

УДК 556.166

Гопченко Є.Д., д.геогр.н., Овчарук В.А., к.геогр.н., Романчук М.Є., к.г.н.,

Бурлуцька М.Е., к.геогр.н.

Одеський державний екологічний університет

ОПТИМІЗАЦІЯ ПАРАМЕТРІВ РОЗРАХУНКОВИХ ФОРМУЛ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ, ЗАСНОВАНИХ НА ГЕОМЕТРИЧНИХ МОДЕЛЯХ ГІДРОГРАФІВ ДОЦОВИХ ПАВОДКІВ І ВЕСНЯНИХ ВОДОПІЛЬ ТА НА МЕТОДІ РУСЛОВИХ ІЗОХРОН

В статті розглядаються науково-методичні підходи, які стосуються удосконалення параметрів формул максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль.

Ключові слова: дощові паводки, весняне водопілля, максимальний стік, тривалість схилового припливу, русло-заплавне зарегулювання.

Вступ. Нормативна база в галузі розрахунку максимального стоку. Для розрахунку характеристик максимального стоку річок запропоновано значну кількість формул різної структури. У відповідності з [1], їх можна об'єднати у дві групи. До першої відносяться формули, засновані на геометричній схематизації схилових і руслових гідрографів (редукційні й об'ємні формули). Другу групу складають розрахункові схеми, що ґрунтуються на теорії руслових ізохрон (так звані генетичні формули і граничної інтенсивності). Для нормування розрахункових характеристик весняного водопілля в країнах колишнього Радянського Союзу використовувався варіант редукційної формули вигляду

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F + 1)^{n_1}}, \quad (1)$$

де q_m – максимальний модуль стоку весняного водопілля;

k_0 – коефіцієнт «дружності» весняного водопілля;

Y_m – шар стоку за період водопілля.

Визначений оберненим шляхом із (1) параметр k_0 в СН 435-72 [2] узагальнювався шляхом його районування по природних зонах (А – тундра і лісова зони; Б – лісостепова і степова зони; В – зона посушливих степів і напівпустель) і категоріях рельєфу (І,ІІ,ІІІ). Віднесення до тієї чи іншої категорії рельєфу здійснюється за критерієм α :

$$\alpha = I / I_m, \quad (2)$$

де I – середньозважений уклон головного водотоку;

I_m – типовий уклон

$$I_m = \Delta I / (F + 1)^{0,5}. \quad (3)$$

Для рівнинної території ЄТС $\Delta I \approx 25$. При $\alpha > 1,0$ басейн відноситься до першої категорії, при $\alpha = 1,0 - 0,5$ – до другої і при $\alpha < 0,5$ – до третьої.

Розбіжності в k_0 по категоріях I і III сягають до 50 %.

У роботі [1], де аналізується структура редуційних формул, доведено, що

$$k_0 = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0}, \quad (4)$$

де $\frac{n+1}{n}$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу;

T_0 – тривалість схилового припливу за період весняного водопілля.

В (4) просторовою стійкістю відрізняється лише $(n+1)/n$, а T_0 – залежить головним чином від географічного положення водозборів, їх висоти, залісеності і заболоченості. Тому методика СН 435-72, на наш погляд, була не досить раціонально спрощена.

Мабуть саме з таких міркувань виходили свого часу законодавці в області нормування розрахункових характеристик гідрологічного режиму річок, коли було запроваджено СНіП 2.01.14.83 [3]. Головна відмінність, порівняно з попереднім варіантом полягала не стільки у самій структурі (1), скільки у нормуванні коефіцієнта «дружності» весняного водопілля k_0 . Але нам здається, що використання методу аналогії для встановлення k_0 вряд чи може бути надійним методичним прийомом, маючи не досить густу мережу гідрологічних постів.

Таким чином, коефіцієнт схилової трансформації (за нашою термінологією) k_0 залишається все ще проблемним, з точки зору його нормування по території.

Більш простий варіант редуційних формул, а ніж (1), має вигляд

- при $F > 200 \text{ км}^2$

$$q_m = q_{200} \left(\frac{200}{F} \right)^{n_1}, \quad (5)$$

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

Узагальнення по території q_{200} у вигляді карти ізоліній, на наш погляд, є не досить коректним методичним підходом.

Теоретично, за тією ж самою методологією, яка використана при обґрунтуванні (1), для дощових паводків і весняних водопіль можна записати таким чином

- при $F < F_0$

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F+1)^{n_1}}, \quad (6)$$

- при $F \geq F_0$ (якщо редуція відношення $\frac{q_m}{Y_m}$ розрізняється на водозборах з площею $F < F_0$ і $F \geq F_0$)

$$q_m = q_{F_0} \left(\frac{F_0}{F} \right)^{n_2}, \quad (7)$$

q_{F_0} – максимальний модуль паводкового стоку, приведений до умовної площі F_0 .

З аналізу (6) і (5) очевидно, що вряд чи k_0 , а тим більш q_{F_0} можна відобразити за допомогою карт ізоліній, оскільки дощові опади відрізняються порівняно незначною площею зрошення і вираженою редукцією шару опадів від центрів дощів до їх периферії.

Якщо ж розглядати не часткові варіанти (різного рівня спрощення) редукційних формул, у тому числі й нормативні документи, то теоретичним для них є базове рівняння, узагальнююче геометричне моделювання гідрографів схилового і руслового стоку у вигляді одноmodalних нелінійних трикутників [1]

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{1 + \frac{t_p}{T_0}} k_m k_n, \quad (8)$$

де t_p – тривалість руслового добігання паводкових і повеневих хвиль;

T_0 – тривалість схилового припливу під час паводків або водопіль;

$$k_m = \frac{\frac{m_1 + 1}{m_1}}{\frac{n + 1}{n}} - \text{коефіцієнт трансформації гідрографів стоку;}$$

$\frac{m_1 + 1}{m_1}$ – коефіцієнт часової нерівномірності руслового стоку;

$\frac{n + 1}{n}$ – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу;

$$k_n = \frac{T_0 + t_p}{T_n} - \text{коефіцієнт русло-заплавного зарегулювання максимального стоку.}$$

З числа параметрів формули (8) не вимірюються: тривалість схилового припливу T_0 і коефіцієнти русло-заплавного зарегулювання, що є проблемою не лише базової структури, але й її спрощених варіантів (5) і (6).

Заслуговують на увагу і формули об'ємного типу, які також відносяться до першої групи розрахункових схем. У загальному вигляді їх можна представити в редакції

$$q_m = \frac{m_1 + 1}{m_1} \frac{Y_m}{T_n}, \quad (9)$$

де T_n – тривалість паводків чи водопіль.

Виходячи з (9), здається, що її досить просто можна реалізувати на практиці. Але це зовсім не так. Справа в тім, що тривалість паводків і водопіль є досить комплексним параметром, складові якого пов'язані як з басейновими, так і з морфометричними характеристиками гідрографічної мережі. Запишемо у першому наближенні структуру T_n таким чином

$$T_n = T_0 + t_p + \Delta t, \quad (10)$$

де Δt – ємність русло-заплавного зарегулювання паводків і водопіль.

Як видно, до рівняння (9) номінально входить не одне невідоме, а два – тривалість схилового припливу T_0 і ємність русло-заплавного регулювання Δt . Для приведення (9) до більш універсального вигляду здійснимо в ньому деякі перетворення, наприклад, помноживши чисельник і знаменник (9) на k_0 – у редукції (4)

$$q_m = \frac{m_1 + 1}{m_1} \frac{k_0 Y_m \frac{T_0}{T_n}}{\frac{n+1}{n}}, \quad (11)$$

де k_m – коефіцієнт трансформації форми гідрографів;

$$\frac{T_0}{T_n} = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0} + \frac{\Delta t}{T_0}} = k_n \text{ – коефіцієнт русло-заплавного зарегулювання паводків і водопіль.}$$

З урахуванням цих позначень (11) набуде вигляду

$$q_m = k_0 Y_m k_m k_n. \quad (12)$$

Очевидно, що до числа невідомих у формулі (12) відносяться й коефіцієнт схилової трансформації паводків і водопіль k_0 , який залежить від тривалості схилового припливу T_0 , і коефіцієнт русло-заплавного зарегулювання максимальних витрат (модулів стоку) води k_n .

Найбільш відомими серед формул, заснованих на теорії руслових ізохрон, які набули практичного застосування, є розрахункові методики А.М. Бефані і його учнів [4,5]. Запропонована ним формула має вигляд

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} \varphi k_2 k_F, \quad (13)$$

де φ – так званий коефіцієнт діючого шару стоку, що формує максимальну витрату води паводка або водопілля

$$\varphi = \frac{\int_0^{t_p} q'_t dt}{T_0 \int_0^{t_p} q'_t dt}; \quad (14)$$

k_2 – гідрографічний коефіцієнт, причому

- при $t_p/T_0 < 1,0$

$$k_2 = \frac{\int_0^{t_p} q'_t B_t dt}{B_{cp} \int_0^{t_p} q'_t dt}; \quad (15)$$

- при $t_p/T_0 \geq 1,0$

$$k_2 = \frac{\int_0^{T_0} q'_t B_t dt}{B_{cp} \int_0^{T_0} q'_t dt}; \quad (16)$$

q'_t – функція схилового припливу води до руслової мережі під час дощового паводка або водопілля;

B_t – функція ізохрон руслового добігання;

B_{cp} – середня ширина водозборів по ізохронах руслового добігання.

Реалізація (13) ускладнюється відсутністю даних спостережень за характеристиками схилового припливу, зокрема, за тривалістю T_0 , необхідною для визначення функції φ і гідрографічних коефіцієнтів k_2 , а також за русло-заплавним регулюванням паводків і водопіль ξ_F .

В останні роки до розрахункової практики увійшли так звані формули операторного типу [5]

$$q_m = q'_m \psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) \xi_F, \quad (17)$$

де q'_m – максимальний модуль схилового припливу

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m; \quad (18)$$

$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ – функція трансформації, зумовлена тривалістю руслового добігання:

- - при $t_p/T_0 < 1,0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n; \quad (19)$$

- при $\frac{t_p}{T_0} \geq 1,0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \left[\frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p}\right)^m \right] \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p}; \quad (20)$$

m – степеневий показник у рівнянні функції ізохрон;

ξ_F – коефіцієнт, зумовлений русло-заплавним регулюванням.

Необхідно зауважити, що формули (13) і (17) досить повно описують процеси формування дощових паводків і весняних водопіль у трансформаційній послідовності «схилловий приплив – русловий стік», але можливості їх обмежені через відсутність параметрів T_0 і k_F (або ξ_F).

Шляхи удосконалення розрахункових формул максимального стоку. Наведений аналіз структури сучасних формул максимального стоку паводків і водопіль свідчить про те, що можливості покращення розрахунково-нормативної бази не реалізуються головним чином через відсутність спостережень за схилловим стоком і ефектами русло-заплавного зарегулювання. Вирішити проблему можна шляхом організації мережі спостережень за цими характеристиками, але виходячи з економічних міркувань, такий підхід є недоцільним. Дослідники в області гідрології, розуміючи такі практичні обмеженості, запропонували методичні підходи, засновані на вирішенні обернених задач в структурі базових рівнянь, теоретично обґрунтованих на основі формалізації паводків і водопіль за моделями геометричної схематизації їх гідрографів та ізохрон руслового добігання. Алгоритм вирішення обернених задач передбачає використання двох етапів наближення. На першому вважається, що коефіцієнт русло-заплавного регулювання береться на рівні одиниці (верхнє фізичне його значення). При цьому встановлені тривалості T_0 будуть завищеними, оскільки коефіцієнти русло-заплавного зарегулювання $(k_n, k_F, \xi_F) \leq 1,0$. Тому наприкінці першого етапу наближення будуються регіональні залежності T_0 від розміру водозборів. Потім проводиться лінія тренду, а її екстраполяція на вісь ординат, тобто при $F=0$, є осередненим значенням для T_0 розглядуваної сукупності даних – параметром T_0' . На другому етапі (і також оберненим шляхом), використовуючи T_0' , встановлюються пошукові значення коефіцієнтів русло-заплавного зарегулювання, наприклад, ξ_F у структурі формули (17). За бажанням, таку процедуру можна здійснити й в інших формулах максимального стоку. Тепер ці дані використовуються для побудування залежностей типу $\xi_F = f \lg(F+1)$. Лінія зв'язку проводиться через верхнє фізичне значення $\xi_F = 1,0$ (при $F=0$) і має спадний характер. Рівняння для таких залежностей доцільно брати у формі:

$$\xi_F = e^{-a \lg(F+1)}. \quad (21)$$

З використанням (21) можна встановити індивідуальні величини коефіцієнтів русло-заплавного зарегулювання (у нашому прикладі ξ_F) і в тій чи іншій структурі

розрахункових формул обчислити фінальні значення тривалості схилового припливу T_0 . У подальшому їх, за звичай, піддають просторовому узагальненню з урахуванням географічного положення водозборів і низки місцевих факторів стоку, серед яких найбільш впливовими вважаються: висота водозборів, наявність лісів, боліт, карсту й ін.

Застосована методологія вирішення оберненої задачі (відносно тривалості припливу T_0 і коефіцієнта русло-заплавного регулювання максимального стоку) в структурах формул, оснований на моделях руслових ізохрон, орієнтована на середню регіональну тривалість схилового припливу, з одного боку, а з іншого, про що свідчать численні дослідження, сама тривалість T_0 залежить від географічного положення об'єктів. Використана, таким чином, залежності коефіцієнтів русло-заплавного регулювання, орієнтованих лише на осереднену регіональну тривалість припливу, буде призводити до систематичних похибок у фінальних значеннях T_0 при застосуванні обчислювальних процедур.

Щоб усунути такі системні похибки, рекомендується методичний підхід, спрямований на уточнення коефіцієнтів русло-заплавного регулювання (у нашому прикладі – ξ_F).

З цією метою за визначеною у процесі виконання обчислювальних процедур формулою (21) розраховуються коефіцієнти ξ_F , а потім і коефіцієнти приведення k'_F , причому

$$k'_F = \frac{(\xi_F)_\phi}{(\xi_F)_{\text{роз}}}, \quad (22)$$

де $(\xi_F)_\phi$ – величини коефіцієнтів русло-заплавного регулювання, встановлені оберненим шляхом;

$(\xi_F)_{\text{роз}}$ – величини коефіцієнтів русло-заплавного регулювання, розраховані за рівнянням (21).

Оскільки T_0 залежить від географічного положення об'єктів (у першу чергу це відноситься до весняних водопіль на рівнинних річках), то слід очікувати наявності зумовленості k'_F широтним положенням водозборів вигляду

$$k'_F = k_{\varphi=\varphi_0} + \alpha(\varphi - \varphi_0), \quad (23)$$

де φ^0 півн.ш. – широта геометричних центрів водозборів, град. півн.ш.;

φ_0 – умовна широта приведення k'_F .

Беручи до уваги (23),

$$\xi_F = (\xi_F)_{\text{роз}} \cdot k'_F. \quad (24)$$

Індивідуальні значення ξ_F у запропонованій обчислювальній схемі для встановлення тривалості схилового припливу T_0 і коефіцієнтів русло-заплавного

зарегулювання (наприклад, ξ_F), таким чином, будуть використовуватися на прикінцевому етапі. Після цього T_0 піддаються просторовому узагальненню.

Висновки. При вирішенні обернених задач в структурі сучасних розрахункових методик для встановлення невимірюваних тривалостей схилового припливу паводків і водопіль, а також коефіцієнтів русло-заплавного їх зарегулювання рекомендується на одному з етапів обчислювальних процедур здійснювати уточнення коефіцієнтів русло-заплавного зарегулювання з урахуванням географічного положення річкових водозборів.

У свою чергу такий методичний підхід буде сприяти підвищенню надійності розрахункових тривалостей схилового припливу T_0 , визначених оберненим шляхом.

Література

1. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках. – Киев.: КНТ, 2005. – 148 с.
2. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 111 с.
3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 447 с.
4. Бефани А.Н. Основы теории липневого стока // Тр. ОГМИ. – 1958. – ч. 2. – Вып. XIV. – 305 с.
5. Бефани А.Н., Бефани Н.Ф., Гопченко Е.Д. Региональные модели формирования стока на территории СССР // Обнинск. – 1981. – Вып.2. – 60 с.

Оптимизация параметров расчетных формул максимального стока, основанных на геометрических моделях гидрографов дождевых паводков и весенних половодий и на методе русловых изохрон. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А., Романчук М.Е., Бурлуцкая М.Э.

В статье рассматриваются научно-методические подходы, относительно усовершенствования параметров формул максимального стока дождевых паводков и весенних половодий.

Ключевые слова: дождевые паводки, весеннее половодье, максимальный сток, продолжительность склонового потока, русло-пойменное регулирование.

Optimization of parameters of calculation formula of maximum flow based on geometrical models of storm hydrographs of floods, spring floods and on the method of isochronous channel. Gopchenko E.D., Ovcharuk V.A., Romanchuk M.E., Burluckaya M.E.

In the article considers the scientific and methodological approaches to the improvement of parameters formulas of maximum runoff of rain and floods of spring floods.

Keywords: rain flood, spring flood, maximum flow, the length of overland inflow, channel-floodplain regulation.