

УДК 681.142.2

## ДОСЛІДЖЕННЯ ВОДНИХ СТОКІВ РІКИ р. ДНІСТЕР І ПРОГНОЗУВАННЯ ЇЇ ПАВОДКІВ

*О. В. Пендерецький*

*Університет “Україна”, вул. Набережна ім. В. Стефаника, 42, а, 76010, м. Івано-Франківськ, тел. (8-0,3432) 51-10-44*

*Основное внимание уделено прогнозированию паводков на р. Днестр. При этом с целью разработки полинома для прогнозирования были обработаны результаты ежемесячных стоков воды в р. Днестр на протяжении из 1995г. по 2007г. на гидропосту г. Галич (Ивано-Франковская обл.). Оцененная погрешность прогнозирования не превышает 25%.*

*Basic attention is spared prognostication of floods on Dnister. Thus with the purpose of development of polynomial for prognostication the results of monthly flows of water were treated in Dnister on a draught from 1995 on 2007 on gydropostu Galych (Ivano-Francivsk). The appraised error is prognostication, does not exceed 25%.*

Ріка Дністер – найбільша водна артерія Західної України. Її довжина становить 1375 км, площа басейну – 72100 кв. км. Розвиток господарської діяльності, розвиток річкового туризму напряду пов’язані з прогнозом паводків на р. Дністер. Р. Дністер бере початок на північних схилах Лісистих Карпат, недалеко від с. Розлуч, на висоті близько 900 м. Ріка тече просторами Прикарпаття серед живописних скелястих берегів Поділля повз сади та виноградники Молдови і впадає у просторий Дністровський лиман Чорного моря. Довжина лиману становить майже 40 км а ширина близько 12 км. На своєму шляху р. Дністер приймає 386 приток, такі як: Стрий, Свіча, Бистриця, Золота Липа, Стрипа, Серет, Збруч, Смотрич та ін.

Для наших досліджень щодо прогнозування паводків на р. Дністер ми використали результати багаторічних спостережень за режимом р. Дністер на гідропості м. Галича (Івано-Франківська обл.), які проводяться з 1895р. По 2007р. Найхарактерніша риса водного режиму Дністра – дуже часті паводки протягом усього року як дощового, так і снігового походження. При цьому паводки високого рівня можуть бути в усі пори року. Загалом р. Дністер, як і усі Карпатські ріки, характеризується паводковим режимом.

Роки з різко вираженими літніми паводками залежать від метеорологічних умов в теплий період року, особливо коли настає

холоднувата і нестійка з частими дощами погода. За невеликою весняною повинню (березень – квітень) протягом наступних весняних, літніх і осінніх місяців спостерігаються майже безперервні паводки, зумовлені довгочасними липневими дощами як в Карпатах, так і на Подільській височині. У зимову пору року паводки на р. Дністер також інколи досягають великих розмірів. Вони пов’язані переважно з настанням відлиг, які часто супроводжуються дощами. Це сприяє швидкому таненню снігу, що зумовлює різке підняття рівня води. Із сказаного вище випливає, що кількість паводків на р. Дністер дуже велика. Так, в м. Галичі їх налічується за рік більше 200. Найменша кількість паводків припадає на січень і лютий, потім на квітень і листопад. У березні, внаслідок танення снігу, а в червні і серпні через дощі кількість паводків збільшується. Висота паводків (біля м. Галича) коливається в межах 0,5-5 м.

Максимальні витрати води у р. Дністер зумовлені інтенсивними дощами і вони, як правило, більші ніж весняні витрати талих вод. Середні річні витрати води з початку спостережного періоду відтворює графік, який приведений на рис. 1. З графіка видно, що загальна тенденція за столітній період спостережень залишається сталою – коливається в межах 100-200 м<sup>3</sup>/с. Найбільша витрата води у м. Галич зафіксована у 1943 р. – 770 м<sup>3</sup>/с і зумовлена наймасштабнішою за цей період повинню[1].

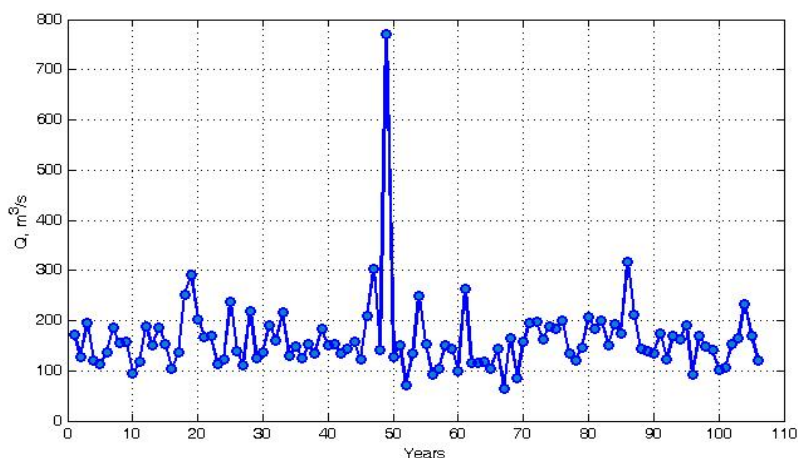


Рисунок 1 – Середньорічні витрати води р. Дністер (початок спостережень 1895 р.)

Для господарської діяльності різних суб'єктів агропромислових, туристичних і інших формувань, які розташовані на берегах р. Дністер важливе значення має прогнозування не тільки річних, а і помісячних паводків.

Із відомих методів прогнозування [2, 3] найбільшої уваги заслуговує індуктивний метод самоорганізації складних моделей [4], 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:

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

де  $a_i$  - параметри моделі (1);  $r_{ji}$  - степені аргументів  $x_j$  (вхідних величин).

Позначимо через  $r$  найбільшу степінь полінома (1). Тоді величини  $r_{ji}$  будуть приймати значення 0, 1, 2, ...,  $r$  за умови, що має місце таке обмеження:

$$\sum_{j=1}^n r_{ji} \leq r. \quad (2)$$

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

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

Так як

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

то 
$$N_p = \frac{(r+n)!}{n!r!}. \quad (3)$$

Звідси випливає, що для об'єкта, який розглядається як "чорний ящик", можна створити не одну, а по крайній мірі  $N-1$  моделей, які будуть мати майже однакове зовнішнє проявлення. Вирішення питання про однозначний вибір рівняння регресії (1) дає принцип зовнішнього доповнення [4]. Поняття зовнішнього доповнення ґрунтується на теоремі неповноти Геделя, яка стверджує, що ніяка система аксіом не може бути логічно замкнутою: завжди можна знайти таку теорему, для якої виникне потреба у зовнішньому доповненню – розширенню початкової системи аксіом. У відповідності з ідеями Геделя синтез моделей типу (1) повинен бути заснований на зовнішніх критеріях, що передбачає розділення експериментальних даних на дві частини: навчальну  $A$  і перевіірочну  $B$ . Для процесів прогнозування такими критеріями будуть критерій мінімуму зміщення [5]

$$n_d^2 = \frac{\sum_{i=1}^N (y_A^{(i)} - y_B^{(i)})^2}{\sum_{i=1}^N (y_e^{(i)})^2}, \quad (4)$$

який вимагає максимального наближення вихідних величин двох моделей  $y_A$  і  $y_B$ , які отримані на частинах експериментальних даних  $A$  і  $B$ , та критерій балансу [4]

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

де  $b_i = \bar{q}_i - \frac{1}{N_1} \sum_{k=1}^{N_1} q_{ik}$ ;  $q_{ik}$  - величина, яка характеризує вихід моделі за певний проміжок часу (наприклад, місяць);  $\bar{q}_i$  - середнє значення вихідної величини на протязі проміжку часу  $T$  (року), тобто  $\bar{q}_i = \frac{1}{N_1} \sum_{k=1}^{N_1} q_e^{(ik)}$ ;  $i$  - номер року,  $i = 1, 2, \dots, T$ ;  $k$  - номер місяця,  $k = 1, 2, \dots, N_1$ ; індекс  $e$  відноситься до даних, які спостерігаються на виході об'єкта.

У табл. 1 наведені середньомісячні показники спостережень Державної гідрометеорологічної служби в Івано-Франківській області (№ 109/04-18, від 12.03.08 р.), за стоком р. Дністер на протязі 1995 - 2007 р.р. на гідрологічному посту в м. Галичі.

Для прогнозу стоку р. Дністер на 2008 р. був вибраний поліном

$$q_i = q_i^{(0)} + a_{0i} + a_{1i}q_i^{(0)} + a_{2i}q_{i-1} + a_{3i}(q_i^{(0)})^2 + a_{4i}q_{i-1}q_i^{(0)} + a_{5i}q_{i-1}^2 \quad (6)$$

де  $q_i^{(0)}$  - середньорічний стік р. Дністер;  $q_{i-1}$  - середньомісячний стік р. Дністер.

Таким чином, прогнозування стоку на майбутній  $i$ -ий місяць  $i=1, N_1$  здійснюється за середнім стоком за минулий  $i-1$ -ий 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 у тому, що здійснюється повний перебір поліномів типу (6) шляхом почергового обнуління його коефіцієнтів. Загальне число 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:

Таблиця 1- Середньомісячні стоки р. Дністер,  $m^3/c$

Місяць Рік	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

$N_A = 5$ ,  $N_B = 5$  та  $N_C = 3$ . Для кожного із дванадцяти місяців генерувалось  $L$  ( $L = 35$ ) моделей, параметри яких знаходились за методом найменших квадратів на множині експериментальних точок  $A$ . Із них за критерієм мінімуму зсуву було відібрано п'ять моделей. Для відібраних моделей їх параметри 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. (табл. 2).

На екзаменаційній множині  $C$  перевірялась точність алгоритму прогнозування стоку р. Дністер. Результат такої перевірки відтворює рис. 2.

Аналіз отриманих результатів показує, що найважче прогнозувати пікові значення стоків під час весняних повеней, які припадають на березень – квітень. На рис. 2 зроблений прогноз помісячного стоку р. Дністер на 2008 р. Оцінка точності методу помісячного прогнозу р. Дністер здійснювалась за допомогою такого коефіцієнта кореляції [6]:

$$K_{qq} = \frac{\sum_{i=1}^N q_i^* q_i}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (q_i^*)^2 \sum_{i=1}^N q_i^2}}, \quad (7)$$

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

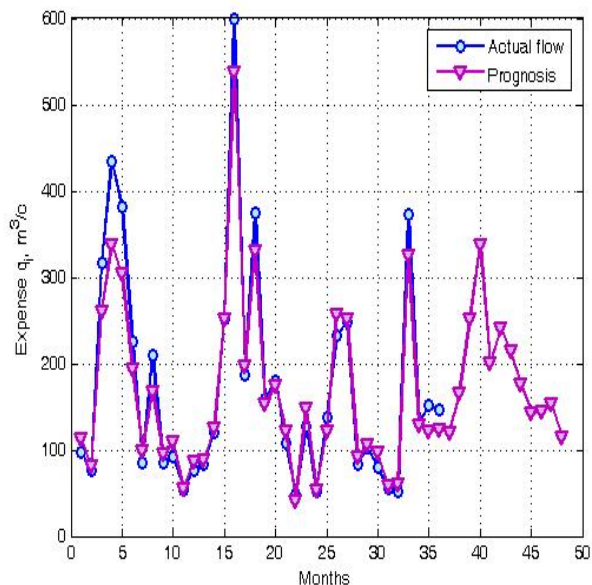
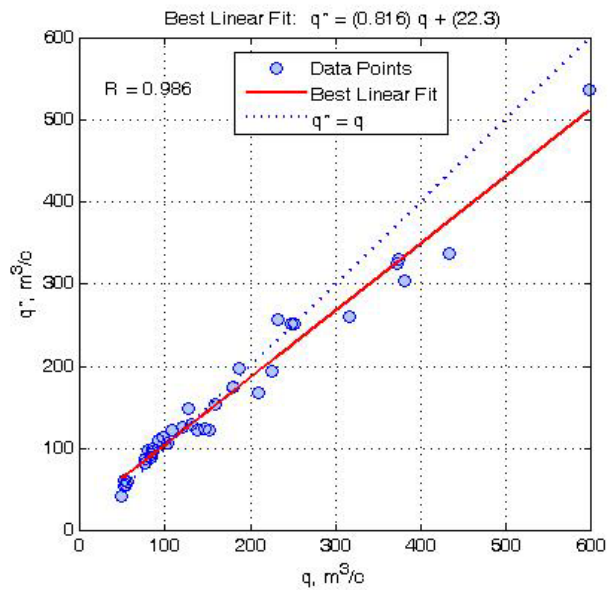


Рисунок 2 – Помісячний прогноз стоку р. Дністер

Граничне значення коефіцієнта кореляції буде тоді, коли  $q_i = q_i^*$  і буде дорівнювати одиниці. Для випадку, який розглядається (рис. 3),  $K_{qq} = 0,986$ , що свідчить про задовільний прогноз помісячного стоку р. Дністер.

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

	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$a_{0i}$	0,1674	0,0239	0,0773	1,5619	0,3581	0,1747	-0,1727	-0,6039	-0,4754	-0,159	0,2354	-0,2454
$a_{1i}$	0	0,9063	0	-3,6525	0	-1,9839	2,205	6,0768	4,6324	1,4461	-1,0732	1,5784
$a_{2i}$	-1,1085	0,9567	3,8726	-2,982	-0,9511	0	0	0	0	0,7552	0	0,8393
$a_{3i}$	-0,577	-1,2033	3,9814	5,9633	-2,8219	9,7877	-4,6749	-10,435	-7,0557	0	0	0
$a_{4i}$	4,522	-1,5683	-11,0133	0	4,455	-1,0436	0,7235	0	0	-3,948	9,4151	-3,2964
$a_{5i}$	0	0	-2,7274	3,1292	0	0	0,8397	0,313	-0,104	0,6465	-5,3774	0



**Рисунок 3 – Кореляційна залежність між дійсним і прогнозованим значеннями стоку р. Дністер**

Похибка прогнозу на екзаменаційній множині обчислювалась за формулою

$$\Delta(C) = \frac{|q_i^* - q_i|}{q_i} \cdot 100\% \quad (8)$$

і її значення не перевищує 25 %. Точність прогнозу можна, мабуть, підвищити, якщо

збільшити обсяг навчальної і перевіркової множин.

Спрогнозувавши таким чином помісячний паводковий режим ріки, ми можемо намітити на цілий рік відповідні заходи щодо попередження можливих негативних наслідків від непередбачуваних ситуацій створених водами р. Дністер.

### Література

1. Пендерецький О. В. Екологія Галицького району. Монографія. - Івано-Франківськ: Нова зоря, 2004. – 198с.
2. Чуев Ю. В., Михайлов Ю. Б., Кузьмин В. И. Прогнозирование количественных характеристик процессов. – М.: Советское радио, 1975. – 400 с.
3. Бокс Дж., Дженкинс Г. Анализ временных рядов: Прогноз и управление. Вып. 2. / Пер. с англ. – М.: Мир, 1974. – 197 с.
4. Ивахненко А. Г. Индуктивный метод самоорганизации сложных моделей. – К.: Наукова думка, 1981. – 296 с.
5. Справочник по типовым программам моделирования. / А. Г. Ивахненко, Ю. В. Коппа, В. С. Степашко и др. – К.: Техника, 1980. – 184 с.
6. Ермаков С. М., Жиглявский А. А. Математическая теория оптимального эксперимента. – М.: Наука, 1987. – 320 с.