УДК 504.06:681.513

ДОВГОСТРОКОВЕ ПРОГНОЗУВАННЯ СТОКУ РІКИ ДНІСТЕР

М.І.Горбійчук, О.В.Пендерецький, М.А.Шуфнарович

ІФНТУНГ, 76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (0342) 504521
e-mail: gorb@nung.edu.ua

Розроблено метод помісячного прогнозування стоку р. Дністер на 2008 рік за середньомісячними спостереженнями впродовж 13 попередніх років, що базується на індуктивному методі самоорганізації складних моделей. Результати такого помісячного прогнозування паводків р. Дністер мають важливе значення з метою безпечної експлуатації газопроводів, які прокладені через р. Дністер або вздовж її берегів.

Разработан метод помесячного прогнозирования стока р. Днестр на 2008 год по среднемесячным наблюдениям на протяжении 13 предыдущих лет, базирующегося на индуктивном методе самоорганизации сложных моделей. Результаты такого помесячного прогнозирования паводков р. Днестр имеют важное значение для безопасной эксплуатации газопроводов, которые проложены через р. Днестр или вдоль ее берегов.

The method of monthly prognostication of a flow on the river Dnyster for 2008 after the average monthly observations during 13 previous years is developed. The objective of this method is the inductive method of difficult models self-organization. The results of such monthly prognostication of floods have Dnyster important value for safe exploitation of gas pipelines which are laid through Dnyster, or along its banks.

Газотранспортна мережа України включає близько 35 тис. км газопроводів, 71 компресорну станцію загальною потужністю 5,4 млн. кВт. Важливою складовою газотранспортної мережі нашої держави є управління магістральних газопроводів “Прикарпаттрансгаз”, до складу якої входять 18 компресорних станцій загальною продуктивністю 380×106 нм^3/добу.

Через річку Дністер також прокладено газопроводи: “Союз” (с. Коропець, Тернопільська область), “Прогрес” та “Уренгой-Помари-Ужгород” (с. Михальче, Івано-Франківська область). Тому з метою забезпечення надійної та безаварійної роботи газопроводів, що перетинають р. Дністер, важливе значення має прогнозування її паводків. Часто паводки призводять до розмивання берегів, що може викликати пошкодження газопроводу “Торжок-Долина” (Івано-Франківська область), який прокладено поблизу русла р. Дністер.

Загалом Дністер, як і інші ріки Карпат, характеризується паводковим режимом. Висота паводків (поблизку Галича) коливається в межах 0,5-5 м. Згідно з результатами багаторічних спостережень за режимом Дністра на гідропості м. Галича, найхарактернішою рисою водного режиму Дністра є дуже часті паводки впродовж усього року як дощового, так і снігового походження. При цьому паводки високого рівня можуть траплятися в усі пори року.

Із відомих методів прогнозування [1, 2] найбільшої уваги заслуговує індуктивний метод самоорганізації складних моделей [3], в основі якого лежить теорія множинності моделей. У відповідності з цією теорією за експериментальними даними принципово неможливо знайти єдину модель.

Нехай N – число спостережень за виходом деякого об’єкта, який залежить від n вхідних величин. Модель такого об'єкта будемо представляти рівнянням регресії такої структури:

$$y = \sum_{i=0}^{N_p-1} a_i \prod_{j=1}^{n} x_j^{r_{ij}}\ , \qquad (1)$$

де: a_i – параметри моделі (1);

r_{ij} – степені аргументів (вхідних величин).

Позначимо через σ найбільший степінь полінома (1). Тоді величини r_{ji} будуть набувати значень 0, 1, 2, …, r за умови, що існує обмеження

$$\sum_{j=1}^{n} r_{ij} \le r\ . \qquad (2)$$

Якщо виконується обмеження (2), то кількість членів полінома (1) визначається співвідношенням [4]

$$N_p = \frac{1}{n!}\prod_{k=1}^{n}(r+k).$$

Оскільки

$$\prod_{k=1}^{n}(r+k) = \frac{1\cdot 2\cdot \ldots \cdot r\cdot (r+1)\cdot (r+2)\cdot \ldots \cdot (r+n)}{r!} = \frac{(r+n)!}{r!}\ ,$$

то

$$N_p = \frac{(r+n)!}{n!\,r!}\ . \qquad (3)$$

Звідси випливає, що для об’єкта, який розглядається як "чорний ящик", можна створити не одну, а щонайменше $N-1$ моделей, які будуть мати майже однаковий зовнішній прояв. Вирішення питання про однозначний вибір рівняння регресії (1) дає принцип зовнішнього доповнення [3]. Поняття зовнішнього доповнення ґрунтується на теоремі неповноти Геделя, яка стверджує, що жодна система аксіом не може

Таблиця 1 — Середньомісячні стоки р. Дністер (м^3/с)

рік / місяць	I	II	III	IV	V	VI	VII	VIII	IX	X	XI	XII
1995	107	155	199	315	206	181	96,3	35,4	78,4	51,6	116	69,0
1996	81.0	51,2	53,2	607	265	95,3	82,8	164	364	205	127	119
1997	69.6	230	156	271	336	256	222	226	128	181	135	182
1998	187	213	156	417	315	544	507	206	139	248	357	106
1999	171	113	542	485	204	161	157	126	105	106	73,7	191
2000	70.0	315	301	538	91,9	52,5	94,1	69,9	69,2	39,2	37,3	56,0
2001	66.8	134	368	182	98,7	430	408	261	254	105	189	92,6
2002	218	300	245	200	127	170	90,8	155	127	217	150	64,4
2003	58.4	51,9	236	263	120	63,7	71,4	36,6	44,5	95,3	116	48,3
2004	147	180	257	133	108	68,6	84,2	415	115	135	216	154
2005	96.8	75,8	316	434	381	226	85,2	210	84,3	92,6	53,1	75,8
2006	82.9	120	251	599	187	375	159	179	108	48,9	128	52,6
2007	138	232	248	84,0	102	79,1	56,0	51,9	372	131	151	146

бути логічно замкнутою: завжди можна знайти таку теорему, для якої виникне потреба у зовнішньому доповненні – розширенні початкової системи аксіом. У відповідності з ідеями Геделя синтез моделей типу (1) повинен бути заснований на зовнішніх критеріях, що передбачає поділ експериментальних даних на дві частини – навчальну A і перевірочну B. Для процесів прогнозування такими критеріями будуть: критерій мінімуму зміщення [4]

$$n_d^2 = \frac{\sum\limits_{i=1}^{N}\left(y_A^{(i)} - y_B^{(i)}\right)^2}{\sum\limits_{i=1}^{N}\left(y_e^{(i)}\right)^2}, \tag{4}$$

що вимагає максимального наближення вихідних величин двох моделей y_A і y_B, отриманих на частинах експериментальних даних A і B, та критерій балансу [3]

$$B = \frac{1}{T}\sum_{i=1}^{T} b_i^2 , \tag{5}$$

де: $b_i = \overline{q}_i - \frac{1}{N_1}\sum\limits_{k=1}^{N_1} q_{ik}$, q_{ik} – величина, що характеризує вихід моделі за певний проміжок часу (наприклад, місяць); $\overline{q}_i$ – середнє значення вихідної величини за проміжок часу T (року), тобто $\overline{q}_i = \frac{1}{N_1}\sum\limits_{k=1}^{N_1} q_e^{(ik)}$; індекс i означає номер року, $i = 1, 2, ..., T$, а k – номер місяця, $k = 1, 2, ..., N_1$; індекс e стосується даних, що спостерігаються на виході об'єкта.

У табл. 1 наведено середньомісячні спостереження за стоком р. Дністер діючого гідрологічного поста протягом 1995–2007 років.

Для прогнозування стоку р. Дністер на 2008 рік було вибрано поліном

$$q_i = q_i^{(0)} + a_{0i} + a_{1i}q_i^{(0)} + a_{2i}q_{i-1} + a_{2i}\left(q_i^{(0)}\right)^2 + \\ + a_{4i}q_{i-1}q_i^{(0)} + a_{5i}q_{i-1}^2 , \tag{6}$$

де: $q_i^{(0)}$ – середньорічний стік р. Дністер;

q_{i-1} – середньомісячний стік р. Дністер.

Таким чином, прогнозування стоку на майбутній i , $i = \overline{1, N_1}$ місяць здійснюється за середнім стоком за минулий $i-1$ місяць.

Для пошуку закономірності перерозподілу середньомісячного стоку ріки за роками необхідно ідентифікувати N_1 регресійних залежностей типу (6). Для випадку, що розглядається, $N_1 = 12$.

Структура залежності (6) невідома, тому з використанням комбінаторного алгоритму методу групового врахуванням аргументів визначається повний набір поліномів для кожного із дванадцяти місяців за даними спостережень, які наведені у табл. 1.

Суть комбінаторного методу полягає у тому, що здійснюється повний перегляд поліномів типу (6) шляхом почергового обнулення його коефіцієнтів. Загальне кількість таких поліномів

$$L = N_p^2 - 1 .$$

Оскільки регресійна модель (5) є функцією двох змінних, то у відповідності з формулою (2) $N_p = 6$, і число можливих часткових моделей $L = 35$ для кожного місяця.

При реалізації алгоритму прогнозування помісячного стоку (табл. 1) була розбита на три частини: навчальну N_A , перевірочну N_B та екзаменаційну N_C . Були вибрані такі значення: $N_A = 5$, $N_B = 5$ та $N_C = 3$. Для кожного із дванадцяти місяців генерувалось L ($L = 35$) моделей, параметри яких обчислювались за методом найменших квадратів на множині експериментальних точок A . Із них за критерієм мінімуму зсуву було відібрано п'ять моделей.

Таблиця 2 – Параметри моделей оптимальної складності для прогнозування стоку р. Дністер

	1	2	3	4	5	6
a_{0i}	0.1674	0.0239	0.0773	1.5619	0.3581	0.1747
a_{1i}	0	0.9063	0	-3.6525	0	-1.9839
a_{2i}	-1.1085	0.9567	3.8726	-2.982	-0.9511	0
a_{3i}	-0.577	-1.2033	3.9814	5.9633	-2.8219	9.7877
a_{4i}	4.522	-1.5683	-11.0133	0	4.455	-1.0436
a_{5i}	0	0	-2.7274	3.1292	0	0

	7	8	9	10	11	12
a_{0i}	-0.1727	-0.6039	-0.4754	-0.159	0.2354	-0.2454
a_{1i}	2.205	6.0768	4.6324	1.4461	-1.0732	1.5784
a_{2i}	0	0	0	0.7552	0	0.8393
a_{3i}	-4.6749	-10.435	-7.0557	0	0	0
a_{4i}	0.7235	0	0	-3.948	9.4151	-3.2964
a_{5i}	0.8397	0.313	-0.104	0.6465	-5.3774	0

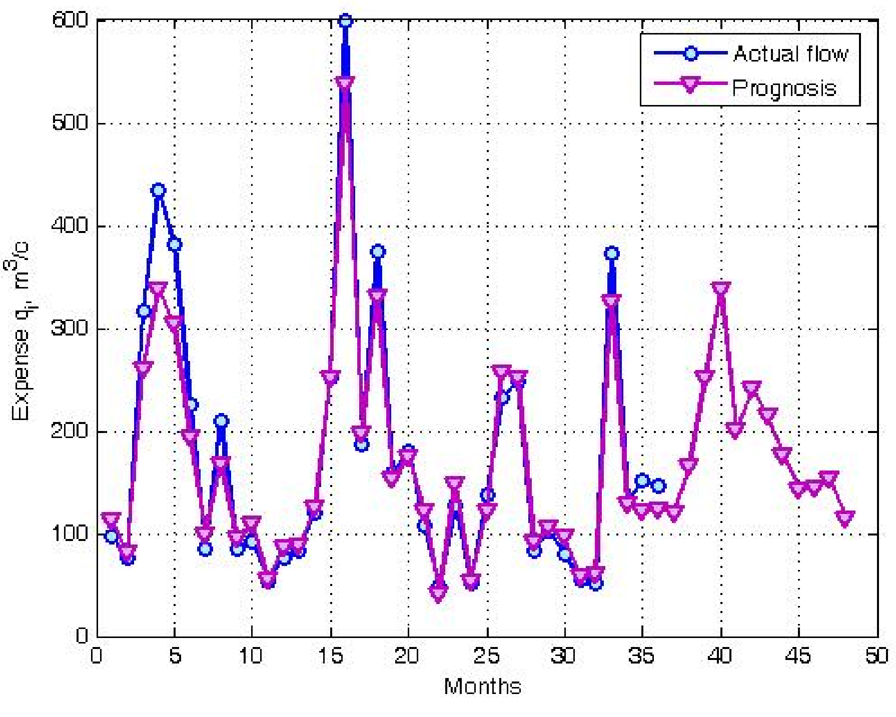

Рисунок 1 — Помісячний прогноз стоку р. Дністер

Параметри відібраних моделей уточнювались на множинах A і B. Потім складаються всі можливі поєднання із дванадцяти поліномів так, щоб у них був присутнім лише один поліном із набору. Для всіх поєднань обчислювалось значення критерію балансу (5). Сукупність дванадцяти регресійних моделей типу (6), для яких значення критерію балансу (5) мінімальне, приймалась як модель для прогнозу стоку р. Дністер.

Таблиця 2 вміщує коефіцієнти моделей оптимальної складності, відібрані за критерієм балансу.

На екзаменаційній множині C перевіряли точність алгоритму прогнозування стоку р. Дністер. Результат такої перевірки відтворює рис. 1.

Аналіз отриманих результатів стверджує, що найважче прогнозувати пікові значення стоків під час весняних повеней, які припадають на березень – квітень. На цей же рисунок нанесений прогноз помісячного стоку р. Дністер на 2008 р. Оцінка точності методу помісячного прогнозу р. Дністер здійснювалась за допомогою коефіцієнта кореляції [5]

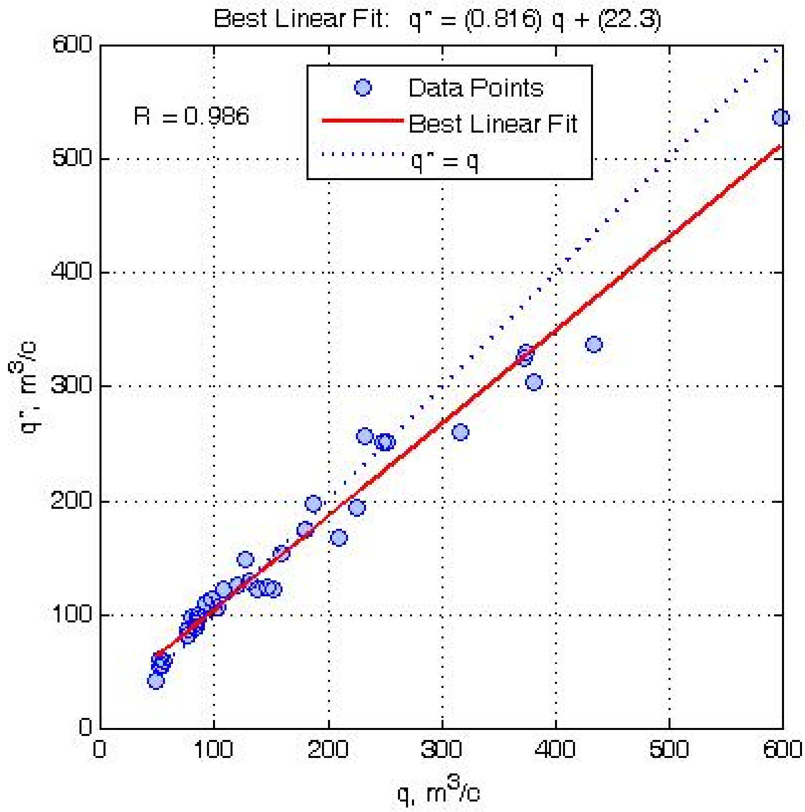

Рисунок 2 — Кореляційна залежність між дійсним і прогнозованим значенням стоку р. Дністер

$$K_{qq} = \frac{\sum_{i=1}^{N} q_i^* q_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^{N}\left(q_i^*\right)^2 \sum_{i=1}^{N}\left(q_i\right)^2}},$$

де q_i^*, q_i – дійсні та прогнозовані середньомісячні значення стоку, $i = \overline{1, N_1}$.

Граничне значення коефіцієнта кореляції, коли $q_i = q_i^*$ дорівнює одиниці. Для випадку, що розглядається (рис. 2), $K_{qq} = 0{,}986$, що свідчить про задовільний прогноз помісячного стоку р. Дністер.

Похибка прогнозу на екзаменаційні множині обчислювалась за формулою

$$\Delta(C) = \frac{\left|q_i^* - q_i\right|}{q_i^*}.$$

Її значення не перевищує 25%. Точність прогнозу можна, мабуть, підвищити, якщо збільшити обсяг навчальної і перевірочної множин.

Таким чином, прогнозування паводків р. Дністер для газопромислових об'єктів, які прокладені через річку або розташовані на її берегах, є актуальною проблемою оскільки останні можуть призвести до пошкодження або порушення роботи газопроводу, що, в свою чергу, викличе екологічну катастрофу.

Література

1 Чуев Ю.В. Прогнозирование количественных характеристик процессов / Чуев Ю.В., Михайлов Ю.Б., Кузьмин В.И. – М.: Советское радио, 1975. – 400 с.

2 Бокс Дж. Анализ временных рядов: Прогноз и управление. Вып. 2 / Бокс Дж., Дженкинс Г.; пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 197 с.

3 Ивахненко А.Г. Индуктивный метод самоорганизации сложных моделей / Ивахненко А.Г. – К.: Наукова думка, 1981. – 296 с.

4 Ивахненко А.Г. Справочник по типовым программам моделирования / Ивахненко А.Г., Коппа Ю.В., Степашко В.С. – К.: Техника, 1980. – 184 с.

5 Ермаков С.М. Математическая теория оптимального эксперимента / Ермаков С.М., Жиглявский А.А. – М.: Наука, 1987. – 320 с.

Стаття поступила в редакційну колегію 12.02.09