

УДК 556.06:556.505:627.515

к.т.н., доцент Шостак А.В.,
Верешко О.В., Луцький національний технічний університет
к.т.н. Волошин В.У., Волинський національний
університет імені Лесі Українки

МОДЕЛЮВАННЯ І ПРОГНОЗУВАННЯ РІВНІВ ВОДИ В ПАВОДКОВИЙ ПЕРІОД В МЕЖАХ М. ЛУЦЬКА

В статті розглянуто метод математичного моделювання зміни рівня води в паводковий період на р. Стир в межах м. Луцька. Запропонована модель дозволяє робити короткостроковий прогноз рівня води та дає можливість виявити очікувані паводки.

Ключові слова: паводок, рівень води, моделювання, апроксимація, тренд.

Вступ. Паводки і повені є характерними явищами для всіх річок України, водозбори яких характеризуються нерівномірністю випадання атмосферних опадів. Сила паводків значною мірою залежить від суми, інтенсивності і тривалості атмосферних опадів або запасу води у сніговому покриві та інтенсивності утворення талих вод [1].

Паводок – фаза гідрологічного режиму річки, яка характеризується швидким, відносно короткотривалим підвищенням рівня води в річищі під час сильних злив, тривалих дощів або інтенсивного танення снігу в період відлиги, на яке накладаються дощі. Паводки в Україні є звичайним природним явищем, що повторюється періодично. Однак у деяких випадках воно набуває ознак катастрофічних, тягне за собою руйнування дамб та будинків, загибель людей, значні матеріальні втрати [2], як це сталося у Закарпатті у листопаді 1998 року і повторилося у березні 2001. У зв'язку з потенційною небезпекою, що несе паводок, явище необхідно прогнозувати, а також оцінювати наслідки минулих подій з метою завчасної готовності до можливого лиха.

Частота формування паводків у багаторічному розрізі підпорядковується певним закономірностям, які проявляються у чергуванні періодів підвищеної та низької водності, що зумовлені глобальною атмосферою циркуляцією.

Актуальність дослідження. За висновками науковців Українського науково-дослідного гідрометеорологічного інституту не виключено повторення в наступні роки високих паводків на річках всього західного регіону України, що потрібно брати до уваги при виконанні заходів по захисту населення від негативних наслідків вод. Це до того ж диктує свої особливі вимоги до поведінки людей на побутовому рівні, потребує розробки та впровадження

рекомендацій і технологій подальшого функціонування господарського комплексу, самої концепції життя [3].

Територія Волинської області характеризується рівнинним рельєфом, що утруднює швидке проходження паводків і призводить до затоплення великих територій, в середньому один раз на 2-3 роки.

Господарська діяльність, яка здійснюється з порушенням екологічних норм, значно зменшила пропускну можливість річки Стир і цілого ряду її приток, що збільшило рівні води та час проходження паводків.

Основними причинами виникнення весняного паводку як природного стихійного явища (так само як і осіннього) є природні (гідрометеорологічні) фактори, прояв яких підсилений антропогенним навантаженням території. Тобто, катастрофічні наслідки, певною мірою, зумовлені активною господарською діяльністю упродовж останніх десятиліть. Посиленню негативних наслідків, їх катастрофічному прояву сприяє також розташування будов в зоні постійного затоплення, інтенсифікація схилового стоку.

Тож на сьогодні назріла гостра потреба у комплексному плануванні та здійсненні невідкладних протипаводкових заходів і впорядкуванні господарської діяльності на водозборах в регіонах, що найбільш зазнають руйнівної дії від повеней і паводків.

Результати дослідження. На основі статистичних даних Волинського обласного центру з гідрометеорології про максимальні рівні води на р. Стир в межах м. Луцька (табл. 1) нами проведено математичне моделювання коливання рівнів води у паводковий період в межах заплави м. Луцька.

Запропонована математична модель базується на основі побудови часткового ряду Фур'є [4] за дискретними значеннями рівнів води у паводковий період за 10 років.

Як показали модельні обчислення, характер коливання максимальних і мінімальних рівнів води у паводковий період кожного року апроксимується поліноміальною трендовою складовою виду:

$$H(t) = \sum_{i=0}^k a_i t^i, \quad (1)$$

де $H(t)$ – коливання рівня води р. Стир за роки спостереження; a – коефіцієнти поліноміального тренду; t – змінна часу.

Коефіцієнти поліноміального тренду нами визначались на основі методу найменших квадратів. Застосування способу найменших квадратів полягає в тому, що параметри a_i із формули (1) підбираються так, щоб сума всіх похибок від шуканої лінії тренду була найменшою, а саме, щоб сума:

$$H = \delta_1^2 + \delta_2^2 + \dots + \delta_n^2 \quad (2)$$

Таблиця 1

Екстремальні значення рівнів води у паводковий період р. Стир на посту спостережень м. Луцьк

Час спостережень (з 2000 року)	Фактичне значення , м	Час спостережень (з 2000 року)	Фактичне значення , м
22.01.2000	176,1	22.03.2006	175,6
20.02.2000	178,1	12.04.2006	178,5
04.03.2001	176,0	03.09.2006	177,1
02.04.2001	177,0	20.10.2006	175,7
02.09.2001	176,0	28.01.2007	175,6
10.10.2001	178,1	01.03.2007	177,3
20.01.2002	176,5	07.04.2008	175,7
13.02.2002	178,0	12.05.2008	177,1
10.03.2003	175,4	10.09.2008	175,7
24.03.2003	178,4	14.10.2008	177,9
09.04.2004	176,9	31.03.2009	177,6
29.04.2004	175,6	11.05.2009	176,2
01.03.2005	176,1	10.03.2010	176,1
01.04.2005	178,3	21.04.2010	177,6

була найменшою. Якщо ця сума буде найменшою, то очевидно і самі похибки теж будуть мінімальними за абсолютною величиною. Підставивши в (2) вираз для кожного екстремального значення рівня води р. Стир, яке спостерігалось за досліджуваний період:

$$\sum_{i=0}^k a_i t_j^i - h_j = \delta_j, j = 1..29,$$

одержимо таку функцію:

$$\sum_{j=1}^n (\sum_{i=0}^k a_i t_j^i - h_j)^2 \longrightarrow \min \quad (3)$$

де t_1, t_2, \dots, t_n – поточний час від початку спостережень (01.01.2000 р) для кожного дослідженого екстремального значення рівня води в паводковий період, h_1, h_2, \dots, h_n – рівні води на посту спостереження р. Стир в межах м. Луцька, а параметри a_i – невідомі коефіцієнти функції $H(t)$.

В результаті опрацювання вихідних матеріалів, ми прийшли до висновку, що трендову складову коливання максимальних і мінімальних рівнів води р. Стир у паводковий період достатньо подавати у вигляді поліному 1 степеня – лінійному вигляді. В процесі математичної обробки нами отримано трендову криву виду:

$$H(t) = -0.0268t + 176.93 \quad (4)$$

Графічне представлення коливання рівнів води в р. Стир у паводковий період з 2000 до 2010 рр. в межах м. Луцька та характер трендової кривої показано на рис. 1.

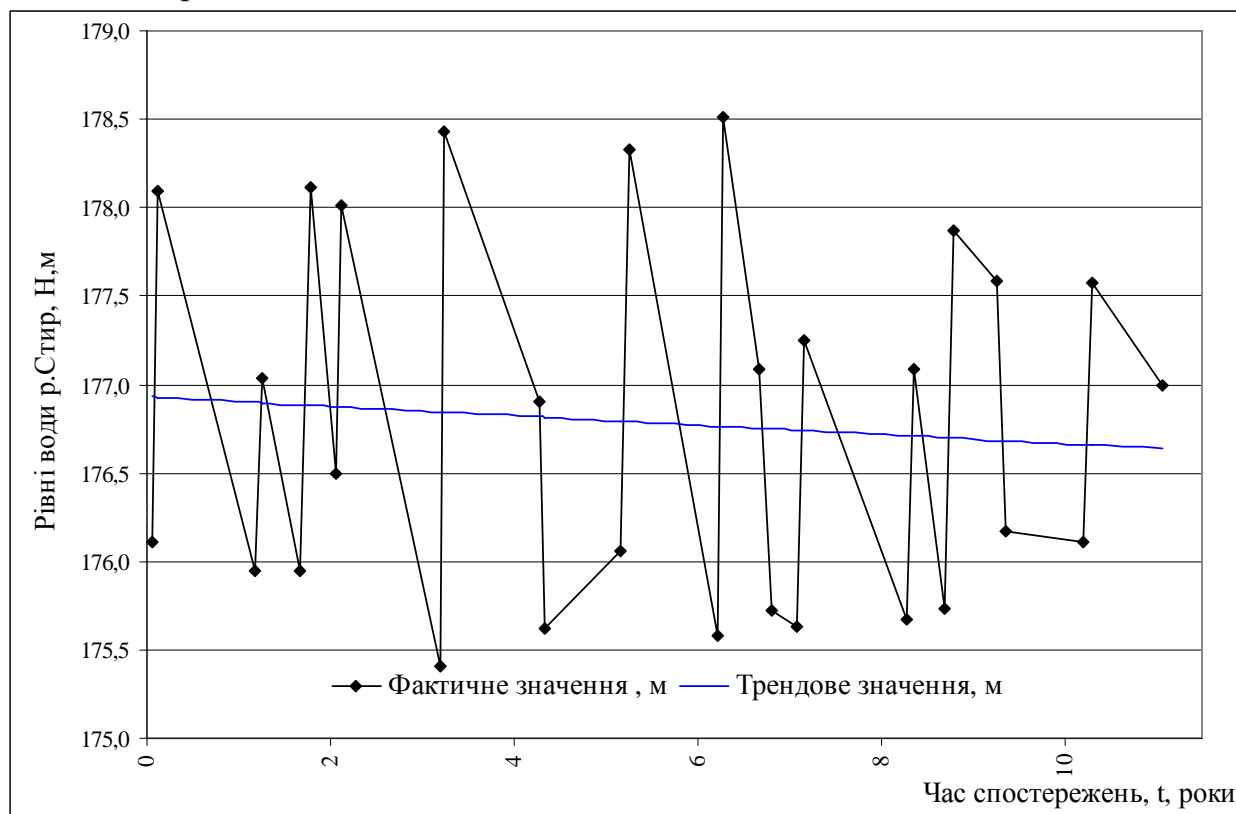


Рис. 1. Коливання рівнів води в р. Стир у паводковий період з 2000 до 2010 рр.

Для більш детального вивчення коливання рівнів води представимо відхилення результатів спостережень від значень, які одержали трендовою кривою (4), у вигляді кінцевого ряду Фур'є:

$$\bar{h}(t) = a_0 + \sum_{k=1}^{16} [a_k \cos(kt) + b_k \sin(kt)],$$

$$a_j = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (h_{i_\Phi} - h_{i_T}) \cos(jt), \quad b_j = \frac{2}{n} \sum_{i=1}^n (h_{i_\Phi} - h_{i_T}) \sin(jt), \quad (5)$$

$$a_0 = \frac{\sum_{i=1}^n (h_{i_\Phi} - h_{i_T})}{n}$$

де h_{i_Φ} – екстремальне значення рівня води в паводковий період,

h_{i_T} – значення рівня води в паводковий період, отримане з трендової

складової апроксимуючої функції за (4).

В рамках вище викладеного, математична модель коливання екстремальних значень рівнів води в р. Стир у паводковий період з 2000 до 2010 рр. матиме вигляд:

$$h(t) = H(t) + a_0 + \sum_{k=1}^{16} [a_k \cos(kt) + b_k \sin(kt)] \quad (6)$$

Коефіцієнти даної функції подано у табл. 2.

Таблиця 2

Коефіцієнти математичної моделі коливання екстремальних значень рівнів води в р. Стир у паводковий період з 2000 до 2010 рр.

Коефіцієнт	Значення	Коефіцієнт	Значення
a0	0,0005		
a1	0,0656	b1	0,0738
a2	0,0837	b2	0,0081
a3	-0,0857	b3	-0,2781
a4	0,1373	b4	0,0557
a5	0,0569	b5	0,0569
a6	0,1402	b6	0,2342
a7	-0,0453	b7	0,3794
a8	0,2197	b8	-0,1058
a9	-0,1367	b9	0,2197
a10	0,0982	b10	0,0761
a11	0,1089	b11	-0,0889
a12	-0,0993	b12	0,1306
a13	0,1610	b13	0,0521
a14	0,0361	b14	0,0561
a15	-0,0007	b15	-0,0387
a16	0,2439	b16	0,3579

Порівняльна характеристика коливання екстремальних значень рівнів води в р. Стир у паводковий період з 2000 до 2010 рр. показана на рис. 2. На основі порівняльного аналізу вихідних даних та даних математичної моделі (6) нами встановлено, що дана математична модель погано реагує на наявність двох і більше паводків в рік. В роки, коли на р. Стир спостерігався лише один паводок, точність визначення екстремальних рівнів води в паводковий період становить 10-30 см.

Для підтвердження коректності математичної моделі, нами взяте значення рівня води в р.Стир станом на 20.11.2010 року, коли в межах м. Луцька

спостерігався паводок. Різниця між фактичним та прогнозним значенням рівня води р. Стир в цей день становить 13 см.

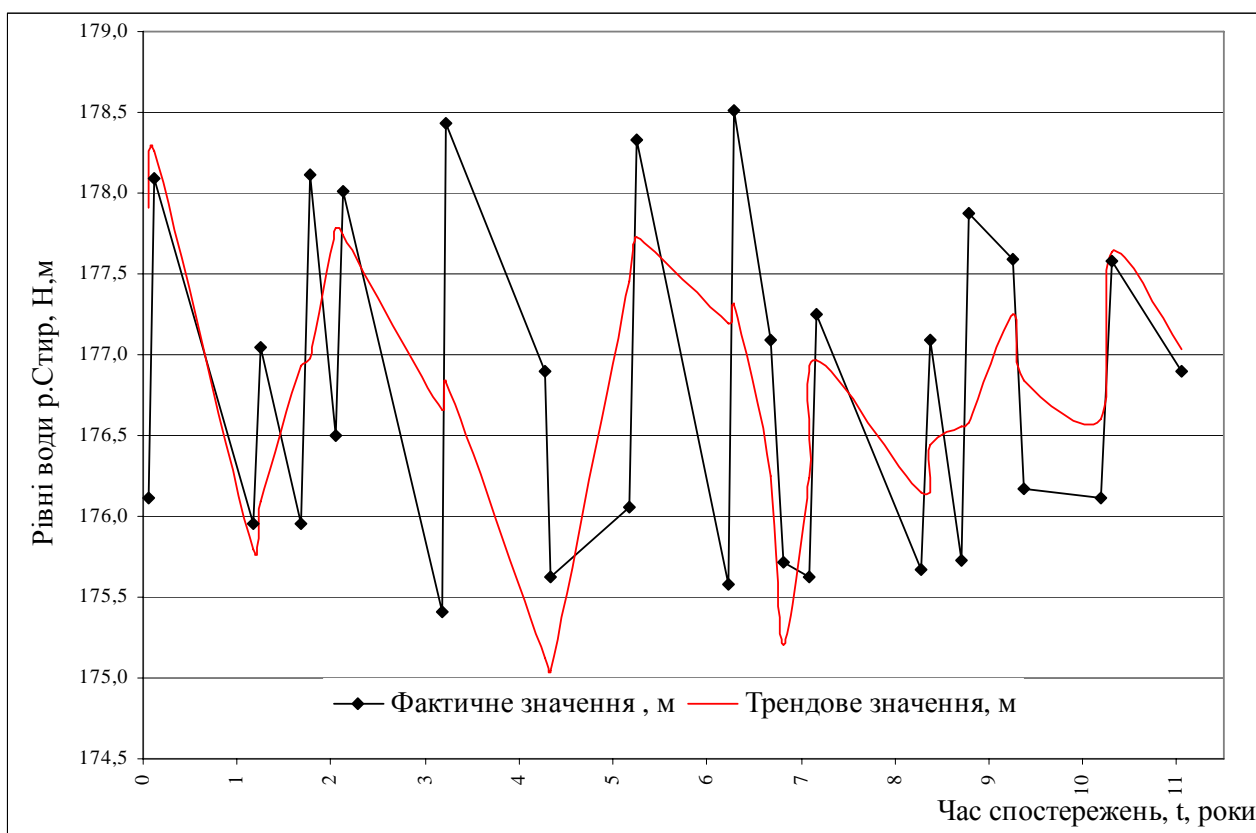


Рис. 2. Апроксимація екстремальних рівнів води р. Стир на посту спостережень м Луцьк за математичною моделлю.

Висновки. Одним із найважливіших протипаводкових заходів є поліпшення системи прогнозування та своєчасного попередження про можливі руйнівні паводки та повені. Досвід проведення протипаводкового захисту показав, що значних збитків можна уникнути або звести їх до мінімуму, своєчасно вживши заходів щодо попередження населення, органів державної виконавчої влади про час та розміри можливих затоплень.

Моделювання і прогнозування рівнів води річок на територіях інтенсивного використання земель, в тому числі, в межах населених пунктів, відіграє важливу роль для попередження надзвичайних ситуацій пов'язаних із затопленням та підтопленням земель.

Запропонована математична модель (6) екстремальних рівнів води р. Стир на посту спостережень м Луцьк може бути використана для короткострокового прогнозу зміни рівнів води у паводковий період.

Література

1. Ковальчук І. Регіональний еколого-геоморфологічний аналіз. – Львів: Інститут Українознавства, 1997. – 440 с.
2. Линник І.Е. Інженерна підготовка територій населених місць: Навчальний посібник.- Харків: ХДАМГ, 2003.- 337с.
3. Ромащенко М., Савчук Д. Водні стихії. Карпатські повені. Статистика, причини, регулювання. За ред.– Ромащенко М. – Київ, 2002, – 304 с.
4. В.А. Гриценко, Е.В. Белосевич, Е.К. Артищева. Математические методы в географии : Учебное пособие / Калинингр. ун-т. – Калининград, 1999. – 75 с.

Аннотация

В статье рассмотрен метод математического моделирования изменения уровней воды в паводковый период на р. Стырь в пределах г. Луцка. Предложенная модель разрешает делать короткострочный прогноз уровня воды и дает возможность предвидеть ожидающиеся паводки.

Ключевые слова: паводок, уровень воды, моделирование, аппроксимация, тренд.

Annotation

In the item the mathematical model approach of the water level change during the flood period in the Styr river in the lines of Lutsk is considered. The suggested model allows to make a short-term forecast of the water level and makes it possible to detect the expected floods.

Keywords: flood, water level, modeling, approximation, trend.