

**ВИКОРИСТАННЯ ФОРМУЛ ОБ'ЄМНОГО ТИПУ ДО НОРМУВАННЯ
РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ РІЧОК**

Розглядаються науково-методичні підходи щодо використання структури об'ємних формул для нормування розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля і дощових паводків.

Ключові слова: весняне водопілля, дощові паводки, геометричні моделі формування стоку.

Вступ. Як відомо, в Україні до цього часу при визначенні розрахункових характеристик дощових паводків і весняних водопіль різної ймовірності перевищення використовується нормативна база, розроблена ще у 1983 році Держбудом СРСР. У чисельних публікаціях науковців в області гідрології неодноразово зверталась увага на те, що теоретична база, застосована при розробці діючого поки що в Україні нормативного документу СНіП 2.01.14-83 [1], є неоптимальною, а тому вдосконалення розрахунків максимальних витрат води на річках потребує, перш за все, саме обґрунтування теоретичної бази, на основі якої буде складатись новий державний норматив. Метою роботи є розробка варіанту нормативної бази в галузі розрахунку характеристик максимального стоку

Сучасний стан проблеми

За класифікацією [2], науково-методичну базу з розрахунків характеристик максимального стоку річок можна поділити умовно на такі групи:

1. Формули, засновані на геометричних моделях паводків і водопіль схилового і руслового стоку (або тільки руслового).
2. Формули, що спираються на теорію руслових ізохрон.

У геометричних моделях зручно скористатись не звичайними гідрографами стоку, а їх редуційними модифікаціями. У такому випадку вони будуть описуватись рівняннями:

а) схиловий гідрограф

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right]; \quad (1)$$

б) русловий гідрограф

$$q_t = q_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_n} \right)^m \right], \quad (2)$$

де q'_m і q_m максимальні модулі схилового і руслового гідрографів паводків і водопіль; T_0 - тривалість схилового припливу; T_n - тривалість паводків чи водопіль;

Проінтегруємо (1) і (2) відповідно по T_0 і T_n , тоді:

а) для схилового стоку

$$Y'_m = \int_0^{T_0} q'_t dt = \frac{n}{n+1} T_0 q'_m; \quad (3)$$

б) для руслового стоку

$$Y_m = \int_0^T q_t dt = \frac{m}{m+1} T_n q_m \quad (4)$$

Беручи до уваги, що втрати припливу води зі схилів у руслову мережу незначні, то $Y'_m = Y_m$, а

$$q_m = \frac{m+1}{m} \frac{q'_m T_0}{\frac{n+1}{n} T_n} \quad (5)$$

де $\frac{m+1}{m}$ - коефіцієнт часової нерівномірності руслового стоку; $\frac{n+1}{n}$ - коефіцієнт часової нерівномірності схилового стоку.

З урахуванням (3) і (4)

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m \quad (6)$$

Підставимо (6) у (5), тоді

$$q_m = \frac{m+1}{m} \frac{Y_m}{T_n} \quad (7)$$

Вираз (7) слід віднести до класичних рівнянь формул об'ємного типу. До цієї ж структури можна дійти, якщо розглядати геометрію редуційного гідрографа тільки руслового стоку. Дійсно, з (4) випливає рівняння, яке точно співпадає з (7). Значного поширення в інженерній гідрології набула дещо інша вихідна модель при обґрунтуванні розрахункової формули відносно q_m . В ній гідрограф руслового стоку представляється у вигляді нелінійного одноmodalного трикутника, утвореного перетином біля вершини гілок підйому і спаду стоку [3]. За такої схематизації

$$q_m = \frac{Y_m}{T_n} (1 + \gamma) f \quad (8)$$

де $\gamma = \frac{t_{cn}}{t_n}$ - відношення тривалостей спаду (t_{cn}) і підйому (t_n); f - коефіцієнт,

який залежить від форми кривих підйому і спаду, а також співвідношення $\gamma = \frac{t_{cn}}{t_n}$,

оскільки

$$f = \frac{(m'+1)(n'+1)}{(n'+1) + \gamma(m'+1)} \quad (9)$$

m' і n' - показники степеня у рівняннях підйому і спаду гідрографів стоку.

Порівняння структур (7) і (8) свідчить про їх відповідність, бо $(1 + \gamma)f$ у формулі Д.Л. Соколовського [3] співпадає з $\frac{m+1}{m}$ - у структурі (7).

Формули, засновані на геометричних моделях у спрощеному варіанті, на практиці зазвичай зводяться до редуційних структур і дуже рідко використовуються об'ємні розрахункові схеми. Найбільш відомими і поширеними в інженерній гідрології серед методик, заснованих на теорії руслових ізохрон, є моделі, свого часу запропоновані А.М. Бефані, А.В. Огієвським, Й.А. Железняком, П.Ф. Вишневським, В.І. Мокляком й ін. Не зупиняючись на авторських розробках, зауважимо лише, що у розрахункових побудованнях зроблені деякі припущення, які не можна вважати оптимальними.

Запропонована методика. Реалізувати (7) і (8) досить складно, особливо

останнє рівняння. Труднощі в обох варіантах базових структур пов'язані, перш за все, з необхідністю визначення і подальшого нормування тривалості T_n . Крім того, у (8) невідомим є також t_{cn} і t_n , з одного боку, та показники степеня n' і m' кривих спаду (t_{cn}) і підйому (t_n), з іншого. Необхідно зауважити, що T_n фактично є комплексним параметром ступеня трансформації паводків і водопіль як на схилах, так і в русловій мережі. Зокрема, теоретично

$$T_n = T_0 + t_p + \Delta t = T_0 \left(1 + \frac{t_p}{T_0} + \frac{\Delta t}{T_0} \right), \quad (10)$$

де t_p - тривалість руслового добігання паводкових і повеневих хвиль; Δt - час спорожнення русло – заплавних ємностей.

Таким чином, у (10) відношення $\frac{t_p}{T_0}$ характеризує розпластування паводків і водопіль під впливом руслового добігання t_p , а $\frac{\Delta t}{T_0}$ - їх трансформацію завдяки русло – заплавному регулюванню. Серед складових рівняння (10) відсутні зовсім експериментальні матеріали по Δt , а тому обґрунтувати об'єм регулювання у межах окремих водозборів Δt практично неможливо. Правда, є позитивний досвід використання структури (7) для нормування розрахункових характеристик весняних водопіль на території Західного Сибіру [4].

З метою реалізації (7) чисельник і знаменник в ньому домножуються на $(T_0 + t_p)$, тоді

$$q_m = \frac{m+1}{m} \frac{Y_m}{T_0 + t_p} k_n, \quad (11)$$

$$\text{де } k_n = \frac{T_0 + t_p}{T_n} = \frac{1}{1 + \frac{(t_p + \Delta t)}{(T_0 + t_p)}} \leq 1.0 - \text{ комплексний параметр русло – заплавної}$$

трансформації паводків або водопіль.

Вирішується (11) в декілька етапів. На першому з них k_n береться на рівні одиниці, що фізично відповідає умовам відсутності русло – заплавної регулювання і розпластування під впливом добігання паводкових чи повеневих хвиль. Обмеження щодо k_n дають змогу з структури (11) виразити T_0 , причому

$$T_0 = \frac{m+1}{m} \frac{Y_m}{q_m} - t_p. \quad (12)$$

Зрозуміло, що всі значення T_0 , розраховані за такою схемою, враховуючи, що $k_n \leq 1.0$, будуть завищеними, окрім випадку, коли площа водозбору $F \rightarrow 0$. Побудова залежності T_0 (першого наближення) від розподілу водозборів надає змогу визначення регіонального середнього значення тривалості схилового припливу T'_0 (як відрізок на осі ординат залежності $T_0 = f[g(F+1)]$ при $F=0$). Використовуючи T'_0 , досить просто з (11) виразити k_n

$$k_n = \frac{m}{m+1} \frac{q_m}{Y_m} (T'_0 + t_p). \quad (13)$$

Тепер є можливість побудувати залежність збірний коефіцієнт русло – заплавного регулювання і розпластування k_n від розміру водозборів.

Як правило, при дослідженнях максимального стоку виникають проблеми просторового узагальнення деяких розрахункових параметрів, головним чином, через відсутність спостережень на великих водозборах. Запропонована методика стосовно коефіцієнта k_n позбавлена цього недоліку, оскільки теоретично при $F \rightarrow 0$ він дорівнює одиниці, виходячи з фізичних умов його існування. Іншими словами, емпіричні залежності $k_n = f[lg(F + 1)]$ повинні не лише відповідати спостереженим значенням, але й обов'язково у верхній частині проходити через точку $k_n = 1.0$ при $F = 0$.

Спираючись за обґрунтовану залежність $k_n = f[lg(F + 1)]$ та рівняння (11), визначаються розрахункові величини T_0 у другому наближенні, тобто

$$T_0 = \frac{m + 1}{m} \frac{Y_m}{q_m} k_n - t_p. \quad (14)$$

Визначені таким чином фінальні значення тривалості схилового припливу T_0 підлягають дослідженню на їх зумовленість місцевими чинниками (залісеністю та заболоченістю водозборів, карстом). Як правило, перелічені фактори стоку є природними чинниками зарегулювання дощових паводків і весняних водопіль на схилах.

Наведена робоча схема розрахунку T_0 була реалізована авторами на прикладі максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Прип'ять. В статті розглядається дещо інший варіант визначення тривалості схилового припливу T_0 . Він полягає в наступному. Використовуючи, як і у попередньому варіанті вихідну структуру (7), чисельник і знаменник у ній домножуються на T_0 . Тоді

$$q_m = \frac{m + 1}{m} \frac{Y_m}{T_0} k'_n, \quad (15)$$

де $k'_n = \frac{T_0}{T_n} = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0} + \frac{\Delta t}{T_0}} \leq 1.0$ - комплексний параметр розпластування паводкових і

повеневих хвиль під впливом руслового добігання $\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ і русло – заплавного регулювання $\left(\frac{\Delta t}{T_0}\right)$.

Рівняння (15) і (11), які у подальшому використовуються для визначення T_0 і коефіцієнтів русло – заплавного регулювання і розпластування, відрізняються тим, що у формулу (11) входить тривалість руслового добігання t_p , а у виразі (15) – вона відсутня. Тобто структура (15) є більш спрощеним варіантом при вирішенні задачі визначення T_0 . Щодо k_n і k'_n , то вони знаходяться у такому співвідношенні

$$k_n = k'_n \left(1 + \frac{t_p}{T_0}\right), \quad (16)$$

а

$$k'_n = \frac{k_n}{\left(1 + \frac{t_p}{T_0}\right)}$$

Взагалі ж $k_n/k'_n = \left(1 + \frac{t_p}{T_0}\right) \geq 1.0$. (17)

З іншого боку очевидно, що в структурі (15) не використовуються морфометричні характеристики окремих водозборів, які є складовими при розрахунку тривалості руслового добігання в (11). Але, як свідчать дані по басейну р. Прип'ять, ця обставина не буде суттєво впливати на кінцевий результат. На рис. 1 наведено емпіричну залежність між t_p (год) і F . Описується вона рівнянням

$$t_p = (F + 1)^{0.475} - 1, \quad (18)$$

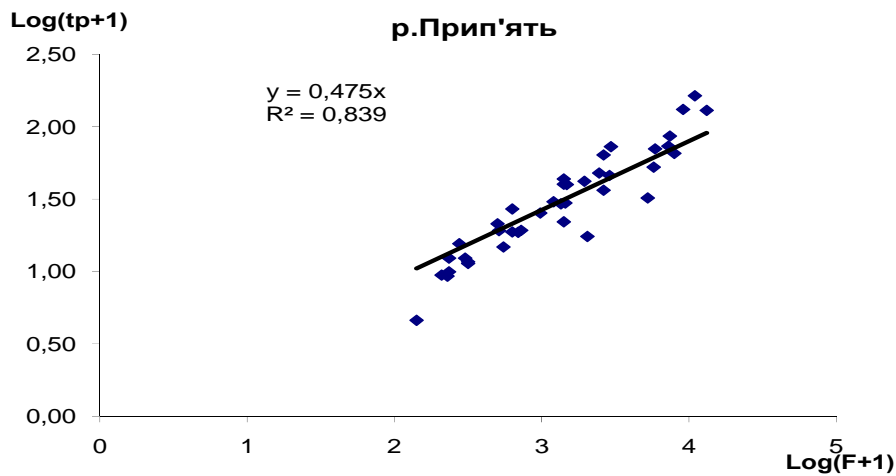


Рис.1 - Залежність тривалості схилового припливу від розміру водозборів (басейн р. Прип'ять).

при коефіцієнті кореляції $r = 0.92$.

Визначення невідомих параметрів T_0 і k'_n відбувається за тією ж схемою, що й у попередньому випадку. На першому етапі (при $k'_n = 1.0$ відповідно до (15))

$$T_0 = \frac{m+1}{m} \frac{Y}{q_m}. \quad (19)$$

Після побудови залежності для розрахованих T_0 від розміру водозборів встановлюється регіональне значення T_0' . На його основі та із залученням (15) обчислюються коефіцієнти русло – заплавного регулювання і розпластування k'_n

$$k'_n = \frac{m}{m+1} T_0' \frac{q_m}{Y_m}. \quad (20)$$

Узагальнення k'_n здійснюється в залежності від розміру водозборів, оскільки його складові визначаються відношеннями t_p/T_0 і $\Delta t/T_0$, зумовленими F . Як і у випадку k_n , коефіцієнт k'_n у верхній частині залежності $k'_n = f(F)$ виводиться на одиницю при $F = 0$.

Після цього на основі (15) встановлюються розрахункові величини T_0

$$T_0 = \frac{m+1}{m} \frac{Y_m}{q_m} k'_n. \quad (21)$$

Після визначення невідомих, а точніше – невимірюваних параметрів розрахункових формул (11) і (15), виникає питання щодо структури самої формули. У науково – методичному відношенні вона повинна описувати безпосередньо природний процес «схилувий приплив – русловий стік».

Для приведення (11) і (15) до операторного вигляду повернемося до рівняння (6), з урахуванням якого:

а) в редакції (11)

$$q_m = q'_m k \left(\frac{t_p}{T_0} \right) k_m k'_n; \quad (22)$$

б) в редакції (15)

$$q_m = q'_m k_m k'_n, \quad (23)$$

де $k \left(\frac{t_p}{T_0} \right) = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0}}$ - коефіцієнт розпластування паводкових і повеневих хвиль під

впливом тривалості руслового добігання; $k_m = \frac{m+1}{m} \frac{n+1}{n}$ - коефіцієнт трансформації

форми гідрографів стоку.

Співставляючи (22) і (23), можна прийти до об'єднаної структури розрахункової формули максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль об'ємного типу, а саме

$$q_m = q'_m k_m k'_n. \quad (24)$$

Висновок. Авторами розглянуті два варіанти формул максимального стоку, заснованих на геометричній моделі редуційних гідрографів стоку паводків і водопіль. В структурі формул об'ємного типу запропоновані науково – методичні підходи щодо обґрунтування таких невимірюваних параметрів як тривалість припливу води зі схилів до руслової мережі і коефіцієнти русло – заплавного регулювання паводків і водопіль.

Структура рівняння (24) рекомендується як один із варіантів при підготовці в Україні нового нормативного документу з розрахунків характеристик максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль, замість застарілого, але поки що діючого СНіП 2.01.14-83.

Список літератури

1. *Пособие по определению расчетных характеристик.* - Л.: Гидрометеиздат, 1984.- 448 с.
2. *Гопченко Є.Д., Гушля О.В.* Гідрологія суші з основами водних меліорацій. - К.: ІСЛЮ, 1994. - 296 с.
3. *Соколовский Д.Л.* Речной сток. - Л.: Гидрометеиздат, 1968. - 538 с.
4. *Гопченко Є.Д., Сербов Н.Г.* Метод расчета максимального стока весеннего половодья рек Западно – Сибирской равнины // *Методология и гидрология.* - 1990. - № 5. - С. 79-85.

Использование формул объемного типа к нормированию расчетных характеристик максимального стока. Гопченко Е.Д., Погорелова М.П., Романчук М.Е., Бурлуцкая М.Э.

Рассматриваются научно – методические подходы по использованию структуры объемных формул для нормирования расчетных характеристик максимального стока дождевых паводков и весенних половодий.

Ключевые слова: *весеннее половодье, дождевые паводки, геометрические модели формирования стока.*

Using of formulas of volume type to rationing of calculated characteristics of the maximum runoff.

Gopchenko E.D., Pogorelova M.P., Romanchuk M. E, Burlutskaya M. E.

Scientific and methodical approaches on using of volume formulas structure for rationing of calculated characteristics of the maximum runoff of rain high waters and spring high waters are considered.

Keywords: *spring high water, rain high waters, geometrical models of formation of runoff.*