

УСТАНОВЛЕННЯ ДИНАМІКИ ЗРОСТАННЯ ВИТРАТ ВОДИ НА РІЧЦІ ПІД ЧАС КАТАСТРОФІЧНИХ ПОВЕНЕЙ

Показано метод установлення динаміки зростання витрат води на річці під час катастрофічних повеней, який ґрунтується на прогнозуванні розповсюдження максимальної витрати вздовж річки.

Вступ. Значна кількість зруйнованих мостових переходів в Закарпатській, Львівській та Івано-Франківській областях, які мають місце після катастрофічних повеней, свідчить про необхідність більш надійного визначення витрати води та прогнозування цього негативного явища, установлення динаміки розповсюдження повеневої хвилі та завчасного прийняття попереджувальних заходів.

Густина річкової мережі в Карпатах – найбільша на Україні. Тут вона досягає 2,0 км/км². Річки в Карпатах – це порівняно невеликі гірські потоки, що течуть серед крутих, часом уривистих берегів. Характерна ширина русел 3 – 5 м. На виході з гір ширина найбільших Карпатських річок у межінь сягає 30 – 35 м. Водночас глибина залишається порівняно невеликою – близько 1 м. Швидкість в межінь становить близько 1 м/с, а при паводках сягати 3 – 4 м/с. Наявність в Україні доволі великої кількості пунктів спостережень дозволяє характеризувати найважливіші закономірності стоку річок. Дуже важливим є установлення динаміки витрат води на річці під час катастрофічних повеней.

Існуючий стан проблеми. Як показали дослідження витрата води в річці зростає вниз за течією, оскільки в річку поступають все більші і більші маси води зі схилів водозборів і з притоків. Тому для установлення динаміки зростання витрат на будь-якій річці слід проаналізувати гідрографи води, починаючи з верхів'я і кінчаючи гирлом. Максимальні та мінімальні витрати можуть бути отримані з даних спостережень в минулі роки (табл.1).

Таблиця 1.

Основні характеристики стоку найважливіших річок

Річка-пункт	Від- стань від гир- ла, км	Площа басей- ну, км ²	Q _{сер.} , м ³ /с	Максимальна витрата		Мінімальна витрата	
				м ³ /с	дата	м ³ /с	дата
1	2	3	4	5	6	7	8
Зах.Буг – Літовиж	602	6740	30,3	216	5.06.80	6,21	1.12.88
Полтва – Буськ	0,2	1440	8,79	119	25.02.66	0,33	2.11.53
Рата – Межиріччя	3,5	1740	7,88	222	25.02.66	0,33	20.02.96
Дунай – Рені	163	811000	6470	16000	25.05.70	1280	28.10.21
Тиса – Вилок	808	9140	207	3650	14.05.70	10,4	17.02.64
Тересва –	54	572	18,5	469	14.12.57	0,40	14.01.72

Усть-Чорна							
Теребля – Колочава	58	369	14,3	330	29.10.92	0,75	23.12.62
Ріка – Міжгір'я	64	550	13,6	735	14.12.57	0,29	9.01.46
Боржава – Шаланки	32	1100	20,8	466	26.02.68	1,19	5.12.62
Латориця – Чоп	56	2870	35,0	653	27.02.68	2,66	20.11.63
Уж – Ужгород	33	1970	29,0	1680	14.12.57	0,50	24.10.47
							31.12.72
Сірет – Сторожинець	448	672	6,18	816	13.07.69	0,10	19.08.53
Дністер – Самбір	1270	850	10,6	702	8.05.89	0,050	26.12.51
Дністер – Галич	1117	14700	158	4040	18.07.48	6,53	23.01.58
Дністер – Заліщики	936	24600	225	8040	4.09.41	6,98	7.12.59
Стрий – Верхнє	78	2400	41,9	2610	9.06.69	1,56	17.11.84
Синьовидне							
Свіча – Зарічне	25	1280	22,6	1970	9.06.69	0,71	23.12.61
					22.07.74		
Лімниця – Перевозець	16	1490	23,2	1120	23.07.74	0,68	24.12.69
Золота Липа – Задарів	14	1390	8,50	115	13.06.57	0,42	8.07.61
Стрипа – Бучач	33	1270	6,82	192	4.04.69	1,02	6.02.64
Серет – Чортків	77	3170	12,6	313	5.04.56	0,23	2.07.60
Збруч – Завалля	22	3240	12,1	185	19.03.79	1,29	15.01.74
Смотрич – Цибулівка	21	1790	4,78	243	5.04.32	0,14	12.10.35
							11.11.35

Описуючи зміну „пиків” гідрографів вздовж річки за допомогою методів математичної статистики, отримуємо залежність між витратою води і часом добігання $Q = f(\tau)$ при максимальній швидкості течії, що дозволить установити максимальну витрату води на існуючому мостовому переході або ж в тому поперечнику річки, де планується запроєктувати міст. Із попередніх спостережень для даного січення річки визначають мінімальну витрату води, ширину русла ріки в межень та ширину затоплювання заплави під час повені. У випадку наявності захисних дамб біля обох берегів річки, ширина затоплювання заплави може прийматися рівною відстані між захисними спорудами. Підтвердженням наявності протипаводкових споруд є прийняття в 1994-2000р. Урядом України комплексної Програми проведення протипаводкових заходів на території чотирьох областей (Закарпатської, Львівської, Івано-Франківської та Чернівецької), де на десятках кілометрів збудовано захисні дамби, укріплено береги, виконано регулювання русел. Значним є обсяг ремонтних робіт на раніше споруджених об'єктах. На жаль, нестача коштів не дозволила здійснити реалізацію Програми у повному обсязі. Не дивлячись на наявність укріплювальних споруд, найбільш потенційно небезпечними ділянками, на річках Карпат зазвичай є місця розташування мостових переходів. На багатьох гірських річках практично повсюдним є збирання вище мостів решток дерев, сміття, що сприяє підйомам рівня води.

У випадку, коли відсутні захисні дамби, ширина затопленої заглибини на мостовому переході може бути установлена за даними спостережень за катастрофічними повеннями в минулі роки. Користуючись зазначеними даними та за допомогою отриманої залежності можна прогнозувати висоту затоплення мостового переходу або ж підняття в цьому місці рівня води.

Постановка задачі. Розглянемо приклад установлення динаміки зростання витрат води на річці Боржава (річка–пункт, Боржава–Шаланки)

Рівняння, яке описує динаміку зростання витрат води на річці Боржава має вигляд:

$$Q = a\tau^b, \quad (1)$$

де Q – витрата води в м³/с;

τ – час добігання, г;

a і b – невідомі постійні, які визначаються за формулами

$$\ln a = \frac{\sum \tau_i^2 \sum \lg Q_i - \sum \tau_i \sum (\tau_i \lg Q_i)}{n \sum \tau_i^2 - (\sum \tau_i)^2} \quad (2)$$

$$\ln b = \frac{n \sum \tau_i \lg Q_i - \sum \tau_i \sum \lg Q_i}{n \sum \tau_i^2 - (\sum \tau_i)^2} \quad (3)$$

Вирішення задачі. Послідовність обчислень розглянемо на прикладі (табл.2).

Таблиця 2.

Підрахунок зростання витрати води на річці Боржава (річка–пункт, Боржава–Шаланки)

№ п/п	τ_i	Q_i	$\lg Q_i$	$\tau_i \lg Q_i$	τ_i^2	$\lg Q_i'$	Q_i'	$Q_i - Q_i'$
1	2	3	4	5	6	7	8	9
1	0,98	10,0	1,00	0,98	0,9604	0,9726	9,389	0,61
2	1,96	50,5	1,699	3,33	3,8416	1,7654	58,2	8,2
3	2,94	380	2,5798	7,5846	8,6436	2,5582	361,6	1,9
Σ	5,88	440	5,2788	11,8946	13,448	5,2962	429,19	27,81

В стовбчик 2 занесені незалежні змінні значення τ_i , в стовбчик 3 – залежні Q_i . Отримавши логарифм, заповнюємо колонку 4. Перемножуючи значення стовбчиків 2 і 4, заповнюємо стовбчик 5. Підносячи до квадрату значення стовбчика 2, заповнюємо стовбчик 6. Підсумовуючи значення всіх стовбчиків, заповнюємо рядок суми і отримуємо, що $\Sigma \tau_i = 5,88$; $\Sigma Q_i = 440$; $\Sigma \lg Q_i = 5,2788$; $\Sigma \tau_i \lg Q_i = 11,8946$; $\Sigma \tau_i^2 = 13,448$.

Знайдені суми підставляємо у вирази (2) і (3)

$$\lg a = \frac{13,4456 \cdot 5,2788 - 5,88 \cdot 11,8946}{3 \cdot 13,4456 - 34,5744} = 0,1798;$$

$$\lg b = \frac{3 \cdot 11,8946 - 5,88 \cdot 5,2788}{3 \cdot 13,4456 - 34,5744} = 0,8090.$$

Звідси отримуємо, що $a = 1,513$; $b = 6,442$.

Шукане рівняння має вигляд:

$$Q = 1,513 \cdot 6,442^\tau \quad (4)$$

За отриманою формулою (4) визначаємо значення витрат води Q_i' , заповнюємо стовбчик 8 табл. 1.

За цими значеннями будемо графік вирівненої кривої, який поданий на рис.1. Подані приклади кривих і інших функцій:

$y = a + b \lg x$ для витрати $Q = a + b \lg \tau$,

$y' = ax^b$ для витрати $Q = a \tau^b$ та експериментальна ламана крива, що можуть бути використані для апроксимації цієї кривої, побудованої за натурними даними. Крім того, з цією метою, можуть бути використані не тільки наведені функції. Головна вимога полягає в тому, щоб вони добре описували натурні дані і відповідали критеріям відповідності.

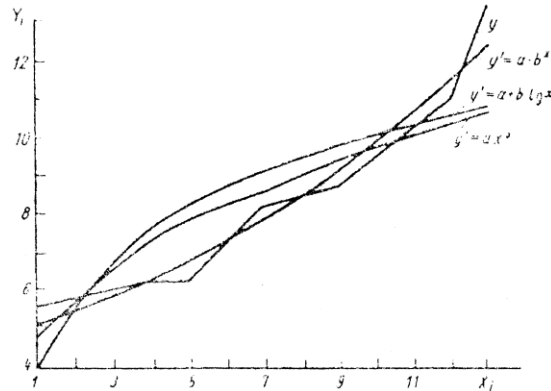


Рис. 1. Приклад апроксимування математичними залежностями експериментальної кривої

Таким чином, за допомогою комп'ютерного моделювання підбирається відповідний тип кривої (у розглянутому випадку $y' = ab^x$ для витрати $Q = a b^t$), який дозволяє достатньо надійно описати хід зміни величини витрати води по довжині річки, тобто з врахуванням часу добігання води t . Враховуючи той факт, що під час катастрофічної повені можна достатньо надійно і швидко визначити швидкість течії, в розглянутому прикладі $V_{\max} = 3$ м/с, установлюється відстань до поперечника річки, де знаходиться мостовий перехід і визначається величина витрати на даному січенні річки.

Знаходимо величину основної похибки. Для цього обчислюємо $(Q_i - Q'_i)^2$, заповнюємо стовбчик 9 і знаходимо $\Sigma(Q_i - Q'_i)^2 = 27,81$.

Основна похибка дорівнює:

$$\sigma_o = \sqrt{\frac{\Sigma(Q_i - Q'_i)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{10,811^2}{2}} = 7,66$$

Ця величина є рівномірною. Її можна вважати малою і признавати, що вирівнювання задовільне, якщо вона менше $0,1Q$. Середнє значення $Q = 146,6$, тоді похибка $7,66$ менша $0,1Q = 14,66$.

За зазначеною методикою, користуючись методами математичної статистики, установлюється залежність $Q = f(\tau)$ для кожної річки, де має місце мостовий перехід або ж планується його будівництво з метою установлення висоти затоплення під час катастрофічних повеней.

Висновки. Отримана методика дозволяє прогнозувати час появи повеневої хвилі установлення максимального рівня води, що спричиняє затоплення зон ризику. Які включають мостові переходи, автомобільні дороги, населені пункти, та прийняти відповідні заходи для попередження руйнувань і евакуації жителів.

Література

1. Боднарчук І.О., Боднарчук А.О. Визначення витрат води під час повені фотограмметричним методом // Вісник Транспортної академії України та Укр. трансп. ун-ту. 1998. Вип.2. С. 64-67