

## ДО МАТЕМАТИЧНОГО ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНЯ ПАВОДКОВИХ ВОД

**А. П. Олійник, О. І. Клапоушак**

*Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу;  
76019, м. Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15;  
e-mail: andrij-olijnyk@rambler.ru, oksana\_kl@meta.ua*

*Здійснено прогнозування рівня паводкових вод на прикладі річок Дністер та Тиса протягом 2013 р. та 2014 р. на основі статистичних даних з автоматичних гідрологічних станцій за допомогою математичної моделі.*

**Ключові слова:** *статистичні дані, паводкові води, математичне моделювання, прогнозування.*

У даній статті використовуються основні результати отриманих прогностичних апроксимуючих кривих, методика побудови яких описана в [1-3] з метою аналізу даних про рівень води річок у період паводків. Дана методика також дозволяє проаналізувати дані про кількість атмосферних опадів [4].

Авторами також здійснено побудову апроксимуючих кривих для річок Прут (метеорологічні станції Чернівці, Яремча та Коломия) і Латориця (пост Мукачево) [2].

Методика побудови апроксимуючих кривих з використанням математичної моделі здійснюється наступним чином: за відомими значеннями  $(y_i, t_i)$  будується залежність  $y = t^n \cdot e^{-at}$ . Знаходиться точка максимуму цієї функції:

$$\begin{cases} y' = n \cdot t^{n-1} \cdot e^{-at} - a \cdot t^n \cdot e^{-at}, \\ t^{n-1} \cdot e^{-at} \cdot [n - a \cdot t] = 0, \\ t_0 = \frac{n}{a}; \end{cases} \quad \begin{cases} n = n(x_1, x_2 \dots x_k, t), \\ a = a(x_1, x_2 \dots x_k, t), \end{cases} \quad (1)$$

де коефіцієнти  $n$  та  $a$ , які можуть бути функціями виду (1) і величини  $x_k$  – проникність ґрунту, вологість повітря, зволоженість водозаборів, особливості рельєфу та метеорологічні дані, тощо, а змінна  $t$  – час. За знайденим значенням  $t_0 = \frac{n}{a}$  знаходяться коефіцієнти  $c_1, c_2, b_1, b_2$  у формулах:

$$\begin{cases} y_1 = \frac{c_1}{b_1 \cdot (t-t_0)^2 + 1}, \\ y_2 = \frac{c_2}{b_2 \cdot (t-t_0)^2 + 1}. \end{cases} \quad (2)$$

Перетворення приводяться лише для  $j = 1, j = 2$ :

$$\begin{cases} y_1 \cdot b_1 \cdot (t-t_0)^2 + y_1 = c_1, \\ y_1 = -b_1 \cdot y_1 \cdot (t-t_0)^2 + c_1; \end{cases} \quad \begin{cases} \tilde{y} = y, \\ \tilde{t} = y_1 \cdot (t-t_0)^2, \\ \tilde{k} = -b_1, \\ \tilde{l} = c_1, \end{cases} \quad (3)$$

де  $\tilde{y} = \frac{\ln y}{t}$ ;  $\tilde{t} = \frac{\ln t}{t}$ ;  $\tilde{k} = n$ ;  $\tilde{b} = -a$  і для знаходження  $\tilde{k}$  і  $\tilde{l}$  використовуються співвідношення (4):

$$\tilde{k} = \frac{N \sum \tilde{y}_i \tilde{t}_i - \sum \tilde{y}_i \sum \tilde{t}_i}{N \sum \tilde{t}_i^2 - (\sum \tilde{t}_i)^2}; \quad \tilde{b} = \frac{1}{N} (\sum y_i - \tilde{k} \sum \tilde{t}_i). \quad (4)$$

Здійснюючи обернені перетворення, знаходимо  $c_1, c_2, b_1$  та  $b_2$ .

Прогнозування рівня паводкових вод здійснювалось на основі статистичних даних про рівень води річок, а саме: пост Рахів, річка Тиса, басейн річки Закарпаття у період з 03.04.2013 р. по 06.04.2013 р. та у період з 09.04.2013 р. по 16.04.2013 р.; пост Могилів-Подільський, річка Дністер, басейн Дністер (з 09.04.2013 р. по 12.04.2013 р. та у період з 21.09.2014 р. по 23.09.2014 р.). Використавши асоціативний аналіз, авторами вдалось проаналізувати і встановити, що вагомим фактором на підняття рівня паводкових вод відіграють атмосферні опади, тобто їх кількісні характеристики [5, 6].

З вище написаного випливає, що прогнозування рівня паводкових вод здійснюється на основі статистичних даних про рівень води річок у період паводків чи повеней та даних про кількість атмосферних опадів.

Отримані результати апроксимуючих кривих на основі статистичних даних про рівень паводкових вод річок Тиса та Дністер показано на рис.1-4.

Позначення на рис. 1-4:

- $y_{\max}$  – максимальне значення паводкових вод;
- $y_p$  – передпаводковий рівень;
- $\Delta y$  – спад рівня води річок у період паводків.

При аналізі апроксимуючих кривих рівня води річок враховувалось, що середня глибина Тиси становить 0,3-1,2 м, а Дністра – 1,5-3,5 м.

Статистичні дані про рівень води річок та кількості атмосферних опадів проаналізовані через кожні три години.

Зміна рівня ріки Тиса (пост Рахів, 03-06.04.2013 р.) протягом 24 год. показано на рис. 1. Перед паводком рівень води становив 182 см, піднявся на 32 см ( $\Delta y$ ) і досяг максимального підняття 214 см ( $y_{\max}$ ). Протягом 12 год. відбувся спад рівня паводкових вод на 9 см і кількість атмосферних опадів становила 10 мм (відсутні дані через кожні три години). Загальна тривалість паводку становила 24 год (з них 12 год – це час, протягом якого відбувався підйом рівня води річки Тиса і 12 год – спад).

Під час обробки статистичних даних (рис. 1) під час паводку на ріці Тиса (пост Рахів) встановлено, що протягом 24 год. випало 18 мм атмосферних опадів.

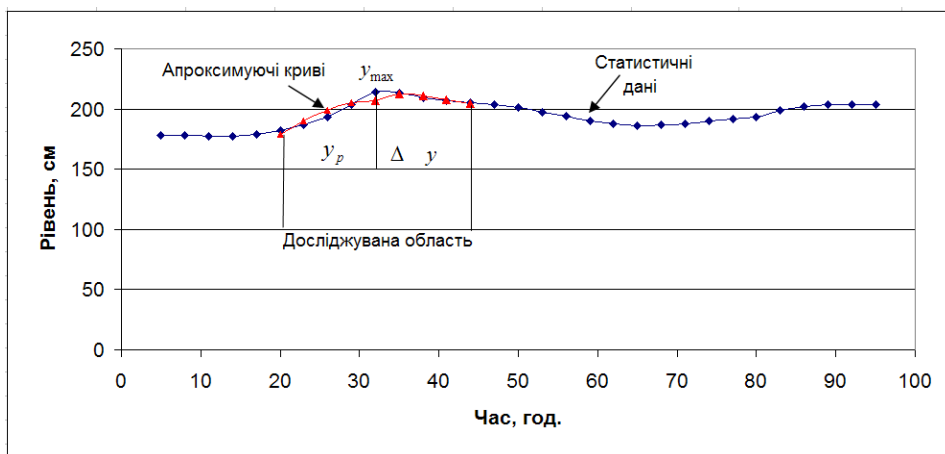


Рис.1. Побудова апроксимуючих кривих для ріки Тиса – пост Рахів (03-06.04.2013 р.)

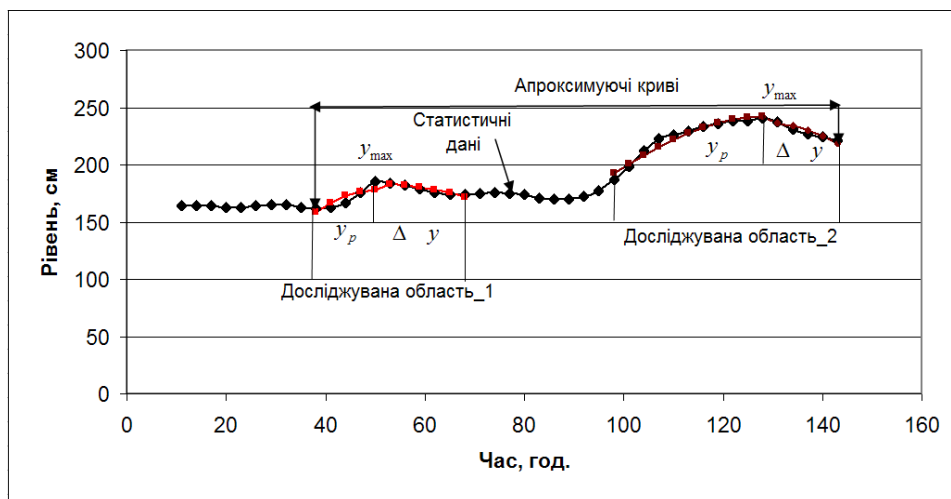


Рис.2. Побудова апроксимуючих кривих для ріки Тиса – пост Рахів (09-14.04.2013 р.)

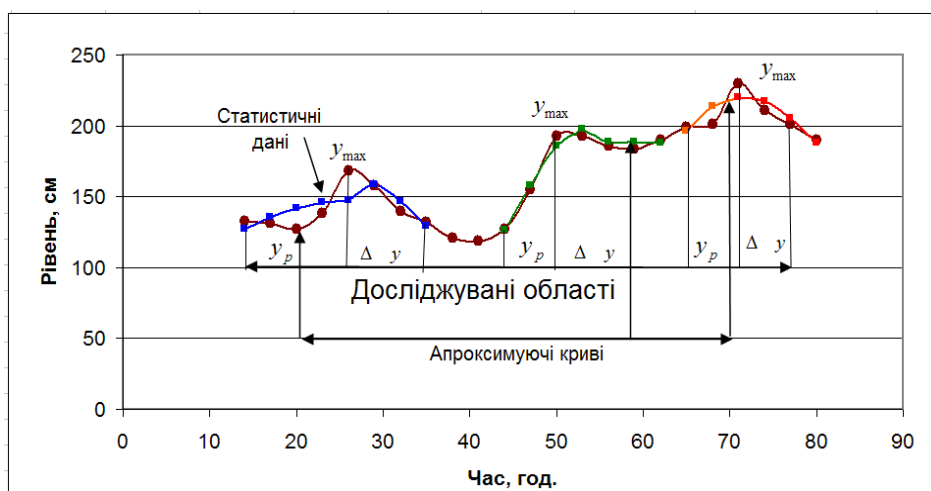


Рис.3. Побудова апроксимуючих кривих для ріки Дністер – пост Могилів-Подільський (09-12.04.2014 р.)

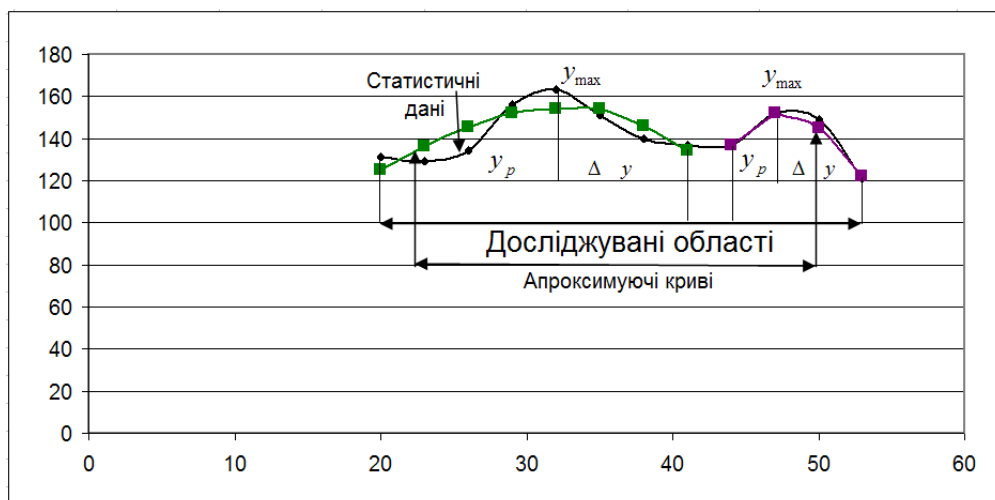


Рис.4. Побудова апроксимуючих кривих для ріки Дністер – пост Могилів-Подільський (21-23.09.2014 р.)

З метою детальнішого аналізу статистичних даних (рис.2.) для ріки Тиса (м. Рахів) обрано часові проміжки 30 год та 45 год:

- передпаводкові рівні води – 162 см (досліджувана область 1) та 187 см (досліджувана область 2);
- атмосферні опади – 11,2 мм та 45,6 мм (досліджувані області 1,2 відповідно);
- максимальне підняття рівнів води під час паводку – 185 см та 241 см;
- підняття рівнів води ріки на 23 см та 54 см;
- загальна тривалість паводків становить 30 год. та 45 год.

Вибір даного часового проміжку для ріки Тиса (м. Рахів) обумовлений також 2 піками підйому рівня паводкових вод на 185 см та 241 см.

Спад рівнів паводкових вод протягом наступних 18 год. та 15 год. відбувся на 11 см та 20 см. Кількість атмосферних опадів при підйомі та спаді води річок під час двох піків становили 59,2 мм при відсутності даних через кожні 3-9 годин (рис. 2).

Досліджуючи отримані результати (рис. 3) для ріки Дністер (пост Могилів-Подільський, 09-12.04.2014 р.) про три піки підйому води річок у період паводкових вод загальною тривалістю 54 год, можна зробити наступні висновки:

- $y_{\max}$  – максимальне значення паводкових вод дорівнює 168 см, 193 см та 230 см відповідно;
- $y_p$  – 133 см, 127 см та 199 см відповідно;
- підйом води відбувся на 35 см, 66 см та 6 см;
- $\Delta y$  – спад рівнів води дорівнюють 36 см, 3 см та 40 см;
- тривалість паводкових вод становить 21 год., 18 год. та 15 год.;
- кількість атмосферних опадів при тривалості 21 год. становить 17 мм, 18 год. – 16,5 мм і 15 год. – 30 мм (відсутні дані через кожні три-шість годин).

Для аналізу результатів апроксимуючих кривих рівня води у період паводків (рис. 4) також обрано два піки, як дали наступні результати:

- $y_{\max}$  – 163 см та 152 см;
- $y_p$  – 131 см та 137 см;
- $\Delta y$  – 26 см та 31 см;
- підйом води – 32 см та 15 см
- тривалість паводкових вод становить 21 год. та 9 год.;
- кількість атмосферних опадів при тривалості 21 год. становить 30 мм і 9 год. – 18 мм (відсутні дані через кожні три-шість годин).

На основі аналізу поданої вище інформації, встановлено, що тривалі атмосферні опади інтенсивністю 1 мм кожну годину протягом двох діб спричиняють підняття рівня води річки Дністер в досліджуваних областях на 20-55 см.

Розроблений метод побудови апроксимуючих кривих дозволяє прогнозувати формування паводкових вод, проконтролювати рівень їх зміни і встановити, при яких метеорологічних характеристиках відбувається процес їх формування, а також визначати можливу тривалість паводків у певній місцевості [2]. Крім того, за встановленими залежностями (1) та (2), можна записати звичайне диференціальні рівняння:

$$\det \begin{vmatrix} f' & f \\ y' & y \end{vmatrix} = 0, \quad (5)$$

де  $f$  – невідома функція, що описує поведінку рівня паводкових вод,  
 $y$  – рівень паводкових вод, визначений за (1) та (2), що описують процеси зміни рівня паводкових вод та дозволяють оцінювати цю зміну при різних значеннях параметрів  $x_k$ . У даному випадку рівняння (5) є рівнянням першого порядку, цей порядок можна змінити, якщо розглянути кілька базових розв'язків.

### *Література*

1. The flood process mathematical modelling an their prediction methods based on static data / Zamikhovskii L.M., A.P. Oliinyk, O.I. Klapoushchak, L.O. Shtaiyer // Life Science Journal. – 2014. – №11 (8s). – pp. 473-477. ISSN: 1097-8135 (Print) / ISSN: 2372-613X (Online); Impact Factor 2012: 0.165
2. Клапоушак О.І. Методика побудови апроксимуючих кривих для оцінки і прогнозування рівня паводкових вод / О.І. Клапоушак // Восточно-Европейский журнал передовых технологий – Харьков: Технологический центр, 2014. – № 2/4 (68) – С. 50-54. ISSN: 1729-3774
3. Клапоушак О.І. Математичне моделювання процесу розвитку паводків / О.І. Клапоушак, А.П. Олійник // Вісник Вінницького політехнічного інституту. – Вінниця: ВНТУ, 2014. – № 6 (117) – С. 52-56. ISSN: 1997-9266
4. Український гідрометеорологічний центр [Електронний ресурс]: Автоматичні гідрологічні станції / Офіційний сайт – <http://hydro.meteo.gov.ua/>
5. Метод виявлення вагомих факторів, які впливають на розвиток паводку / Л.М. Заміховський, А.П. Олійник, Л.О. Штаєр, О.І. Клапоушак // X MEZINÁRODNÍ VĚ DECKO-PRAKTICKÁ KONFERENCE «MODERNÍ VYMOŽENOSTI VĚDY – 2014», 27 ledna - 05 unora 2014 roku (issue Díl 31), Praha Publishing House "Education and Science" s.r.o., pp: 76-78. ISBN 978-966-8736-05-6
6. Klapoushchak O.I. The calculation contingency of factor for predication level of floodwater / O.I. Klapoushchak, O.L. Zamikhovska // Science and Education: Materials of the international research and practice conference Vol. I. – Munich, Germany: Publishing office Vela Verlag Waldkraiburg, February 27th-28th, 2014. – pp. 236-238. ISBN 978-3941352-86-5

*Стаття надійшла до редакційної колегії 25.12.2014 р.*

*Рекомендовано до друку д.т.н., професором Семчуком Я.М.,  
д.т.н., професором Шкіцією Л.Є.*

---

**TO MATHEMATICAL PREDICTION OF FLOOD WATER****A. P. Oliinyk, O. I. Klapoushchak***Ivano-Frankivs'k National Technical University of Oil and Gas;**76019, Ivano-Frankivs'k, Carpathians str., 15;**e-mail: andrij-olijnyk@rambler.ru, oksana\_kl@meta.ua*

*The prediction of flood waters level has been made based on the Dniester and Tisza example for 2013 and 2014 taking to account the statistics from automatic hydrological stations using a mathematical model.*

**Key words:** *statistics, floodwaters, mathematical modelling, prediction.*