

## Висновки

Наведені результати розрахунків свідчать про можливість побудови польових математичних моделей електротехнічних пристроїв складної конструкції. Інформативність таких моделей під час дослідження електромагнетних процесів є максимально вичерпною.

Тривалість перехідних процесів електромагнетного поля в пристроях значно більша від перехідних процесів інтегральних величин (струми, напруги, магнетні потоки та потікозчеплення). Це пояснюється наявністю поверхневих явищ у суцільних електропровідних середовищах. Дослідження таких процесів у полі вимагає проведення великої кількості розрахунків.

Пряме інтегрування системи диференціальних рівнянь для отримання усталених розподілів поля є недоцільне. Викладений метод знаходження усталеного електромагнетного поля пристроїв складної конструкції в режимах, що зводяться до знаходження розподілу поля постійного струму усуває необхідність проведення тривалого симулювання перехідного процесу, що має велике практичне значення.

Матеріал статті може бути корисним для моделювання усталених електромагнетних процесів електротехнічних пристроїв.

1. Чабан В.Й., Ковівчак Я.В. Полевая математическая модель турбогенератора в режиме холостого хода. – *Электричество*, 2003. – № 6. – С. 32–36. 2. Ковівчак Я.В., Чабан В.Й. 2-D польова модель турбогенератора // *Електроенергетичні та електромеханічні системи*. – 2003. – № 485. – С. 60–66. 3. Ковівчак Я.В. Калібрування потенціалів електромагнетного поля в математичних моделях пристроїв автоматики // *Вісник Національного університету “Львівська політехніка”*. – 2003. – № 496. – С. 178–183. 4. Шимони К. *Теоретическая электротехника*. – М.: Мир, 1964. – 774 с.

УДК 681.84.087.4

А. Ковальчук

Національний університет “Львівська політехніка”,  
кафедра автоматизованих систем управління

## МОДЕЛЮВАННЯ ПРОГНОЗУ ПРИРОДНИЧИХ І СОЦІАЛЬНИХ ПРОЦЕСІВ

© Ковальчук А., 2005

Подано опис і результат застосування нечіткої моделі прогнозування природничих і соціальних процесів.

The description and result of application of an fuzzy model of forecasting natural and social processes is sent.

### Вступ

Проблема прогнозування (чи передбачення) є типовою для будь-яких наукових досліджень. Передовсім висувують гіпотези – це процес, в принципі, неформальний, оскільки ґрунтується на досвіді і кваліфікації. Потім за допомогою математичних методів будують модель прогнозу. В [1] було запропоновано метод моделювання систем з використанням нечіткої логіки.

### 1. Математична модель нечіткого алгоритму розв’язання задачі

Якщо нечіткі відношення вхід – вихід задано, то модель системи описують матрицею відношення  $R$ , яку називають представленням системи. Тоді системне рівняння визначають виразом  $B_1 = A_1 * R$ , де  $A_1$  – нечітка вхідна,  $B_1$  – нечітка вихідна множини, а через  $*$  позначено деякий оператор.

Пари вхід–вихід задають нечіткими висловленнями типу «якщо  $A$ , то  $B$ », де  $A$  і  $B$  – нечіткі підмножини вхідного універсуму  $U$  і вихідного універсуму  $V$  відповідно. Сукупність таких висловлень можна розглядати як вербальне задання нечіткої системи. Маючи справу з нечітким умовним висловленням «якщо  $A$ , то  $B$ », яке в нечіткій логіці записують у вигляді  $A \rightarrow B$ , вважатимемо множину  $A$  нечітким входом, множину  $B$  – нечітким виходом.

Модель системи має такий вигляд:

$$\mu_Y = \inf_{u' \in \{u: \mu_X(u) > \mu_R(u, v)\}} \mu_R(u', v) \quad (1)$$

де  $\inf \{\mu_R(u', v)\} = 1$ , якщо множина  $\{u: \mu_X(u) > \mu_R(u, v)\} = \emptyset$ .

Замість (1) розглянемо

$$\mu_Y = \sup_{u' \in \{u: \mu_X(u) > \mu_R(u, v)\}} \mu_R(u', v), \quad (2)$$

де  $\sup \{\mu_R(u', v)\} = 1$ , якщо множина  $\{u: \mu_X(u) > \mu_R(u, v)\} = \emptyset$ .

Припустимо, що на основі пар вхід–вихід вже побудоване відношення  $R^*_0$  і тепер надається додаткова інформація  $A_1 \rightarrow B_1$ . Оскільки в цій моделі відношення вхід–вихід пов'язані за допомогою “або”, тобто  $A_1 \rightarrow B_1$  або  $A_2 \rightarrow B_2$  або ... або  $A_n \rightarrow B_n$ , то представлення системи  $R^*_0$  визначимо так:

$$R^* = (A_1 \times B_1) \cup R^*_0. \quad (3)$$

Вважаючи, що  $R^*_0$  не несе інформації щодо  $A_1$ , систему  $R^*_0$  на виході, що відповідає  $A_1$ , можна розглядати як “елемент, невідомий в  $V$ ”, тобто

$$A_1 R^*_0 = \emptyset. \quad (4)$$

Необхідно зазначити, що в цій моделі  $C = \emptyset$ .

Розглянемо дві пари вхід–вихід  $A_1 \rightarrow B_1$  і  $A_2 \rightarrow B_2$ . Запишемо умову несуперечності

$$A_1 \delta (A_2 \times B_2) = \emptyset, \quad A_2 \delta (A_1 \times B_1) = \emptyset, \quad (5)$$

де  $\delta$  означає дію системи  $R^*_0$  на відповідну нечітку множину.

Очевидно, що

$$B = (A_1 \cap A_2) \delta R^* \supseteq B_1 \cup B_2. \quad (6)$$

Отже, отримаємо

$$A_1 \rightarrow B_1, \quad A_2 \rightarrow B_2, \quad A_1 \cap A_2 \rightarrow B \supset B_1 \cup B_2. \quad (7)$$

Якщо існують умови несуперечності на  $n$  парах  $(A_i \rightarrow B_i)$ , то отримаємо:

$$A_i \delta R^*_0 = B_i (A_i \cap A_j) \delta R^*_0 \supseteq B_i \cup B_j \quad (8)$$

що задовольняє логічну структуру моделі.

Отже, як зазначалося раніше, логічна структура цієї моделі така, що чим більший нечіткий вхідний вплив, тим менша реакція на виході системи. Це пояснюється так: чим більше імпульсів надходить на вхід системи, тим менше розсіяння значень на виході з цієї системи.

Розглянемо алгоритм розв'язання задачі на прикладі, наведеному нижче.

Як вхідні та вихідні параметри виберемо такі змінні:

#### Вхідні параметри:

$a_1$  – чисельність приміського населення, тис. осіб;

$a_2$  – чисельність молодих людей (до 30 років), тис. осіб;

$a_3$  – чисельність населення непрацевдатного віку, тис. осіб;

$a_4$  – чисельність міського населення непрацевдатного віку, тис. осіб;

$a_5$  – чисельність сільського населення непрацевдатного віку, тис. осіб;

**Вихідні параметри:**

$b_1$  – фактично вивільнено з підприємств, організацій області, тис. осіб;

$b_2$  – частка фактично вивільнених осіб в обсягах очікуваного вивільнення, тис. осіб;

$b_3$  – число осіб, що перебували на обліку в центрах зайнятості протягом року, тис. осіб;

$b_4$  – число осіб, звільнених за порушення трудової і виробничої дисципліни, тис. осіб.

**Задані два відношення вхід – вихід:**

$$A_1 = 0,5/a_1 + 1/a_2 + 0,8/a_3 + 0,3/a_4 + 0,5/a_5 \rightarrow B_1 = 0,5/b_1 + 0,03/b_2 + 0,6/b_3 + 0,01/b_4$$

$$A_2 = 0,4/a_1 + 0,6/a_2 + 0,5/a_3 + 0,2/a_4 + 0,3/a_5 \rightarrow B_2 = 0,3/b_1 + 0,01/b_2 + 1/b_3 + 0,03/b_4$$

Потім будують декартові добутки, визначені так:

$$A_1 \times B_1 = \sum_{u,v} (\mu_{A_1}(u) \wedge \mu_{B_1}(v)) / (u, v)$$

$$A_2 \times B_2 = \sum_{u,v} (\mu_{A_2}(u) \wedge \mu_{B_2}(v)) / (u, v)$$

Тобто

$$A_1 \times B_1 = \begin{bmatrix} (0,5;0,5) & (0,5;0,03) & (0,5;0,6) & (0,5;0,01) \\ (1,0;0,5) & (1,0;0,03) & (1,0;0,6) & (1,0;0,01) \\ (0,8;0,5) & (0,8;0,03) & (0,8;0,6) & (0,8;0,01) \\ (0,3;0,5) & (0,3;0,03) & (0,3;0,6) & (0,3;0,01) \\ (0,5;0,5) & (0,5;0,03) & (0,5;0,6) & (0,5;0,01) \end{bmatrix}$$

$$A_2 \times B_2 = \begin{bmatrix} (0,4;0,3) & (0,4;0,01) & (0,4;1) & (0,4;0,03) \\ (0,6;0,3) & (0,6;0,01) & (0,6;1) & (0,6;0,03) \\ (0,5;0,3) & (0,5;0,01) & (0,5;1) & (0,5;0,03) \\ (0,2;0,3) & (0,2;0,01) & (0,2;1) & (0,2;0,03) \\ (0,3;0,3) & (0,3;0,01) & (0,3;1) & (0,3;0,03) \end{bmatrix}$$

Потім будують оператор  $\delta$ , який має такий вигляд:

$$\delta = (A_1 \times B_1) \cup (A_2 \times B_2)$$

Для того, щоб побудувати оператор, необхідно з кожної пари декартового добутку  $A_1 \times B_1$  та  $A_2 \times B_2$  вибрати мінімальне значення, потім з цих двох мінімальних значень вибирати максимальне і записати в матрицю  $R$ .

Отже:

$$R = \begin{bmatrix} 0,5 & 0,03 & 0,5 & 0,03 \\ 0,5 & 0,03 & 0,6 & 0,03 \\ 0,5 & 0,03 & 0,6 & 0,03 \\ 0,3 & 0,03 & 0,3 & 0,03 \\ 0,5 & 0,03 & 0,5 & 0,03 \end{bmatrix}$$

Подаючи на вхід системи  $R^*$  дію, описану нечіткою множиною

$$\underline{A}^* = 0,3/a_1 + 0,5/a_2 + 0,4/a_3 + 0,2/a_4 + 0,3/a_5$$

Отримуємо

$$B^* = A^* \delta = [0,3; 0,5; 0,4; 0,2; 0,3] \delta \begin{bmatrix} 0,5 & 0,03 & 0,5 & 0,03 \\ 0,5 & 0,03 & 0,6 & 0,03 \\ 0,5 & 0,03 & 0,6 & 0,03 \\ 0,3 & 0,03 & 0,3 & 0,03 \\ 0,5 & 0,03 & 0,5 & 0,03 \end{bmatrix} = [1; 0,03; 1; 0,03]$$

Для нечіткої вхідної множини, яка дуже відрізняється від заданих нечітких вхідних множин  $A_i$ , вихідна множина системи  $R^*$  повинна бути близькою до нуля, що означає, що до нечіткої множини  $B^*$  можна застосувати термін “невідомо”.

## 2. Постановка задачі і алгоритм розв’язання

Нехай задано нечіткі множини  $S_i \subset U, i = 1, 2, 3$ , які описують деякий реальний процес. Якщо прийняти, що  $A_1 = S_1, B_1 = S_2, A_2 = S_2, A_2 = S_3, A^* = S_3$ , то використовуючи співвідношення (2) і (3), отримуємо нечітку множину  $S_4$ , яку можна інтерпретувати як результат існування нечітких множин  $S_i \subset U$ .

Для прикладу розглянемо стік вуглецю у фітомасу лісів [3,с.279]; числові дані за роками наведено у табл. 1 – значення (тис. т) стоку вуглецю, починаючи з 1997р. У стовпці “2000” таблиці подано реальні дані вимірів за 2000р., “2000\*” – дані, отримані після прогнозу. На рис. 1 зображено графіки реальних і прогнозованих значень. Як можна побачити з цієї таблиці, відхилення між реальними і прогнозованими значеннями – невеликі.

Таблиця 1

Стік вуглецю у фітомасу лісів, тис. т

1997	1998	1999	2000	2000*
1377.27	1384.94	1394.18	1402.71	1397.19
1403.90	1421.71	1438.79	1454.81	1451.91
1928.63	1935.18	1946.74	1950.55	1946.74
747.54	752.73	758.91	764.31	761.58
378.24	391.68	404.76	417.74	416.99
346.19	347.93	349.64	350.93	350.58
971.02	976.93	985.08	991.63	987.71
1152.12	1168.47	1181.86	1195.02	1194.37
1062.59	1077.47	1090.79	1104.87	1102.13
47.61	48.04	48.12	48.45	48.60
255.67	271.39	285.90	300.94	300.84
516.91	542.19	566.54	591.55	590.20
568.17	581.00	596.65	611.00	608.83
1693.73	1716.03	1738.11	1759.85	1754.76
1517.49	1522.36	1527.52	1532.93	1535.39
653.66	667.34	680.24	690.83	691.77
889.90	902.17	914.60	926.55	923.90
319.13	339.18	358.90	378.57	377.98
582.70	589.68	596.52	602.90	601.55
301.37	324.67	347.89	370.96	370.30
373.93	386.99	399.35	411.80	411.21
567.02	570.37	573.78	577.43	575.21
697.67	704.24	711.29	718.78	715.52
883.45	898.14	912.19	926.41	923.95
455.55	472.84	489.76	507.25	505.60

Розглянемо ще один приклад застосування описаної моделі прогнозу. У табл. 2 наведено дані за районами Львівської області забезпеченості населення торговельною площею крамниць,  $m^2$  на 10 тис. осіб, починаючи з 1999р. [4]. В колонці “2002\*” показано прогноз на 2002 рік. На рис. 2 – відповідні графіки. Вертикальні лінії на цьому графіку вказують на точки найбільшого відхилення реальних і прогнозованих даних в нормованому масштабі.

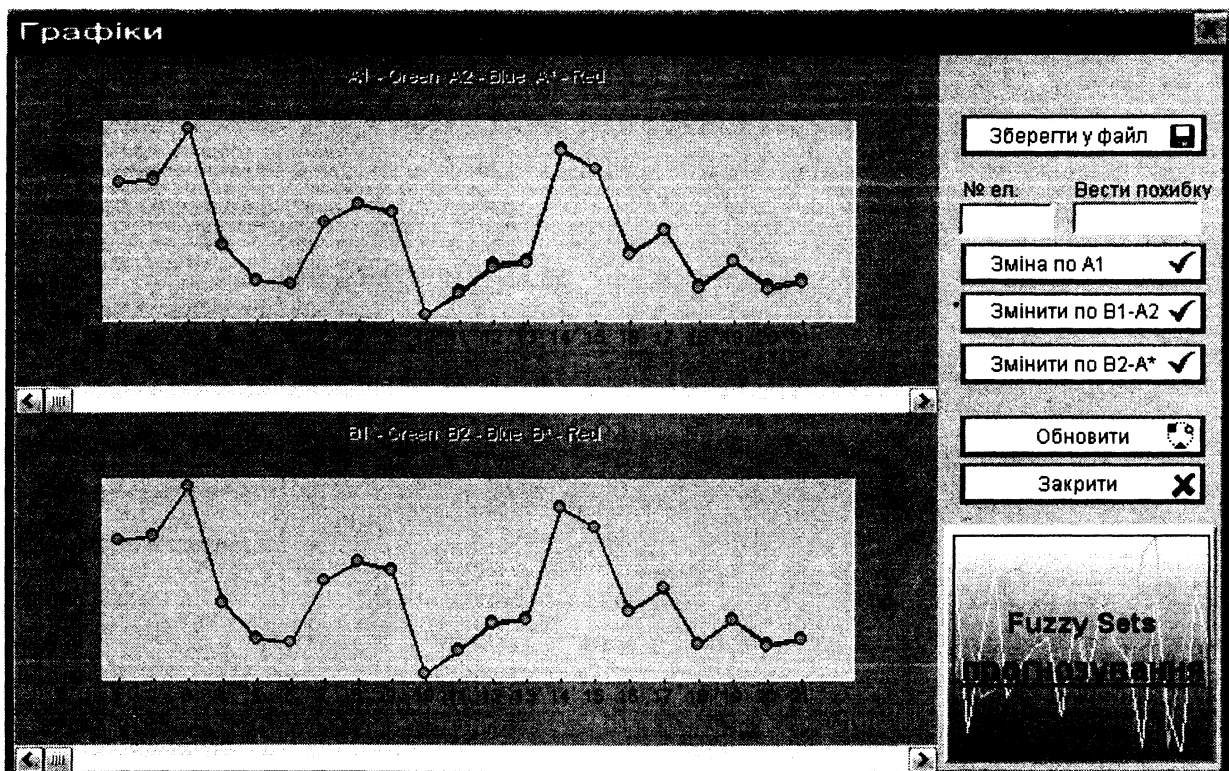


Рис. 1. Графіки реальних і прогнозованих значень стоку вуглецю

Таблиця 2

**Забезпеченість населення Львівської області торговельною площею крамниць,  
м<sup>2</sup> / 10 тис. осіб**

Райони Львів. області	1999	2000	2001	2002	2002*
Бродівський	1308	1305	1373	1345	1446.77
Буський	1652	1119	988	1073	1553.49
Городоцький	1449	1119	991	991	1237.11
Дрогобицький	1161	860	844	774	1091.77
Жидачівський	1677	1518	1316	1251	1706.58
Жовківський	938	865	881	934	901.89
Золочівський	1658	1498	1447	1309	1559.13
К.-Бузький	1023	1127	1085	1123	1282.04
Миколаївський	1228	1202	1055	960	1338.38
Мостиський	1609	1584	1577	1468	1640.95
Перемишлянський	1050	960	947	981	987.39
Пустомитівський	924	765	693	539	868.90
Радехівський	1495	1416	1273	1190	1546.48
Самбірський	1159	1157	979	1151	1324.77
Сколівський	1373	1224	1325	1325	1431.41
Сокальський	1590	1490	1309	1309	1657.83
Старосамбірський	1344	1303	1193	1193	1401.48
Стрийський	1336	1306	1233	1233	1367.46
Турківський	1368	947	1014	1014	1357.61
Яворівський	1460	1187	1165	1165	1372.94

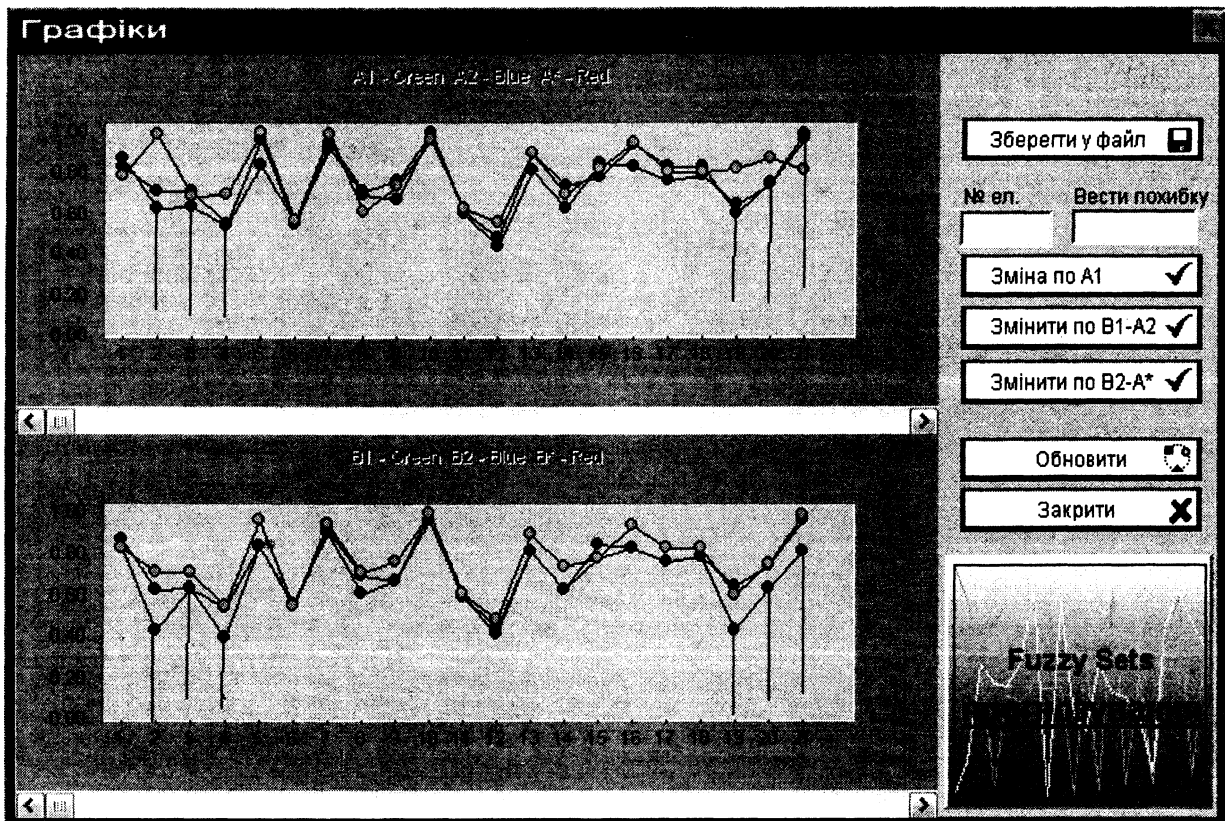


Рис. 2. Графіки реальних і прогнозованих даних забезпеченості населення торговельною площею

### Висновок

У двох розглянутих прикладах показано функціонування описаної моделі в прогнозуванні двох типів процесів – природних і соціальних. Аналізуючи отримані результати, можна зробити висновок, що запропонована модель надається до прогнозування з високою точністю процесів, в яких кожний наступний стан залежить лише від того, в яких попередніх станах цей процес перебував. Для соціологічних процесів кожний стан процесу залежить не тільки від попередніх, а також від інших випадкових факторів, що може ускладнювати їх прогнозування.

1. Ковальчук А. Про один алгоритм побудови нечітких моделей відтворення мовних сигналів // Вісник Національного університету "Львівська політехніка". – №496. – С.84–89.
2. Нечеткие множества и теория возможностей. Пер. с англ. / Под. ред. Р. Р. Ягера Последние достижения. – М.: Радио и связь, 1986. – 407 с.
3. Інформаційні технології інвентаризації парникових газів та прогнозування вуглецевого балансу України / Під редакцією Р.А. Буна. – Державний науково-дослідний інститут інформаційної інфраструктури.
4. Статистичний щорічник 2002-02, "Райони та міста Львівської області". – Львів, 2003.