

УДК 911.3

Пендерецький О.В.

НЕЙРОМЕРЕЖА ПРОГНОЗУВАННЯ СТОКУ РІКИ ДНІСТЕР

Запропоновано метод прогнозування стоку ріки Дністер, який базується на використанні теорії нейромережі. Для прогнозу майбутніх значень витрат води у річці за її минулими значеннями використовується адаптивний лінійний зважений суматор, який складається із двох частин: лінійно-зваженого суматора з адаптивно коректувальними вагами і підсистеми, яка призначена для адаптивної корекції цих ваг і яка реалізує так званий LMS-алгоритм.

Ключові слова: ріка Дністер, стоки, паводки, нейромережа, поліном, дійсні значення, прогнозовані значення, похибка.

The method of forecasting the flow of the river Dniester, which is based on the theory of Neural Networks. To forecast future values of water in the river for its past values used weighted linear adaptive combiners, which consists of two parts: a linear-weighted adder with adaptive corrective weights and subsystems designed for adaptive correction of the weights and implementing the so-called LMS-algorithm.

Key words: river Dniester, drains, flooding, neural networks, polynomial, valid values, predicted values, the error.

Предложен метод прогнозирования стока реки Днестр, основанный на использовании теории нейросети. Для прогноза будущих значений расходов воды в реке за ее прошлыми значениями используется адаптивный линейный взвешенный сумматор, состоящий из двух частей: линейно-взвешенного сумматора с адаптивно корректировочных весами и подсистемы, предназначенной для адаптивной коррекции этих весов и реализующая так называемый LMS-алгоритм.

Ключевые слова: река Днестр, стоки, паводки, нейросеть, поленом, действительные значения, прогнозируемые значения, погрешность.

Постановка проблеми. Згідно з результатами багаторічних спостережень за режимом ріки Дністра, на гідропостах Івано-Франківської області, найхарактерніша риса його водного режиму – дуже часті паводки протягом усього року як дощового, так і снігового походження. При цьому паводки високого рівня у Карпатських ріках можуть бути в усі пори року. В зв'язку з цим найважливішою проблемою для регіону є прогноз водного стоку ріки Дністер.

Аналіз останніх публікацій та досліджень. Серед останніх публікацій в сфері водного туризму слід назвати навчальний посібник П.О. Масляка – «Рекреаційна географія», в якому автор поділяє річки України на три групи за характеристикою кожної на власну туристично-спортивну складність. Велике значення у дослідженні водних стоків мала науково-практична конференція – «Вплив руйнівних повеней, паводків, небезпечних геологічних процесів на функціонування інженерних мереж та безпеку життєдіяльності», яка відбулася у м.Яремчі, Івано-Франківської області 23-27 лютого 2009 року, де свої доповіді представили Є.Яковлев, О.Адаменко, Є.Крижанівський, В.Квашук та ряд інших науковців які запропонували свої методи щодо запобігання паводкового руйнівного впливу [6], а також авторські дослідження [5].

Визначення невирішених сторін проблеми. Одним із шляхів, щоб уникнути руйнівних наслідків від повені в Карпатському регіоні, гарантування безпеки туризму та життєдіяльності населення є розробка методів прогнозування стоку ріки Дністер, що дасть можливість передбачити певні заходи для їх подолання.

Мета та завдання статті. Метою статті є розробка методу прогнозування стоку ріки Дністер для впровадження заходів по зменшенню руйнівних наслідків від повені.

Основний виклад матеріалу. Роки з різко вираженими літніми паводками залежать від метеорологічних умов в теплий період року, особливо коли настає холоднувата і нестійка, з частими дощами погода. У слід 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 Дністрі 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. Зі сказаного вище випливає, що кількість паводків на Дністрі дуже велика. На території області 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 коливається в межах 0,5-5 м. Для характеристики режиму ріки Дністер використані матеріали спостережень діючого гідрологічного поста, що має найбільш довгий ряд спостережень. Максимальні витрати води у Дністрі зумовлені інтенсивними дощами, і вони, як правило, більші ніж весняні витрати талих вод і складають відповідно 3 930 м³/с і 2 405 м³/с. В області з 1895 року ведуться заміри витрат води ріки Дністер [1]. Середні річні витрати води з початку спостережного періоду відтворює графік, який показаний на рис. 1. З графіка видно, що загальна тенденція за столітній період спостережень залишається сталою – коливається в межах 100-200 м³/с. Найбільша витрата води тут зафіксована у 1943 році – 770 м³/с і зумовлена

наймасштабнішою за цей період повинню.

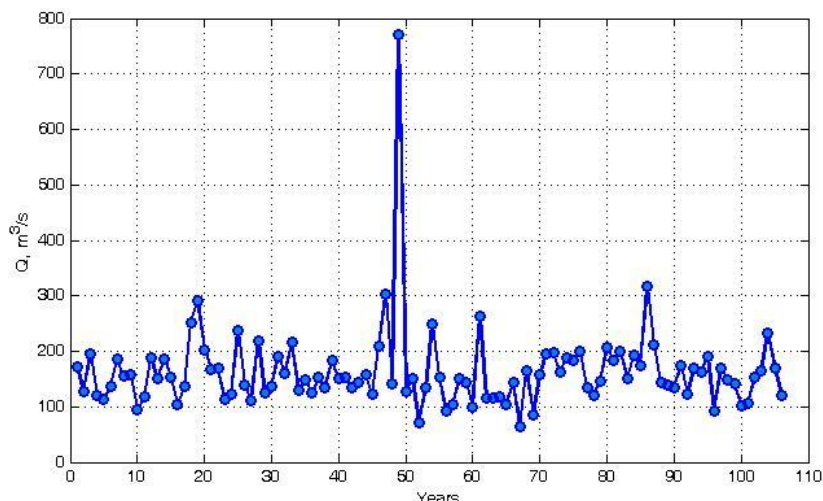


Рис.1. Середні річні витрати води р. Дністер (1895 – 2005 р.р.)

Для господарської діяльності різних суб'єктів господарювання, які розташовані на берегах Дністра, важливе значення має прогнозування його паводків. Таке прогнозування можна здійснити двома способами – за допомогою експоненціального згладжування і за допомогою нейромереж. В даній роботі поставлена мета – зробити порівняльний аналіз цим двох методів прогнозування і дати рекомендації з вибору найефективнішого.

Метод експоненціального згладжування поширюється на процеси, детермінована основа яких подається як поліном n -ої степені [2(4)]:

$$\hat{\varphi}(\bar{a}, t) = a_0 + a_1 t + \frac{1}{2} a_2 t^2 + \dots + \frac{1}{n!} a_n t^n, \quad (1)$$

де t - час;

$\bar{a}^T = (a_0, a_1, \dots, a_n)$ - вектор параметрів моделі.

Як показали розрахунки з достатньою для практики точністю прогнозування на один крок (рік) можна обмежитись $n \leq 2$. Тоді експоненціальне згладжування на крок вперед $\Delta t = t_i - t_{i+1}$ буде визначатись співвідношенням:

$$\hat{Q}_{t+\Delta t} = \hat{a}_{0t} + \hat{a}_{1t} \Delta t + \frac{1}{2} \hat{a}_{2t} \Delta t^2. \quad (2)$$

Коефіцієнти залежності (1) виражаються формулами експоненціального згладжування. Для $n=1$ формула експоненціального згладжування буде такою [3]:

$$S_t = \alpha Q_t + \beta S_{t-1}.$$

При переході до поліномів порядку вищого за одиницю використовують експоненціальне згладжування p -го порядку [2]:

$$S_t^{(p)} = \alpha Q_t + \beta S_{t-1}^{(p)}. \quad (3)$$

Взаємозв'язок між коефіцієнтами залежності (2) і величинами $S_t^{(p)}$ і $S_{t-1}^{(p)}$, які входять у формулу (3) можна отримати із критерію мінімуму зваженої суми квадратів [2]

$$\alpha \sum_{j=0}^{\infty} \beta^j \left(y_{t-j} - \sum_{i=0}^n \frac{a_{it}}{i!} (t-j)^i \right)^2 \rightarrow \min,$$

де $y_t = Q_t$;

t - дискретний час – порядкові номери відліку значень Q у моменти часу t_0, t_1, \dots, t_n . Виявляється [2], що величини $S_t^{(p)}$ і $S_{t-1}^{(p)}$ можна виразити через коефіцієнти a_{it} і згладжені значення \hat{y}_t . У результаті отримуємо рекурентні процедури, які наведені в табл. 1 [4, с. 165].

Табл. 1. Коефіцієнти моделі (2)

Модель	Коефіцієнти моделі	\hat{y}_t
Постійна ($n = 0$)	$\hat{a}_{0t} = y_t + \beta(\hat{y}_t - y_t)$.	$\hat{y}_t = \hat{a}_{0(t-1)}$
Лінійна ($n = 1$)	$\hat{a}_{0t} = y_t + \beta^2(\hat{y}_t - y_t)$, $\hat{a}_{1t} = a_{1(t-1)} - \alpha^2(\hat{y}_t - y_t)$.	$\hat{y}_t = \hat{a}_{0(t-1)} + \hat{a}_{1(t-1)}$
Квадратична ($n = 2$)	$\hat{a}_{0t} = y_t + \beta^3(\hat{y}_t - y_t)$, $\hat{a}_{1t} = \hat{a}_{1(t-1)} + \hat{a}_{2(t-1)} - \frac{3\alpha^2}{2}(2-\alpha)(\hat{y}_t - y_t)$, $\hat{a}_{2t} = \hat{a}_{2(t-1)} - \alpha^3(\hat{y}_t - y_t)$.	$\hat{y}_t = \hat{a}_{0(t-1)} + \hat{a}_{1(t-1)} + \frac{1}{2}\hat{a}_{2(t-1)}$

У формулах, що наведені у табл. 1 t набуває значень $0, 1, \dots, n$. Тобто у процесі прогнозу враховуються поточні значення стоку $y_t = Q_t$ для прогнозування майбутніх значень $y_{t+i} = Q_{t+i}$, де $i = 1, 2, \dots$ - крок прогнозу. Для $t = 0$ приймають, що $\hat{y}_0 = y_0 = Q_0$.

Як альтернативний експоненціальному згладжуванню розглянутий метод прогнозування, який базується на використанні нейромереж. Для прогнозу майбутніх значень функції $Q = \varphi(t)$ за її минулими значеннями використовується адаптивний лінійний зважений суматор, який відомий в літературі [4] як Адалайн (Adaptive Linear Neuron) (рис. 2). Він складається із двох частин: лінійно-зваженого суматора з адаптивно коректувальними вагами і підсистеми, яка призначена для адаптивної корекції цих ваг і яка реалізує так званий LMS-алгоритм

$$\hat{w}_i(t+1) = \hat{w}_i(t) + 2\gamma \sum_{k=1}^n w_k(t) e_k(t), \quad k = \overline{1, N},$$

де $w_i(t)$ - ваги нейромережі;

$e(t)$ - похибка прогнозу;

γ - коефіцієнт навчання;

t - номер відліку ординати функції $\varphi(t)$;
 n - кількість минулих значень $\varphi(t)$, які використовуються для прогнозу.

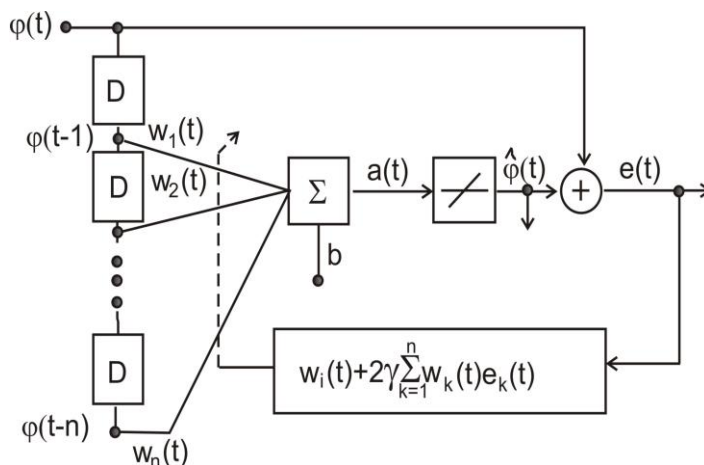


Рис. 2. Неймережа прогнозу стоку р. Дністер

До виходу суматора приєднують, як правило, лінійну сигмоїду [4]. Минулі значення $y(t)$, $t = \overline{1, n}$ подаються в секційну лінію затримки. Кожна лінія затримки на рис. 2 позначена буквою D . Вихід адаптивного фільтру $a(t)$ обчислюється за такою формулою:

$$a(t) = \sum_{i=1}^n w_{it} \varphi(t-i+1) + b,$$

де b - величина зсуву.

Відбір моделі здійснюється за допомогою двох ознак. Першою ознакою служила величина [2]

$$\hat{S}_0^2 = \frac{1}{v} \sum_{t=1}^n (y_t - \varphi(\hat{a}, t))^2, \quad (4)$$

де $v = n - k$;

n – розмір статистики;

k – розмір вектора оцінки \hat{a} .

Ознака \hat{S}_0^2 характеризує степінь згладжування статистичних даних $y(t)$ і при співпаданні детермінованої основи $\varphi(\hat{a}, t)$ і функції $\hat{\varphi}(\hat{a}, t)$ є незміщеною оцінкою дисперсії [2].

Тому, як правило, та пробна функція, для якої \hat{S}_0^2 менше, точніше описує детерміновану основу. Проте не завжди мінімум \hat{S}_0^2 відповідає мінімуму помилки апроксимації. Можливі випадки, коли використання лише цієї ознаки спричиняє грубі помилки, виникнення яких пояснюється [2] як неповнотою системи ознак, так і тим, що розглядається, як правило, неповний клас пробних функцій.

Другою ознакою вибору пробної функції детермінованої основи є коефіцієнт кореляції [4]

$$\hat{r}_y = \frac{1}{\sqrt{\hat{S}_0^2}} \sum_{t=1}^n \Delta y(t) \Delta y(t-1), \quad (5)$$

де $\Delta y(t) = y(t) - \hat{\varphi}(\hat{a}, t)$.

При співпаданні детермінованої основи і пробної функції значення коефіцієнта кореляції \hat{r}_y буде прямувати до нуля [2], оскільки $y(t) \rightarrow \hat{\varphi}(\hat{a}, t)$. Ця властивість коефіцієнта кореляції служить основою для відбору пробних функцій. Ознака \hat{r}_y не тільки показує, яка функція із системи функцій найкраще апроксимує експериментальні дані, але й дозволяє зробити висновок “погана” чи “добра” сама по собі функція, яка розглядається [2]. Дійсно, якщо функція, що розглядається дає значення \hat{r}_y близьке до одиниці, то це є ознакою того, що існує інша функція, яка краще відповідає статистиці, ніж вихідна функція.

Для даних, які наведені на рис. 1, прогноз здійснювався за допомогою нейромережі та експоненціального згладжування. В останньому випадку було взято три пробних функції у вигляді полінома (1) зі значеннями $n = 0$, $n = 1$ і $n = 2$, а величина α і β були взяті такими: $\alpha = 0,2$ і $\beta = 0,5$. У табл. 2 занесені значення ознак відбору пробних функцій. Аналіз табл. 2 показує, що найменший коефіцієнт кореляції (5) і найменше значення \hat{S}_0^2 відповідає квадратичній моделі.

Табл. 2. Значення ознак відбору пробних функцій

Модель	Ознака відбору	
	$\hat{S}_0^2, \text{ м}^3 / \text{ с}$	\hat{r}_y
Постійна	6.5643	0.27713
Лінійна	4.7434	0.39821
Квадратична	3.3466	0.06626
Нейромережа	9.1712	0.18363

Рис. 3 вміщує графіки стоку р. Дністер і його прогнозованих значень, які отримані за допомогою нейромережі і квадратичної моделі. На рис. 3 значення стоків у безрозмірних одиницях:

$$q(t) = \frac{Q(t)}{\max_t : Q(t)},$$

де $\max_t : Q(t)$, максимальне значення стоку на інтервалі спостереження $t \in [0; n]$. Похибки прогнозування визначимо за формулою:

$$\delta = \frac{|\hat{Q}(t) - Q(t)|}{Q(t)},$$

де $\hat{Q}(t)$, $Q(t)$ - прогнозоване і дійсне значення стоку у момент часу t .

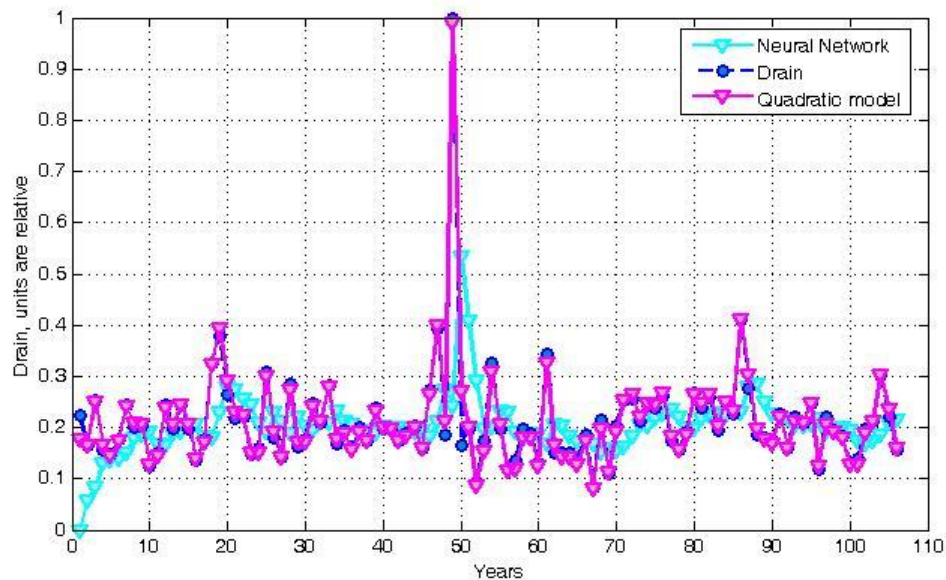


Рис. 3. Дійсні і прогнозовані значення стоків р. Дністер

Аналіз похибок прогнозування стоку р. Дністер δ показує, що найбільше її значення $\delta=0,63$ відноситься до 1944 року. Це пояснюється тим, що у 1943 р. був аномально високий стік води і наслідком цього був завищений прогноз стоку на 1944 р. Протилежна ситуація спостерігалась у 1942, 1947 і 1951 рр., коли після засушливих років наступали дощові періоди, що і викликало завищені похибки прогнозу $0,1 < \delta < 0,15$. Для інших років похибка прогнозу не перевищувала значення 0,1. Звичайно, зі збільшенням глибини прогнозу похибка δ буде зростати.

Висновки та перспективи. Розроблений метод прогнозування стоків ріки Дністер на основі теорії нейромережі дає можливість намітити на перспективу відповідні заходи щодо попередження можливих негативних наслідків від непередбачуваних ситуацій створюваних паводковими водами ріки Дністер, а також спланувати безпеку туристичної діяльності.

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. Івахненко О. Г., Лапа В. Г. Передбачення випадкових процесів. – К.: Наукова думка, 1969. – 420 с.
4. Рутковская Д., Пилиньский М., Рутковский Л. Нейронные сети, генетические алгоритмы и нечеткие системы. Пер. с польск. – М.: Горячая линия-Телеком, 2004. – 452 с.
5. Пендерецький О.В. Дослідження водних стоків р. Дністер і прогнозування її паводків. – Івано-Франківськ, ІФНТУНГ, Методи та прилади контролю якості, №20. 2008 – с. 93 – 97.
6. Матеріали п'ятої науково-практичної конференції – Вплив руйнівних повеней, паводків, небезпечних геологічних процесів на функціонування інженерних мереж та безпеку життєдіяльності. 23-27 лютого 2009 року. М. Яремча, Івано-Франківської області.