

**ПОБУДОВА НОРМАТИВНОЇ БАЗИ ДЛЯ РОЗРАХУНКУ
ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ**

Викладено недоліки діючої в Україні нормативної бази для розрахунку максимального стоку річок та запропоновано більш досконалу методику визначення його характеристик.

Діюча в Україні нормативна база в основному ґрунтується на використанні формул редуційного типу. Теоретичною основою для них є модель одномодалного паводка, яка реалізується у вигляді рівняння [3]:

$$q_m = \frac{q'_m}{1 + (t_p / T_o)} k_n k_m, \quad (1)$$

де q_m – розрахунковий модуль стоку;

q'_m – максимальний модуль схилового припливу, який відповідно до [4], становить:

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_o} Y_m, \quad (2)$$

де t_p – тривалість руслового добігання паводкової хвилі;

T_o – тривалість схилового припливу;

k_n і k_m – коефіцієнти, які обумовлені русло-заплавним регулюванням, причому

$$k_n = \frac{T_o + t_p}{T_n}, \quad (3)$$

а

$$k_m = \frac{m+1}{m} \bigg/ \frac{n+1}{n}; \quad (4)$$

$[(m+1)/m]/[(n+1)/n]$ – відповідно коефіцієнти нерівномірності руслового і схилового стоку;

T_n – тривалість паводка, або повені;

Y_m – шар стоку за паводок, або повінь.

У роботі [3] показано, що у випадку, коли вдається усереднити по території T_o , редуційні складові (1) можна інтегрально виразити через водозбірну площу F , а саме:

$$\frac{k_n k_m}{1 + (t_p / T_o)} = \frac{1}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (5)$$

Тоді вираз (1) набуде вигляду, що добре відомий в інженерній гідрології:

$$q_m = \frac{q'_m}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (6)$$

Параметр $[(n+1)/n] \cdot (1/T_o)$, виходячи зі (2), при малозмінній по території тривалості схилового припливу представляє собою коефіцієнт схилової трансформації k_o , тобто

$$k_o = \frac{n + 1}{n} \frac{1}{T_o}. \quad (7)$$

У попередньому нормативному документі СН 435-72 коефіцієнт k_o одержав назву “коефіцієнта дружності водопілля”, котрий був потім районований по географічних зонах, у межах яких він змінювався по категоріях рельєфу. Вважаємо що, обидва ці підходи виявилися не досить обґрунтованими, тому, мабуть, у СНіП 2.01.14-83 його укладачі запропонували використовувати відому в гідрології методологію підбору аналога. Але останній, у свою чергу, не має якихось кількісних визначень і не дозволяє однозначно вирішувати задачі, що пов’язані з розрахунками максимального стоку при відсутності рядів спостережень за стоком річок. З урахуванням (7) вихідне рівняння (1) запишеться у вигляді:

$$q_m = \frac{k_o Y_m}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (8)$$

Саме структура (8) у нормативних документах СН 435-72 і СНіП 2.01.14-83 використовується в якості базової при визначенні характеристик максимального стоку весняного водопілля на території колишнього Союзу.

Подальше спрощення (8), а, відповідно, й (1) можливе за умови усереднення по території не лише T_o , але і шару стоку Y_m , завдяки чому

$$q_m = \frac{A}{(F + 1)^{n_1}}, \quad (9)$$

де A – постійне для тієї чи іншої території значення модуля схилового припливу, який чисельно дорівнює:

$$A = q'_m = k_o Y_m. \quad (10)$$

Легко побачити, що (9) перетворюється у розрахункову формулу нормативних документів, яка використовується при визначенні максимальних витрат води на водозборах із площею $F > 200 \text{ км}^2$:

$$q_m = q_{200} \left(\frac{200}{F} \right)^{n_2}, \quad (11)$$

де q_{200} – модуль стоку, приведений до площі $F=200 \text{ км}^2$.

Співставлення (8), (9) і (11) дає змогу показати, що q_{200} є

$$q_{200} = \frac{k_o Y_m}{(200)^{n_1}} = \frac{A}{(200)^{n_1}}. \quad (12)$$

Таким чином, незалежно від походження максимального стоку, редуційні залежності (8) або (11) є частковими випадками формування паводків чи водопіль, оскільки вони відповідають умовам можливого усереднення тривалості припливу T_o (для водопіль) або тривалості T_o і шарів стоку Y_m одночасно (дощові паводки). Як свідчать наші дослідження, а також матеріали спостережень інших авторів тривалість сніготанення (а саме вона становить переважну частину T_o), багато в чому залежать від географічного положення водозборів, а значить не підлягає територіальному усередненню. Щоб переконатися в цьому, запишемо (6) у редакції:

$$(q_m / q'_m) = 1 / (F + 1)^{n_1}. \quad (13)$$

З урахуванням (5),

$$(q_m / q'_m) = (k_n k_m) / (1 + t_p / T_o) = 1 / (F + 1)^{n_1}. \quad (14)$$

Звідси

$$t_p = T_o [k_n k_m (F + 1)^{n_1} - 1]. \quad (15)$$

З (15) очевидно, що тотожність (5) виконується лише за умови сталої тривалості T_o по території, а останнє суперечить дійсності, про що було сказано вище. Швидше можна говорити про рідкісний виняток (15), ніж про існуючу просторову закономірність. Саме з цих міркувань автори статті вважають необґрунтованим подальше використання редуційних формул при нормуванні характеристик максимального стоку.

Слід зупинитися на відомій структурі формули сталої інтенсивності, яка в нормативних документах пропонується для використання її при розрахунках максимального стоку з невеликих водозборів ($F < 200 \text{ км}^2$) і має вигляд:

$$q_m = A_{1\%} H_d \eta, \quad (16)$$

де $A_{1\%} = \bar{\psi}(\tau)$ – ординати кривої редуції середньої за час τ інтенсивності опадів; H_d – добовий максимум опадів; η – коефіцієнт стоку.

Для більшості зливових паводків справедлива рівність:

$$Y_m = H_d \eta. \quad (17)$$

Тоді

$$q_m = \bar{\psi}(\tau) Y_m. \quad (18)$$

Помножимо чисельник і знаменник (18) на k_o , завдяки чому

$$q_m = q'_m \frac{n}{n+1} \bar{\psi}(\tau) T_o. \quad (19)$$

У (19) загальний коефіцієнт редукції q_m/q'_m дорівнює:

$$q_m / q'_m = \frac{n}{n+1} \bar{\psi}(\tau) T_o. \quad (20)$$

Оскільки верхнє граничне значення для q_m/q'_m повинне становити 1,0 при $t_p=0$, то

$$\frac{n+1}{n} \frac{1}{T_o} = \bar{\psi}(t_{cx}). \quad (21)$$

Таким чином, у формулі сталої інтенсивності не виправдано замість коефіцієнта схилової трансформації $[(n+1)/n] \cdot (1/T_o)$ використовуються усереднені за t_{cx} ординати кривих редукції опадів, нормовані по H_d . Дійсно,

$$\bar{\psi}(t_{cx}) = (\bar{a}_{t_{cx}}) / H_d, \quad (22)$$

де $\bar{a}_{t_{cx}}$ – найбільше середнє значення інтенсивності опадів за схиловий час добігання t_{cx} .

Більш теоретично обґрунтованими слід вважати формули, засновані на моделі руслових ізохрон. В Україні цей напрямок досить плідно розвивавсь у роботах А.В.Огієвського, В.І.Мокляка, П.Ф.Вишневського, А.М.Бефані та інших. Але при їхньому практичному застосуванні виявилось, що реалізувати запропоновані розрахункові формули досить складно через відсутність у достатній кількості вихідних даних, які не вимірюються взагалі сучасною гідрометеорологічною мережею. Здійснені спрощення, з метою можливого застосування базових структур, призвели деякі розрахункові схеми, по суті, до редукційних (або близьких до них). Зокрема, це стосується у першу чергу так званих формул “сталі інтенсивності” В.І.Мокляка і П.Ф.Вишневського. У розрахунковій схемі А.М.Бефані (1981) не зовсім відповідає дійсності теоретична модель русло-заплавного регулювання.

Авторами статті модель руслових ізохрон розглядається у її класичному вигляді, але посиляючись на дослідження А.М.Бефані [2], функції ізохрон, схилового припливу і русло-заплавного регулювання, стосовно визначення максимальних витрат води, прийняті в розгортці від

їхніх найбільших величин. Залежно від співвідношення між тривалостями схилового припливу T_o і руслового добігання t_p :

а) при $t_p < T_o$

$$q_m = \frac{Y_{t_p}}{t_p} k_1 \varepsilon; \quad (23)$$

б) при $t_p \geq T_o$

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} k_2 \varepsilon, \quad (24)$$

де Y_{t_p} – найбільше значення шару припливу за час добігання t_p ; k_1 і k_2 – гідрографічні коефіцієнти; ε – коефіцієнт русло-заплавного регулювання.

Базові рівняння (23) і (24) повністю збігаються у своїй загальній редакції з тими, що наведені в роботі А.М.Бефані [2]. Виходячи з редуційних графіків припливу і ізохрон, запишемо (23) і (24) у дещо іншій редакції, а саме [4]:

а) при $t_p < T_o$

$$q_m = q'_m \left[1 - \frac{m+1}{(n+1)(n+m+1)} \left(\frac{t_p}{T_o} \right)^n \right] \varepsilon; \quad (25)$$

б) при $t_p \geq T_o$

$$q_m = q'_m \frac{n}{n+1} \frac{T_o}{t_p} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(n+m+1)} \left(\frac{T_o}{t_p} \right)^m \right] \varepsilon, \quad (26)$$

де n і m – показники степеня в рівняннях редуційних графіків припливу і ізохрон. Методика визначення n і m наводиться в роботі [1]. Крім q'_m і ε , до правої частини (25) і (26) входять комбінації у вигляді співвідношень між t_p і T_o і параметри, які залежать від форм графіків припливу та ізохрон. Позначимо їх через $\psi(t_p/T_o)$ й назовемо функцією руслового розпластування, тобто

а) при $t_p < T_o$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_o}\right) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(n+m+1)} \left(\frac{t_p}{T_o} \right)^n; \quad (27)$$

б) при $t_p \geq T_o$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_o}\right) = \frac{n}{n+1} \frac{T_o}{t_p} \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(n+m+1)} \left(\frac{T_o}{t_p} \right)^m \right]. \quad (28)$$

Таким чином, у розрахунковому вигляді формулу максимального модуля можна представити в такій редакції:

$$q_m = q'_m \psi(t_p / T_o) \varepsilon. \quad (29)$$

Модуль схилового припливу q'_m описується рівнянням (2) і цілком залежить від характеристик графіків схилового припливу. Коефіцієнт русло-заплавного регулювання можна виразити з (29), оскільки

$$\varepsilon = \frac{q_m}{q'_m} / \psi(t_p / T_o). \quad (30)$$

Щодо складової загальної редукції q_m/q'_m , то її можна представити аналітично у вигляді функції (13) або таблицею $\varepsilon=f(F)$.

Автори вважають, що обґрунтована ними розрахункова схема може розглядатись як один із варіантів при підготовці в Україні нового нормативного документу для розрахунку максимального стоку річок. Тим паче, що методика перевірена і позитивно себе зарекомендувала на прикладі річок Карпат (дошові паводки) та півдня України (весняне водопілля).

* *

Изложены недостатки действующей в Украине нормативной базы по расчетам максимального стока рек и предложена более совершенная методика определения его характеристик.

* *

1. Андреевская Г.М., Гонченко Е.Д., Овчарук В.А. О форме графиков притока воды со склонов в русловую сеть // Метеорология, климатология и гидрология, 1996. – Вып.33. – С. 106-118.
2. Бефани А.Н., Бефани Н.Ф., Гонченко Е.Д. Региональные модели формирования паводочного стока на территории СССР. – Обнинск, 1981. – Вып.2. – 60 с.
3. Гонченко Е.Д., Гушля А.В. Гидрология с основами мелиорации. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 303 с.
4. Гонченко Е.Д., Романчук М.Е. Математическая модель для расчета характеристик экстремально высоких паводков и половодий на территории Придунайских озер // Метеорологія, кліматологія та гідрологія. – Вип.42, - 2001. – С. 39-50.