

УДК 519.876.5: 004.032.26

Н. Я. Савка

МОДЕЛЮВАННЯ ІНДИКАТОРІВ ЕКОНОМІЧНОЇ БЕЗПЕКИ ДЕРЖАВИ ЗАСОБАМИ РАДІАЛЬНИХ ШТУЧНИХ НЕЙРОННИХ МЕРЕЖ, ІДЕНТИФІКОВАНИХ МЕТОДАМИ АНАЛІЗУ ІНТЕРВАЛЬНИХ ДАНИХ

Проведено ідентифікацію штучних нейронних мереж радіального типу методом аналізу інтервальних даних. Розглянуто задачу моделювання індикаторів економічної безпеки держави із застосуванням штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями на основі методів аналізу інтервальних даних.

Вступ

У сучасному світі ширшого застосування для розв'язування задач ідентифікації, прогнозування, розпізнавання набувають штучні нейронні мережі з радіально-базисними функціями (ШНМ із РБФ). На відміну від багатoshарових штучних нейронних мереж персептронного типу, ШНМ із РБФ мають лише один прихований шар, що суттєво спрощує архітектуру мережі, а лінійні параметри вихідного шару можна оптимізувати за допомогою відомих методів лінійної оптимізації для забезпечення бажаного результату.

Серед вітчизняних та зарубіжних науковців, які займалися дослідженням особливостей штучних нейромереж радіального типу, варто відмітити праці Є. В. Бодяньського, О. Г. Руденка, Є. В. Горшкова, В. В. Колодяжного, І. П. Плісс [1]. Однак в цих працях основну увагу приділяють методам настроювання ШНМ із РБФ, що базуються на мінімізації середньоквадратичної похибки.

Під час розв'язування прикладних задач, зокрема таких, як прогнозування індикаторів економічної безпеки (ІЕБ) держави, оцінка і прогнозування шкідливих викидів в атмосферу, де використовуються експериментальні дані із певними відхиленнями, виникає проблема вибору адекватної моделі ШНМ із РБФ, яка забезпечує прогноз із заданою точністю в межах похибок обмежених за амплітудою.

У [2] розглянуто актуальну задачу моделювання індикаторів економічної безпеки держави із застосуванням штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями. Проте дані ШНМ із РБФ базуються на квадратичних критеріях і не враховують похибки експериментальних даних, тому метою статті є ідентифікація інтервальної моделі штучної нейронної мережі з РБФ для прогнозування індикаторів ІЕБ.

Постановка задачі

Поточний стан економіки держави можна комплексно охарактеризувати за допомогою індикаторів економічної безпеки держави, які є складовими виробничої, соціальної, фінансової, транспортної, енергетичної, продовольчої, зовнішньоекономічної безпеки держави. Серед чинників, які впливають на ІЕБ, найбільшу вагу мають зміни у митній системі: кількість перерахованих митних платежів до держбюджету, кількість оформлених вантажів, кількість оформлених валютно-митних декларацій, кількість оформлених транспортних засобів, кількість оформлених попередніх декларацій, кількість оформлених попередніх повідомлень, кількість заведених справ про порушення митних правил, кількість заведених справ про контрабанду [2].

Прогнозування індикаторів економічної безпеки держави з урахуванням чинників, що на них впливають, за допомогою апарату ШНМ із РБФ на основі аналізу інтервальних даних уможливить передбачати значення окремих ІЕБ в умовах реформування митної системи, а це, в свою чергу, дозволить реалізовувати певні управлінські рішення.

На рис. 1 показана структура штучної нейронної мережі радіального типу із такими позначеннями: x_1, \dots, x_n — входи нейронної мережі певного типу; c_1, \dots, c_h — центри, параметри приховано-

го шару мережі, які визначають позицію базисної функції; $dist$ — блок, у якому на основі метрики Евкліда обчислюють відстань між вектором входів \vec{x} і відповідним центром \vec{c}_i ; $\sigma_1, \dots, \sigma_h$ — стандартні відхилення (радіуси базисних функцій) — параметри прихованого шару мережі, які визначають ширину базисних функцій; $f_1(x), \dots, f_h(x)$ — радіально-базисні функції; w_1, \dots, w_h — ваги вихідного шару, які є лінійними параметрами і визначають «висоту» базисної функції та значення зміщення; y — вихідний нейромережевий сигнал.

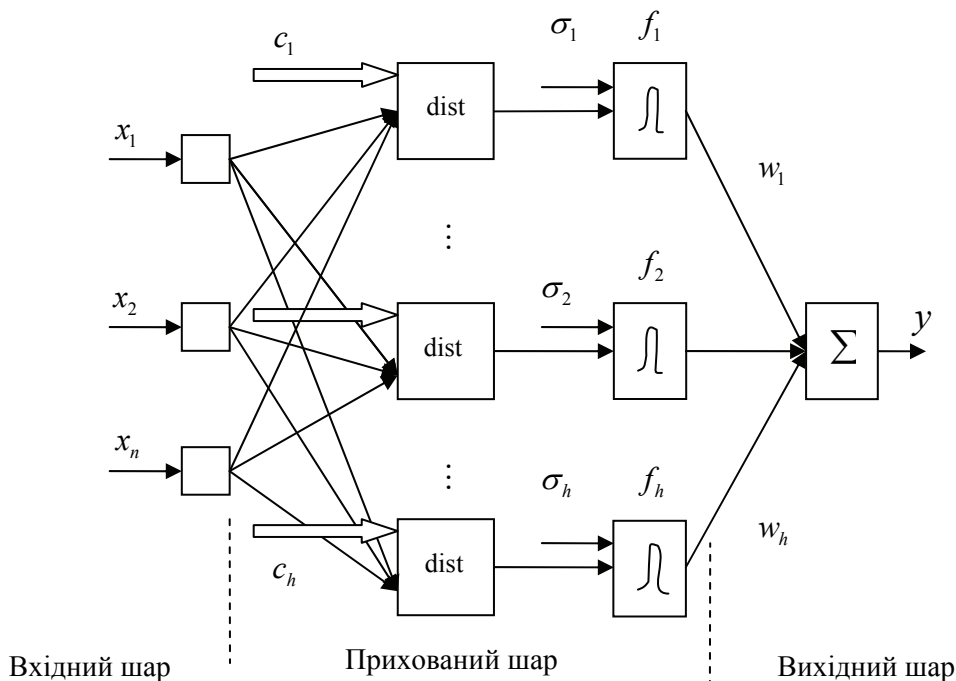


Рис. 1. Узагальнена архітектура штучної нейронної мережі з радіально-базисними функціями

В загальному ШНМ із РБФ представляють у вигляді [3]:

$$y_j = F_j(\vec{x}) = w_{j0} + \sum_{i=1}^h w_{ij} f_i(\vec{x}) = \vec{w}_j^T \vec{f}(\vec{x}), \tag{1}$$

де y_j — j -й нейромережевий вихідний сигнал; $F_j(x)$ — нелінійне перетворення вхідного вектора $\vec{x} = (x_1, x_2, \dots, x_n)^T$ в j -й вихідний; $\vec{w}_j = (w_{j0}, w_{j1}, \dots, w_{jh})^T$ становить вагові коефіцієнти синаптичних зв'язків; $\vec{f}(\vec{x}) = (1, f_1(x), f_2(x), \dots, f_h(x))^T$ означає радіально-базисну функцію; $i = 1, \dots, h$, де h — кількість нейронів прихованого рівня мережі.

Так як відстань x_i обчислюють за допомогою центру c_i та норми матриці R_i^{-1} , що є параметрами прихованого шару, $x_i = \|\vec{x} - \vec{c}_i\| R_i^{-1}$, то рівняння (1) набуде такого вигляду:

$$y_j = F_j(\vec{x}) = w_{j0} + \sum_{i=1}^h w_{ij} f_i(\|\vec{x} - \vec{c}_i\| R_i^{-1}) = \vec{w}_j^T \vec{f}(\|\vec{x} - \vec{c}_i\| R_i^{-1}). \tag{2}$$

Оскільки як радіально-базисну найчастіше використовують функцію Гаусса

$$f_i(\vec{x}) = f_i(\|\vec{x} - \vec{c}_i\| R_i^{-1}) = \exp\left(-\frac{1}{2} \|\vec{x} - \vec{c}_i\|^2 \sigma^{-2}\right), \tag{3}$$

де σ^{-2} — стандартне відхилення, приймається, що $r_{ij} = \sigma_{ij}^{-2} = \sigma^{-2} = \text{const}$ (r_{ij} — елемент норми матриці R_i^{-1}), $i, j = \overline{1, h}$ [3], то

$$y_j = F_j(\vec{x}) = \vec{w}_j^T \vec{f}(\|\vec{x} - \vec{c}_i\| R^{-1}). \tag{4}$$

**Дані про пасажирооборот як один із індикаторів економічної безпеки
Тернопільської області та чинники впливу**

Період	№ місяця	Перераховано митних платежів у держбюджет, грн.	Оформлено вантажів, тис. тонн	Кількість оформлених ВМД	Оформлено транспортних засобів	Кількість оформлених попередніх декларацій	Кількість оформлених попередніх повідомлень	Заведено справ про порушення митних правил на суму, грн.	Заведено справ про контрабанду на суму, грн.	Пасажирооборот, млн. пас. км
2003	1	5216128,14	8,86	567	451	48	227	9873441,0	23764	[90,592; 152,608]
	2	6443868,7	11,05	731	615	56	288	84588,0	—	[95,881; 161,518]
	3	7647405,08	14,46	829	687	45	307	20912364,0	9726143	[90,517; 152,482]
	4	4790370,33	16,28	744	703	21	281	139137,0	—	[92,603; 155,996]
	5	5629560,98	19,4	771	685	29	320	46197,0	—	[91,933; 154,867]
	6	5255195,33	18,39	849	719	30	318	155707,0	—	[110,78; 186,618]
	7	18744222,93	46,71	1081	1365	34	452	190166,0	—	[130,598; 220,00]
	8	6189293,18	22,95	864	1011	20	369	12443,0	—	[109,14; 183,857]
	9	5225720,85	20,56	879	828	15	299	214779,0	—	[107,28; 180,720]
	10	6429778,68	22,0	937	926	24	385	95512,0	—	[108,02; 181,975]
	11	7137739,58	23,02	861	919	21	325	48998,0	—	[112,49; 189,505]
	12	10227286,18	19,29	981	897	31	364	59592,0	—	[119,94; 202,055]
2004	13	3923498,71	8,84	560	322	23	189	11514,0	—	[104,67; 176,327]
	14	5370652,61	14,81	751	651	34	257	54677,0	—	[111,30; 187,497]
	15	8012252,82	13,19	855	694	40	310	75375,0	380000	[110,48; 186,116]
	16	6861988,54	11,49	797	638	38	316	69205,0	—	[121,50; 204,690]
	17	6984819,3	29,79	812	916	24	279	92951,0	—	[130,22; 219,374]
	18	6853413,22	12,25	808	677	30	296	150510,0	48315	[115,177; 194,02]
	19	7702523,48	14,7	811	783	42	338	6790,0	—	[154,06; 259,534]
	20	9554145,0	29,57	842	952	27	294	43772,0	—	[137,60; 231,798]
2005	21	9500431,79	15,77	827	731	36	321	10039,0	—	[113,09; 190,509]
	22	9729619,84	15,32	900	786	48	345	48993,0	—	[117,56; 198,039]
	23	9027142,01	18,14	897	809	32	299	15089,69	—	[127,395; 214,60]
	24	8170620,84	16,87	995	795	54	278	6525,0	—	[118,60; 199,796]
	25	5022599,49	11,39	627	510	40	217	353342,0	146922	[98,638; 166,162]
	26	7161648,44	13,07	807	656	72	257	5649,0	—	[107,429; 180,97]
	27	12309469,62	18,1	1134	893	80	372	186243,0	131282	[110,11; 185,489]
	28	13007569,35	16,13	1018	867	86	456	3430,0	—	[114,95; 193,646]
	29	10733286,3	16,48	882	812	100	398	2508,0	—	[113,91; 191,889]
	30	13611203,35	14,26	1011	880	126	443	1290062,0	—	[121,658; 204,94]
	31	13804786,97	13,84	937	870	151	384	100,0	—	[143,93; 242,466]
	32	11043825,43	16,5	912	922	167	331	2262267,0	2246742	[125,756; 211,84]
	33	10132015,96	27,58	1020	966	174	377	33163,0	—	[107,578; 181,22]
	34	7924811,25	22,55	1023	960	126	419	33439,0	—	[92,231; 155,369]
	35	6548181,0	20,13	1029	935	141	385	61120,0	—	[107,20; 180,594]
	36	8384833,03	17,48	1016	913	203	353	1033,0	—	[108,02; 181,975]
2006	37	5031581,82	11,67	606	651	113	226	579401,0	336440	[105,268; 177,33]
	38	7959606,05	14,87	916	813	147	328	206078,0	90584	[108,17; 182,226]
	39	8888419,67	18,51	1091	943	202	402	7063043,0	—	[105,49; 177,708]
	40	8637731,69	13,97	868	756	154	358	55263,0	—	[119,647; 201,55]
	41	8961534,13	15,23	1012	899	154	443	326620,0	—	[123,74; 208,455]
	42	9343750,32	19,27	904	833	148	358	123685,0	—	[137,15; 231,045]
	43	9876239,92	14,93	915	800	155	373	27813,0	—	[153,02; 257,777]
	44	13592727,48	23,63	972	1010	176	363	157280,0	—	[126,426; 212,97]
	45	14002415,71	19,73	979	911	160	417	284781,0	—	[120,168; 202,43]
	46	11063717,14	23,26	1048	987	126	448	48667,0	—	[120,54; 203,059]
	47	14460756,33	24,11	1049	1033	132	434	15705,0	—	[124,266; 209,33]
	48	12767157,28	21,91	1167	1083	203	500	2176,0	—	[150,937; 254,26]

Продовження табл.

Період	№ місяця	Пераховано митних платежів в держбюджет, грн.	Оформлено вантажів, тис. тонн	Кількість оформлених ВМД	Оформлено транспортних засобів	Кількість оформлених попередніх декларацій	Кількість оформлених попередніх повідомлень	Заведено справ про порушення митних правил на суму, грн.	Заведено справ про контрабанду на суму, грн.	Пасажиरोоборот, млн. пас. км
	k	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	x_7	x_8	$[y^-(k); y^+(k)]$
2007	49	7014760,0	17,46	732	686	121	281	14802,0	—	[120,39; 202,808]
	50	10081982,4	16,12	945	824	132	376	782384,0	—	[106,237; 178,96]
	51	13057968,06	21,51	1210	1106	226	481	797749,0	—	[123,968; 208,83]
	52	14066271,7	17,17	1008	908	117	437	244659,0	—	[127,84; 215,358]
	53	13314542,75	20,71	1139	1083	119	470	116791,0	231223	[130,002; 218,99]
	54	15413756,2	19,83	1104	1033	117	446	127809,0	—	[131,045; 220,75]
	55	15760830,19	20,61	1176	1102	136	488	16932,0	—	[171,797; 289,4]
	56	14473102,25	19,73	1074	995	128	481	1123801,0	—	[128,587; 216,61]
	57	15579287,24	24,39	1063	1083	134	411	66044,0	—	[115,698; 194,9]
	58	15950395,32	36,96	1209	1392	132	508	147657,0	359159	[132,31; 222,888]
2008	59	18205037,37	38,3	1261	1448	169	505	55362,0	—	[129,33; 217,868]
	60	21199726,08	32,64	1339	1329	208	470	33375,0	—	[149; 251]
	61	11770356,47	25,04	782	686	121	281	1500,0	—	[114,357; 192,64]
	62	25053375,99	36,31	1388	824	132	376	23248,0	—	[134,025; 225,77]
	63	27553201,00	43,85	1408	1106	226	481	398596,0	789146	[134,919; 227,28]
	64	28983929,32	39,81	1300	908	117	437	398596,0	—	[136,037; 229,16]
	65	29995740,73	42,72	1452	1083	119	470	6557,0	—	[126,352; 12,848]
	66	29179239,08	35,46	1411	1033	117	446	12859,0	—	[157,34; 265,056]
	67	55494159,65	37,06	1686	1102	136	488	491467,0	245675	[146,765; 247,23]
	68	42278314,48	48,38	1637	995	128	481	650,0	—	[142,44; 239,956]
	69	56531261,49	75,43	1948	1083	134	411	11909,0	—	[127,39; 214,605]
	70	41329962,64	64,87	1857	1392	132	508	38072,0	—	[138,346; 233,05]
	71	39492118,67	48,41	1456	1448	169	505	50271,0	—	[139,91; 235,689]
	72	43544162,69	27,31	1258	1329	208	470	5268,0	—	[120,39; 202,808]
2009	73	17294990,52	9,59	606	525	127	194	24670,0	1123802	157,4
	74	15166439,17	14,02	709	703	147	219	7141,0	—	143,3
	75	29417337,31	25,38	962	556	212	248	21577,0	—	152,4
	76	28610400,3	24,57	942	929	212	279	263504,0	—	156,9
	77	26798002,66	25,03	954	979	212	299	2682885,0	227926	182,1
	78	25847898,49	24,98	1018	1074	198	350	2682885,0	—	172,8
	79	34654340,36	26,56	1182	1264	236	406	1211,0	—	214,7
	80	37617759,27	46,19	1162	1372	193	332	3480,0	—	191,4
	81	38103957,91	44,65	1335	1493	191	377	1400,0	—	164,3
	82	21243943,8	35,3	1304	1289	208	404	3100,0	—	178
	83	25873235,43	43,28	1322	1478	212	369	81237,0	—	152
	84	28284474,1	35,67	1414	1346	240	410	9346,0	—	162

Як свідчать проведені експерименти, структура ШНМ із РБФ, що містить 5 нейронів прихованого рівня (8:5:1) є оптимальною для моделювання індикаторів економічної безпеки (рис. 2), оскільки не потребує значних обчислювальних витрат та має високі прогностичні властивості.

Поділимо експериментальні дані на навчальну вибірку (2003—2008 рр.), $k = 1, 2, \dots, 72$ та контрольну вибірку (2009 р.), $k = 73, \dots, 84$. Як показують дослідження, експериментальні дані про пасажирооборот за період із 2003 р. по 2008 р. є неточними, з похибкою 25 %, тобто $\zeta = 25$ %.

Інтервальні значення пасажирообороту $y^-(k) = y(k) - \zeta(k)$, $y^+(k) = y(k) + \zeta(k)$ наведено в таблиці. Умови для ідентифікації вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків штучної нейромережі радіального типу 8:5:1, записуємо в такому вигляді:

$$\left\{ \begin{array}{l} y^-(k) \leq w_0 + w_1 f_1(\|\bar{x}(k) - \bar{c}_1\| R^{-1}) + \dots + w_5 f_5(\|\bar{x}(k) - \bar{c}_5\| R^{-1}) \leq y^+(k); \\ \dots \\ y^-(k) \leq w_0 + w_1 f_1(\|\bar{x}(k) - \bar{c}_1\| R^{-1}) + \dots + w_5 f_5(\|\bar{x}(k) - \bar{c}_5\| R^{-1}) \leq y^+(k); \\ \dots \\ y^-(k) \leq w_0 + w_1 f_1(\|\bar{x}(k) - \bar{c}_1\| R^{-1}) + \dots + w_5 f_5(\|\bar{x}(k) - \bar{c}_5\| R^{-1}) \leq y^+(k). \end{array} \right. \quad (9)$$

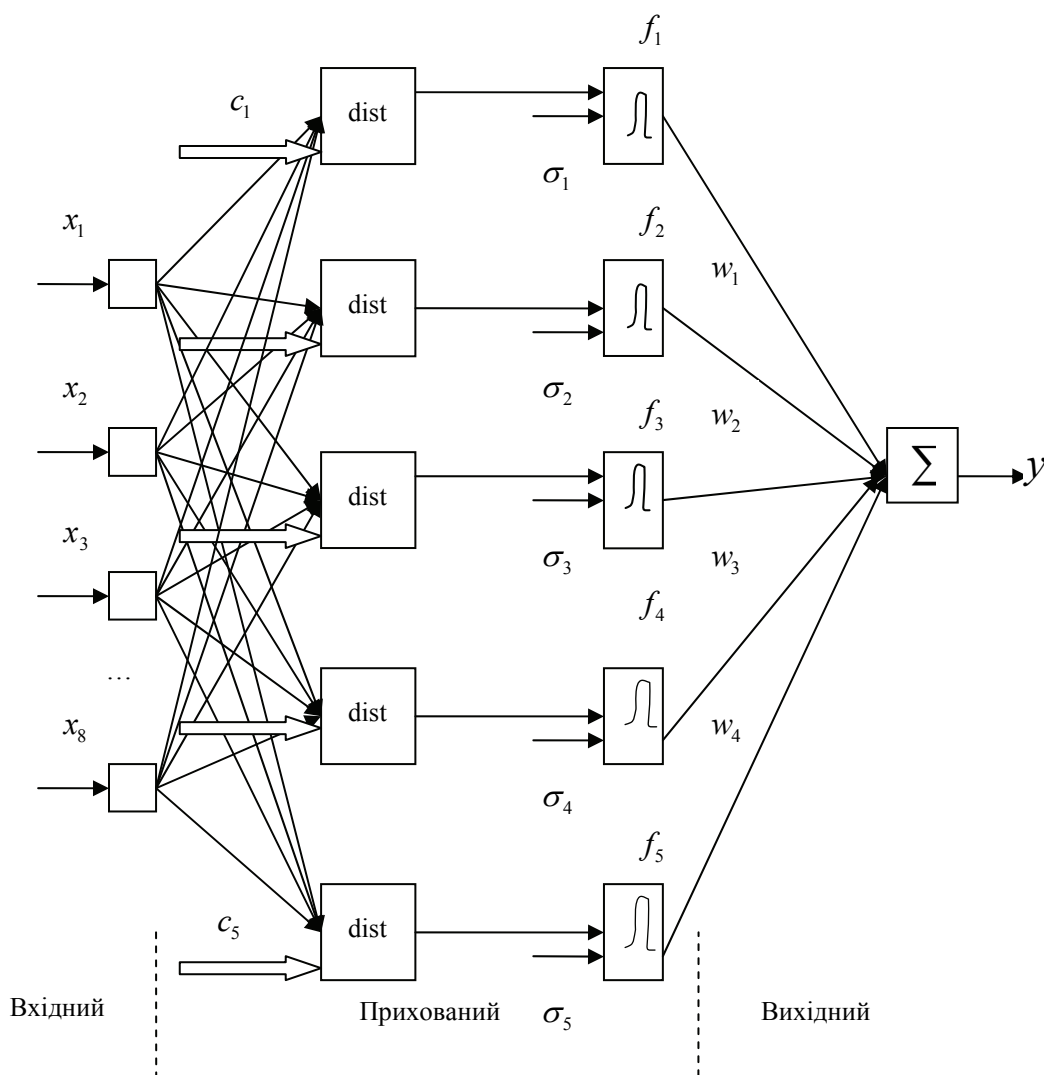


Рис. 2. Оптимальна структура штучної нейронної мережі з радіально-базисними функціями для моделювання ІЕБ

Розв'язуємо задачі лінійного програмування $w_h \rightarrow \min, h=1...5$ та $w_h \rightarrow \max, h=1...5$, враховуючи умови (9). Програмний модуль алгоритму розв'язання задач лінійного програмування реалізований в середовищі Matlab 7.1. В результаті отримуємо вершини області значень вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків ШНМ із РБФ:

$$\begin{aligned} \bar{w}_1 &= (19,5902; 419,5664; 79,406; -426,3617; -44,4862); \\ \bar{w}_2 &= (33,6016; 169,8322; 35,6185; -202,4687; -83,8161); \\ \bar{w}_3 &= (33,6016; 169,8322; 35,6185; -202,4687; -83,8161); \\ \bar{w}_4 &= (78,5652; 705,9691; 152,3717; -642,1977; -10,3067); \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \bar{w}_5 &= (33,6016; 169,8322; 35,6185; -202,4687; -83,8161); \\ \bar{w}_6 &= (78,5652; 705,9691; 152,3717; -642,1977; -10,3067); \\ \bar{w}_7 &= (78,5652; 705,9691; 152,3717; -642,1977; -10,3067); \\ \bar{w}_8 &= (78,5652; 705,9691; 152,3717; -642,1977; -10,3067); \\ \bar{w}_9 &= (33,6016; 169,8322; 35,6185; -202,4687; -83,8161); \\ \bar{w}_{10} &= (78,5652; 705,9691; 152,3717; -642,1977; -10,3067) \end{aligned}$$

і гарантовані прогнозні коридори для індексу економічної безпеки — пасажирооборот

$$\begin{aligned} [\hat{y}^-(k); \hat{y}^+(k)] &= \left[\min_{\bar{w}_s \in \Omega} \left(\bar{w}_1 \cdot f_1(\|\bar{x}(k) - \bar{c}_1\| R^{-1}) + \dots + \bar{w}_5 \cdot f_5(\|\bar{x}(k) - \bar{c}_5\| R^{-1}) \right); \right. \\ &\quad \left. \max_{\bar{w}_s \in \Omega} \left(\bar{w}_1 \cdot f_1(\|\bar{x}(k) - \bar{c}_1\| R^{-1}) + \dots + \bar{w}_5 \cdot f_5(\|\bar{x}(k) - \bar{c}_5\| R^{-1}) \right) \right]. \end{aligned}$$

На рис. 3 показано графік прогнозу пасажирообороту в межах похибок експериментальних даних на основі інтервальної моделі штучної нейронної мережі з радіально-базисними функціями.

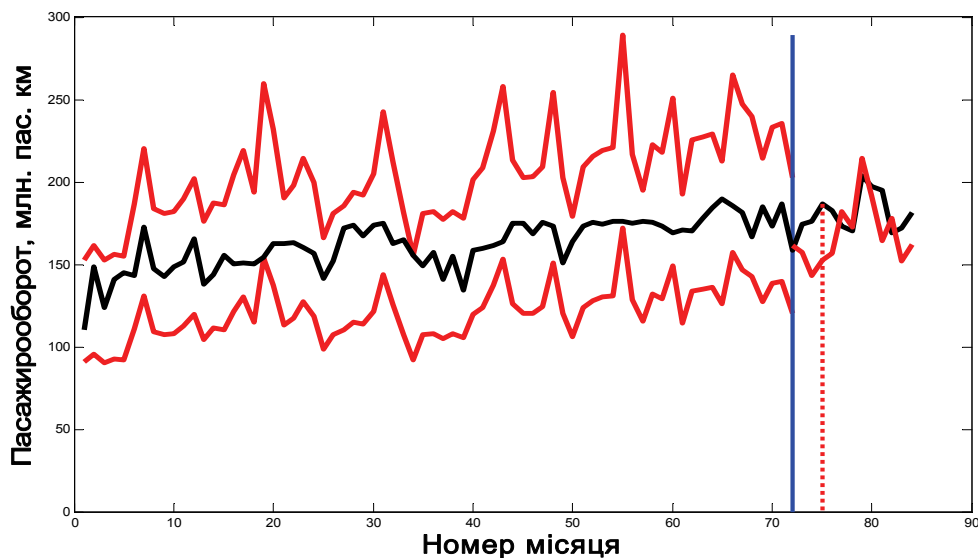


Рис. 3. Прогноз ІЕБ Тернопільської області — пасажирообороту, на основі інтервальної моделі ШНМ із РБФ

Вагові коефіцієнти синаптичних зв'язків інтервальної ШНМ із РБФ отримані за формулою середнього, тобто

$$\begin{aligned} \bar{w}_1 &= 1/10 \cdot (33,6016 + 33,6016 + 33,6016 + 78,5652 + 33,6016 + 78,5652 + \\ &\quad + 78,5652 + 78,5652 + 33,6016 + 78,5652) = 56,0834; \\ \bar{w}_2 &= 1/10 \cdot (419,5664 + 169,8322 + 169,8322 + 705,9691 + 169,8322 + \\ &\quad + 705,9691 + 705,9691 + 705,9691 + 169,8322 + 705,9691) = 462,8740; \\ \bar{w}_3 &= 1/10 \cdot (79,7406 + 35,6185 + 35,6185 + 152,3717 + 35,6185 + 152,3717 + \\ &\quad + 152,3717 + 152,3717 + 35,6185 + 152,3717) = 98,4073; \\ \bar{w}_4 &= 1/10 \cdot (-426,3617 - 202,4687 - 202,4687 - 642,1977 - 202,4687 - 642,1977 - \\ &\quad - 642,1977 - 642,1977 - 202,4687 - 642,1977) = -444,7225; \\ \bar{w}_5 &= 1/10 \cdot (-44,4862 - 83,8161 - 83,8161 - 10,3067 - 83,8161 - 10,3067 - 10,3067 - \\ &\quad - 10,3067 - 83,8161 - 10,3067) = -43,1284. \end{aligned}$$

Як видно із рис. 3 з 1 по 72 місяць дотримується умова включення модельованого показника ІЕБ у коридор експериментальних даних, ширина якого визначається шириною інтервалу. З цього випливає, що ідентифікована інтервальна модель штучної нейромережі радіального типу є придатною для моделювання індексів економічної безпеки регіону. З 73 по 84 місяць наведено результат використання розробленої ШНМ із РБФ для прогнозування модельованого ІЕБ — пасажирообороту, а сірим кольором — крива реального значення цього показника.

У прогностичний період відносна максимальна похибка відхилення прогностичного значення від експериментального на 75 місяць, як зазначено на рисунку пунктирною лінією, не більша 16 %. Отриманий результат свідчить про достатньо високі прогностичні властивості ідентифікованої штучної радіальної нейромережі на основі аналізу інтервальних даних. Моделювання індикаторів економічної безпеки регіону засобами ШНМ із РБФ на основі аналізу інтервальних даних уможливує дослідити тенденцію зміни ІЕБ на майбутні періоди за умов певного реформування митної системи, що свідчить про перспективність застосування розглянутого у роботі методу ідентифікації вагових коефіцієнтів для розв'язування задач такого класу.

Висновки

У роботі розглянуто задачу моделювання індикаторів економічної безпеки держави засобами штучної нейронної мережі радіального типу на основі аналізу інтервальних даних й при цьому отримано такі наукові та практичні результати:

1. Проаналізовано основні індикатори економічної безпеки держави та фактори, що впливають на них, та встановлено, що найбільший вплив на ІЕБ мають зміни у митній системі держави.
2. Обґрунтовано доцільність застосування методу ідентифікації вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків штучних нейронних мереж радіального типу на основі аналізу інтервальних даних, щоб визначити ШНМ із РБФ для моделювання ІЕБ.
3. Із застосуванням методу ідентифікації штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями на основі аналізу інтервальних даних вперше отримано інтервальну модель ШНМ із РБФ для прогнозування індикаторів економічної безпеки держави.

СПИСОК ВИКОРИСТАНОЇ ЛІТЕРАТУРИ

1. Bodyanskiy Y. Rough Sets-Based Recursive Learning Algorithm for Radial Basis Function Networks / Y. Bodyanskiy, Y. Gorshkov, V. Kolodyazhniy, I. Pliss // Berlin: Springer-Verlag, 2005. — P. 59—65.
2. Мартинюк В. П. Моделювання індикаторів економічної безпеки держави засобами штучної нейронної мережі з радіально-базисними функціями / Володимир Мартинюк, Микола Дивак, Надія Савка // Світ фінансів : наук. жур. — Тернопіль. — 2011. — Вип. 1. — С. 56—66.
3. Руденко О. Г. Штучні нейронні мережі : навч. пос. / О. Г. Руденко, С. В. Бодяньський. — Харків : ТОВ «Компанія СМІТ», 2006. — 404 с.
4. Дивак М. П. Метод ідентифікації вагових коефіцієнтів синаптичних зв'язків штучних нейронних мереж із радіально-базисними функціями на основі аналізу інтервальних даних / М. П. Дивак, Н. Я. Савка // Наукові праці Донецького національного технічного університету. Серія «Інформатика, кібернетика та обчислювальна техніка». — 2012 — Вип. 15 (203). — С. 132—139.

Рекомендована кафедрою автоматики та інформаційно-вимірювальної техніки

Стаття надійшла до редакції 28.11.12
Рекомендована до друку 21.01.13

Савка Надія Ярославівна — здобувач кафедри комп'ютерних наук.
Тернопільський національний економічний університет, Тернопіль