнозирования / Е. М. Четыркин. – М. : Статистика, 1977. – 200 с.

8. Глюшинский В. Г. Инженерное прогнозирование / В. Г. Глюшинский. – М. : Энергоатомиздат, 1982. – 82 с.

9. Ханк Д. Э. Бизнес-прогнозирование / Д. Э. Ханк, А. Д. Райтс, Д. У. Уичерн. – М. : Вильямс, 2003. – 651 с.

10. Математическое моделирование служебно-боевых действий пограничных войск : учебник / Кучков А. Ф., Лукашевич Н. Ф., Попов Г. П., Шумов В. В. – М. : ФПС России, 1996. – 580 с.

11. Теоретичні основи інформаційно-аналітичного забезпечення процесів охорони державного кордону (у контексті завдань національної безпеки України в прикордонній сфері) : монографія / В. П. Городнов, М. М. Литвин, Д. В. Іщенко, В. А. Кириленко. – Хмельницький : Видавництво НАДПСУ, 2009. – 472 с.

12. Адаутов А. Ю. О прогнозировании обстановки на государственной границе / А. Ю. Адаутов, В. Н. Серватюк // Збірник наукових праць № 44. Частина II / Державна прикордонна служба України ; Національна академія Державної прикордонної служби України імені Б. Хмельницького. – Хмельницький : Вид-во НАДПСУ, 2008. – С. 10–14.

13. Андрощук О. С. Прогнозування обстановки на державному кордоні із використанням штучних нейронних мереж / О. С. Андрощук, С. О. Фесенко // Інформаційні технології в навігації і управлінні: стан та перспективи розвитку : матеріали першої міжнародної науково-технічної конференції (Київ, 5–6 липня 2010 року). – К. : ДП “ЦНДІ НіУ”, 2010. С. 35. – 68 с.

14. Бокс Дж. Анализ временных рядов. Прогноз и управление / Дж. Бокс, Г. Дженкинс. – М. : Мир, 1974. – 406 с.
15. Боровиков В. П. Прогнозирование в системе STATISTICA в среде Windows. Основы теории и интенсивная практика на компьютере / В. П. Боровиков, Г. И. Ивченко. – М. : Финансы и статистика, 2000. – С. 320.
16. Садовникова Н. А. Анализ временных рядов и прогнозирование : учебное пособие / Н. А. Садовникова, Р. А. Шмойлова. – М. : Московский государственный университет экономики, статистики и информатики, 2001. – 67 с.
17. Андрощук О. С. Застосування штучних нейро-нечітких мереж для прогнозування у діяльності Державної прикордонної служби / О. С. Андрощук // Збірник наукових праць Харківського університету Повітряних сил. – Вип. № 4 (26). – Харків : ХУПС ім. І. Кожедуба, 2010. – С. 90–93.
18. Хайкин С. Нейронные сети : полный курс / С. Хайкин ; пер. з англ. – М. : Издат. дом “Вильямс”, 2006. – 1104 с.
19. Ковальчук А. Використання методів нечіткого виведення в системах прогнозування станів природничих процесів / А. Ковальчук, О. Суха, Л. Фабрі // Вісник Національного університету “Львівська політехніка” (Комп’ютерні науки та інформаційні технології). – Львів, 2009. – № 638. – С. 164–170.
20. Вентцель Е. С. Исследование операций: задачи / Е. С. Вентцель. – М. : Наука, 1988.
21. Обґрунтування складу автоматизованої інформаційної системи органу охорони державного кордону : звіт про НДР : шифр 206-1001 I ; Національна академія Державної прикордонної служби України ; кер. Савченко О. О. ; викон. Андрощук О. С. - Хмельницький, 2006. –105 с. – Інв. № 4568.
22. Гуткин Л. С. Оптимизация радиоэлектронных устройств по совокупности показателей качества / Л. С. Гуткин. – М. : Радио, 1975. – 367 с.
23. Кини Р. Л. Принятие решений при многих критериях предпочтения и заещения / Р. Л. Кини. – М. : Радио и связь, 1981. – 342 с.
24. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике / Т. Р. Брахман. – М. : Радио и связь, 1984. – 287 с.
25. Дубов Ю. А. Многокритериальные модели формирования и выбора вариантов систем / Дубов Ю. А., Травкин С. И., Якимец В. Н. – М. : Наука, 1986. – 296 с.
26. Мамиконов А. Г. Достоверность, защита и резервирование информации в АСУ / А. Г. Мамиконов, В. В. Кульба. – М. : Энергоатомиздат, 1986. - 304 с.
27. Davis L. Handbook of Genetic Algorithms / L. Davis. – New York : NY, 1991.
28. Штовба С. Д. Проектирование нечетких систем средствами MatLab / С. Д. Штовба. – М. : Горячая линия–Телеком, 2007. – 288 с.

Стаття надійшла до редакції 31.05.2013

Андрощук А. С., Крижний А. В. **Многокритериальная оценка методов построения системы прогнозирования на базе искусственных нейронных сетей показателей деятельности организационных систем специального назначения**

Подано модель выбора рационального состава архитектуры системы прогнозирования на базе искусственных нейронных сетей в организационных системах специального назначения на основе решения многокритериальной задачи. Модель позволяет на основании статистических данных выбирать методы с учетом специфики задач.

Ключевые слова: *прогнозирование, искусственная нейронная сеть, модель выбора.*

Androschuk A. S., Kryzhnyi A. V. **Multicriteria evaluation of methods construction of forecasting based on artificial neural networks for parameters of organisational systems special**

Posted rational choice model of architecture prediction system based on artificial neural networks in organizational systems for special purposes on the basis of solving multi-objective problems. The model provides statistics based on the methods of choice with regard to specific tasks.

Keywords: *forecasting, artificial neural network, model selection.*