

ОСОБЛИВОСТІ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ПАВОДКІВ І ВЕСНЯНИХ ВОДОПІЛЬ НА БАЗІ РЕДУКЦІЙНИХ ФОРМУЛ

Ключові слова: максимальний стік весняних водопіль, трансформаційні коефіцієнти, просторове узагальнення розрахункових параметрів

Вступ. Для визначення розрахункових характеристик максимального стоку річок у вітчизняній і зарубіжній практиці використовується досить велика кількість авторських пропозицій. За Д.Л. Соколовським [1], в окремі категорії виділяються розрахункові формули і методи, які застосовуються для весняних водопіль, а інші – для дощових паводків. У свою чергу, перші поділяються на структури редуційного та об'ємного типів, а стосовно дощових паводків – ще й методи і формули, засновані на гідромеханічних теоріях поверхневого стоку та граничної інтенсивності.

Не зупиняючись на аналізі усього набутого досвіду в галузі розрахунку характеристик максимального стоку річок, розглянемо найбільш поширену (з точки зору практичного застосування) групу формул, а саме – редуційного типу.

Вихідні передумови. Сучасний стан використання редуційних формул у гідрологічних розрахунках весняних водопіль. З метою наукового обґрунтування проектів гідротехнічних споруд у 1926-1928 рр. Д.І. Кочеріним [1] було здійснено просторове узагальнення спостережених матеріалів весняного водопілля у межах Європейської території колишнього СРСР. Розрахункові норми представлені у вигляді таблиці максимальних модулів стоку в залежності від площі водозборів F і регіонів. Але вже у 1927 р. ним була запропонована формула для максимального модуля весняного водопілля q_m вигляду

$$q_m = \frac{q'_m}{F^{n_1}} - B, \quad (1)$$

де q'_m – максимальний модуль схилового припливу (у наших позначках); B і n_1 – регіональні параметри.

Головний недолік структурного рівняння (1) полягав у невизначеності відношення $\frac{q'_m}{F}$ при $F=0$.

Дослідження максимального стоку свій подальший розвиток знайшли в працях Д.Л. Соколовського (1933-1937 рр.). Замість (1) ним була прийнята більш досконала, порівняно з попередньою, редуційна структура

$$q_m = k_p \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}} \delta, \quad (2)$$

де k_p – коефіцієнт розмірності; δ – узагальнений коефіцієнт, за допомогою якого враховується зарегульованість q_m озерами, болотами, лісами, карстом й ін.

Через обмеженість вихідних даних по максимальному стоку автором формули (2) було прийнято $n_1=0,25$, а параметр q'_m (в розмірностях $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{км}^2$) представлено у вигляді відповідної карти.

У подальшому Д.Л. Соколовський [1], спираючись на спрощену модель руслових ізохрон (яка не враховує належним чином ефективність русло-заплавного регулювання паводків і водопіль), шляхом сумісного розгляду схилового і руслового гідрографів, отримав часткові рівняння:

- для схилового стоку

$$(Y_m)_{cx} = \frac{1}{k'_{\phi}} q'_m T_0; \quad (3)$$

- для руслового стоку

$$(Y_m)_{русл} = \frac{1}{k_{\phi}} q_m (T_0 + t_p), \quad (4)$$

де $(Y_m)_{cx}$ і $(Y_m)_{русл}$ – шари схилового припливу води під час паводків чи водопіль та руслового стоку; $\frac{1}{k'_{\phi}}$ і $\frac{1}{k_{\phi}}$ – коефіцієнти часової нерівномірності схилового і руслового стоку; q'_m і q_m – максимальні модулі схилового припливу і руслового стоку; T_0 – тривалість схилового припливу; t_p – тривалість руслового добігання.

Допускаючи, що $(Y_m)_{cx} = (Y_m)_{русл}$, а $k'_{\phi} = k_{\phi}$, можна записати узагальнений вираз:

$$q_m = \frac{q'_m}{1 + \frac{t_p}{T_0}}. \quad (5)$$

На основі чисто формальних уявлень щодо процесів формування поверхневого стоку та, припускаючи, що в (2) $k_p = 1,0$ і $\delta = 1,0$, шляхом об'єднання (2) і (5) отримана тотожність

$$\frac{1}{(F + 1)^{n_1}} = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0}}. \quad (6)$$

На підставі (6) Д.Л. Соколовський [1] прийшов до висновку, що в редуційних формулах вигляду (2) площа водозбору F інтегрально описує фізичну сутність трансформації паводків і водопіль лише під впливом тривалості руслового добігання t_p . Суттєвий внесок у розвиток структури (5) належить К.Л. Воскресенському [1], який показав, що максимальний модуль схилового припливу весняного водопілля q'_m представляє собою добуток так званого коефіцієнта «дружності» водопілля k_0 і шару стоку Y_m , тобто

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (7)$$

Формула (7) була прийнята за базову при підготовці нормативного документу СН 435-72 [2], але в дещо модифікованій редакції

$$q_p = \frac{k_0 Y_p \mu}{(F + 1)^{n_1}} \delta \delta_2, \quad (8)$$

де q_p і Y_p – максимальний модуль і шар стоку весняного водопілля рівнинних річок забезпеченістю $P\%$; δ – коефіцієнт для врахування впливу на

трансформацію водопіль водойм проточного типу; δ_2 – коефіцієнт впливу на максимальний модуль стоку залісенності і заболоченості водозборів; μ – коефіцієнт для врахування розбіжностей у статистичних параметрах шарів стоку і максимальних витрат води.

Параметри n_1 і k_0 представлені в [2] у табличній формі в залежності від природної зони (усього їх 6), а k_0 – ще й від категорії рельєфу.

Для гірських річок розрахункова формула має дещо інший вигляд, порівняно з (8), а саме

$$q_p = \frac{k_0 Y_p \mu}{(F + 1)^{0,15}} \delta_1, \quad (9)$$

де δ_1 – коефіцієнт озерності; k_0 – коефіцієнт «дружності» водопілля, який приймається залежно від середньої висоти водозборів і географічних районів.

При підготовці нового варіанту нормативного документу СНіП 2.01.14-83 [3] науково-методична база для рівнинних річок була майже тією ж, що й у попередньому СН 435-72, тобто

$$q_p = \frac{k_0 Y_p \mu}{(F + b)^{n_1}} \delta \delta_1 \delta_2 \delta_3, \quad (10)$$

де b – емпіричний параметр для врахування тенденції зниження редуції в області невеликих за розмірами водозборів (змінюється він від 1,0 у зоні тундри і лісотундри до 10,0 – степова, посушливих степів і полупустель); n_1 – показник степені, який змінюється від 0,17 (зони тундри і лісотундри); 0,25 (лісостепова зона); 0,35 (степова зона, посушливих степів і полупустель).

Параметр «дружності» водопілля k_0 пропонується визначати за методом гідрологічної аналогії.

Для гірських річок k_0 і n_1 встановлюються за таблицею в залежності від середньої висоти водозборів і географічних районів.

Недоліки нормативно-розрахункової бази в області максимального стоку весняного водопілля. Як вже відзначалося вище, державний нормативний документ СНіП 2.01.14-83, а ще раніше – й СН 435-72, ґрунтувались на структурі редуційних формул. Основні зауваження по їх використанню відносяться головним чином до визначення розрахункових параметрів, а частково – й самої структури.

По-перше, у варіанті (10) порушені умови відповідності формули верхній границі (при $F=0$ відношення q_p повинно дорівнювати $q'_p = k_0 Y_p$). Дійсно, якщо мати на увазі, що у чисельнику замість $k_0 Y_p$ можна підставити q'_p (при допущенні $\mu = 1,0; \delta = \delta_1 = \delta_2 = \delta_3 = 1,0$), то

$$\frac{q_p}{q'_p} = \frac{1}{(F + b)}. \quad (11)$$

З (11) видно, що верхнє граничне співвідношення $\frac{q_p}{q'_p}$ буде становити

$$\frac{q_p}{q'_p} = \frac{1}{b^{n_1}} \leq 1,0. \quad (12)$$

По друге, не зрозуміло до яких складових розрахункової формули (k_0 чи Y_p) відносяться поправки на залісеність (δ_1), заболоченість (δ_2) та розораність (δ_3).

По-третє, не доведено, що k_0 підлягає районуванню (в методиці СН 435-72) або може визначитись за методом аналогії (СНіП 2.01.14-83).

Виклад основного матеріалу дослідження. Обґрунтування можливих варіантів застосування структури редуційних формул (на прикладі часових рядів максимального стоку водопілля в басейні р. Сіверський Донець). Річка Сіверський Донець знаходиться у південній частині території Росії та в значній частині Харківської області і впадає в р. Дон (права притока). Загальна протяжність річки становить 1053 км, площа водозбору – 98900 км².

Багаторічні спостереження за гідрологічним режимом річок охоплюють 52 водозбори (з площею від 31 км² – р. Ломовата - ст. Алмазна до 73200 км² – р. Сіверський Донець- с. Кружилівка), з них 12 знаходяться на території Російської Федерації.

Спираючись на редуційні гідрографи схилового і руслового стоку, можна записати рівняння [4]:

- для схилового стоку

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right]; \quad (13)$$

- для руслового стоку

$$q_t = q_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_n} \right)^m \right], \quad (14)$$

де T_0 і T_n – тривалості схилового і руслового стоку, причому

$$T_n = T_0 + t_p + \Delta t, \quad (15)$$

Δt – тривалість, на протязі якої відбувається спрацювання ємності русло-заплавного зарегулювання паводків (водопіль) після проходження їх максимальних піків.

Після інтегрування (13) і (14), відповідно по T_0 і T_n , та припускаючи, що $(Y_m)_{cx} = (Y_m)_{русл}$, запишемо наступне рівняння

$$q_m = \left(\frac{\frac{m+1}{m}}{\frac{n+1}{n}} \right) \frac{q'_m \cdot T_0}{T_n}, \quad (16)$$

де $\frac{m+1}{m}$ і $\frac{n+1}{n}$ – коефіцієнти часової нерівномірності руслового і схилового стоку, а їх відношення – коефіцієнт трансформації форми гідрографів руслового стоку k_m , тобто

$$k_m = \left(\frac{\frac{m+1}{m}}{\frac{n+1}{n}} \right) \leq 1,0, \quad (17)$$

$\frac{T_0}{T_n} = k_n$ – коефіцієнт русло-заплавного зарегулювання паводків (водопіль), причому

$$k_n = \frac{T_0}{T_0 + t_p + \Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0} + \frac{\Delta t}{T_0}} \leq 1,0. \quad (18)$$

Таким чином, з урахуванням (17) і (18), формула (16) набуває вигляду

$$q_m = q'_m k_m k_n. \quad (19)$$

Виходячи з (13),

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m = k_0 Y_m. \quad (20)$$

Підставляючи (20) в (19), маємо

$$q_m = k_0 Y_m k_m k_n. \quad (21)$$

Порівнюючи емпіричне рівняння (7) і засноване на геометричній моделі гідрографів стоку (21), отримаємо співвідношення

$$k_m k_n = \frac{1}{(F+1)^{n_1}}. \quad (22)$$

Коефіцієнт трансформації форми гідрографів весняного водопілля річок басейну Сіверського Дінця k_m (по даних 54 водозборів) описується рівнянням

$$k_m = e^{-0,21 \lg(F+1)}. \quad (23)$$

Щодо коефіцієнта русло-заплавного регулювання, то він дорівнює

$$k_n = e^{-0,33 \lg(F+1)}. \quad (24)$$

Добуток $k_m \cdot k_n$ буде становити

$$k_m \cdot k_n = e^{-0,54 \lg(F+1)}. \quad (25)$$

Тотожність (22) суттєво відрізняється від (6), свого часу запропонованою Д.Л. Соколовським, про що свідчить рис. 1.

З урахуванням того, що добуток $k_m \cdot k_n$ залежить від розміру водозборів, редуційну формулу максимального стоку можна записати в редакції

$$q_m = \frac{k_0 \cdot Y_m}{(F+1)^{n_1}} r, \quad (26)$$

де r – коефіцієнт зарегулювання паводків чи водопіль ємностями проточного типу (озерами, водосховищами); $k_0 = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0}$ – коефіцієнт трансформації паводкових чи повеневих хвиль на схилах; Y_m – шар стоку за період водопілля (за розрахунковий паводок).

Принциповим, порівняно з формулами (8) і (10), є те, що поправки на залісеність (δ_1) і заболоченість (δ_2) необхідно враховувати окремо на шари стоку Y_m і коефіцієнт схилової трансформації припливу k_0 , тобто

$$Y_m = (Y_m)_{f_{\delta}=0; f_n=0} \cdot k'_l \cdot k'_b, \quad (27)$$

а

$$k_0 = (k_0)_{f_{\delta}=0; f_L=0} \cdot k_L \cdot k_{\delta}, \quad (28)$$

де $(Y_m)_{f_{\delta}=0; f_L=0}$ – шари стоку весняного водопілля, приведені до умов $f_L = 0$ і $f_{\delta} = 0$; k'_L і k'_{δ} – коефіцієнти впливу на шари стоку весняного водопілля залісеності (f_L) і заболоченості (f_{δ})

$$k'_L = 1 + a_L f_L; \quad (29)$$

$$k'_{\delta} = 1 - a_{\delta} f_{\delta}; \quad (30)$$

$(k_0)_{f_{\delta}=0; f_L=0}$ – коефіцієнт схилової трансформації водопіль, приведений до умов $f_L = 0$ і $f_{\delta} = 0$; k_L і k_{δ} – коефіцієнти впливу на k_0 залісеності і заболоченості водозборів

$$k_L = 1 + b_L f_L; \quad (31)$$

$$k_{\delta} = 1 + b_{\delta} f_{\delta}. \quad (32)$$

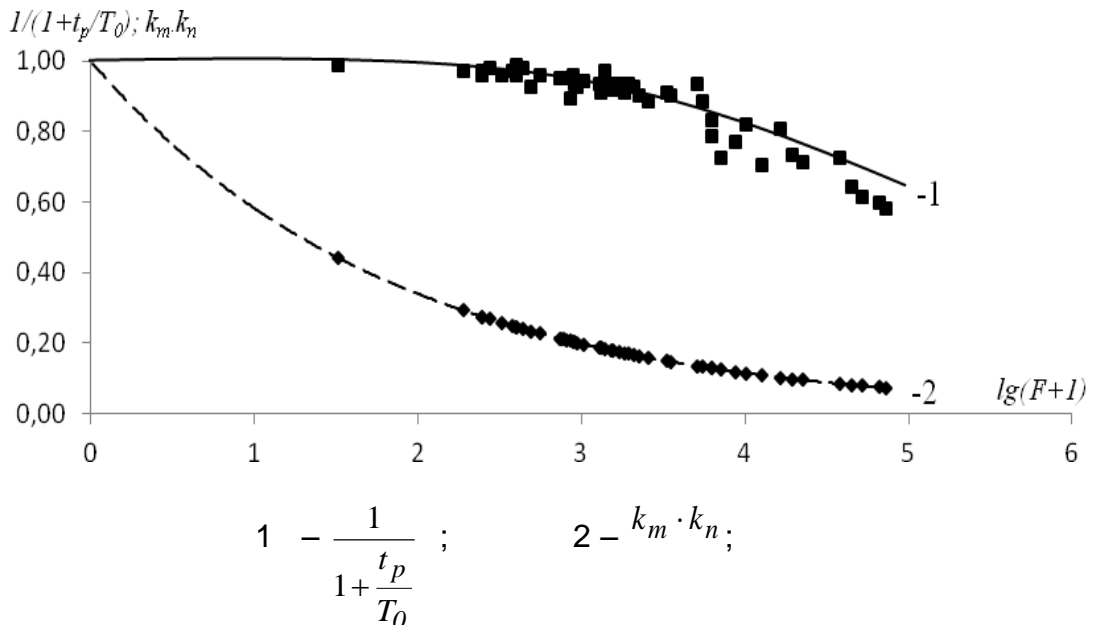


Рис.1. Порівняння редуційних коефіцієнтів весняного водопілля (р.Сіверський Донець)

На підставі викладених міркувань, пропонується такий науково-методичний алгоритм обґрунтування розрахункових параметрів весняного водопілля в структурі формули редуційного вигляду

$$q_{P\%} = \frac{k_0 Y_{1\%}}{(F+1)^{n_1}} \lambda_{Pr}. \quad (33)$$

Для встановлення степеневого показника n_1 формулу (33) представимо в редакції (при $P = 1\%$ і $r = 1,0$)

$$\frac{q_{1\%}}{Y_{1\%}} = \frac{k_0}{(F+1)^{n_1}}. \quad (34)$$

Залежність (34) у логарифмічних координатах наводиться на рис. 2, в основу якої покладені дані статистичної обробки часових рядів максимальних витрат і шарів стоку весняного водопілля в басейні р.Сіверський Донець.

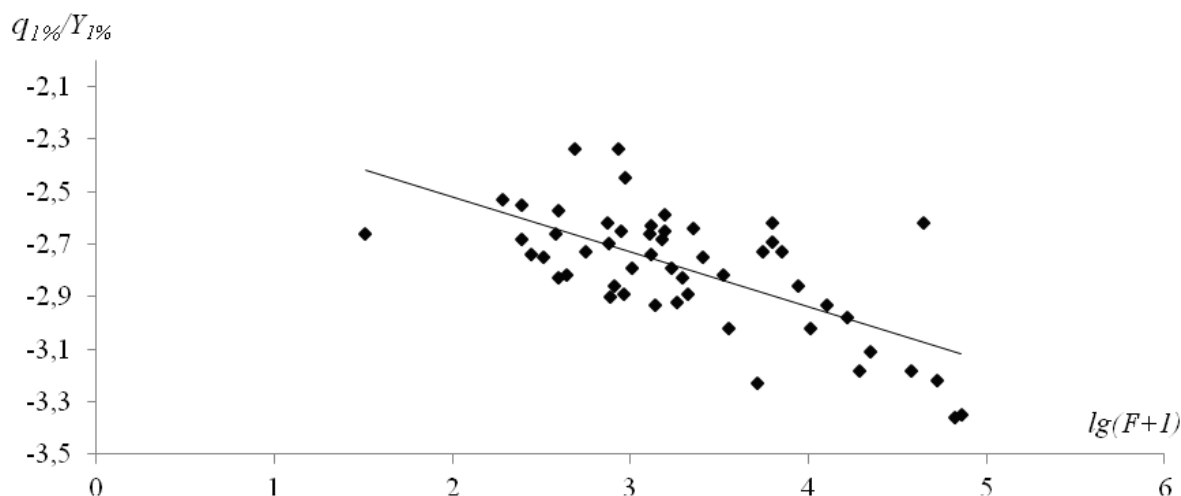


Рис. 2. Залежність відношення $q_{1\%}/Y_{1\%}$ від розміру водозборів

В цілому для досліджуваного об'єкту $n_I = 0,21$, таким чином,

$$q_{1\%} = \frac{k_0 \cdot Y_{1\%}}{(F+1)^{0,21}} \quad (35)$$

З (35) є можливість встановлення для кожного водозбору k_0 , оскільки

$$k_0 = \frac{q_{1\%}}{Y_{1\%}} (F+1)^{0,21} \quad (36)$$

Просторове узагальнення шарів стоку $Y_{1\%}$ і коефіцієнтів схилової трансформації k_0 можливе шляхом осереднення цих параметрів по території або побудуванням відповідних карт.

Перевірка наявних рядів $Y_{1\%}$ і k_0 за допомогою критерію випадковості Гауса показала, що і ті, й інші величини не підлягають осередненню.

Приступаючи до картування $Y_{1\%}$ і k_0 , слід переконатися в тому, що вони обумовлені географічним положенням річкових водозборів, з одного боку, а з іншого, виключити вплив залісеності і заболоченості. З цієї метою усі вихідні дані приводяться до однієї умовної широти φ_0^o півн.ш. Потім послідовно по приведених $(Y_{1\%})_{\varphi=\varphi_0}$ і $(k_0)_{\varphi=\varphi_0}$ встановлюються їх залежності від залісеності і заболоченості водозборів, на основі яких обґрунтовуються рівняння (29) і (30) та (31) і (32). На заключному етапі підготовки даних $Y_{1\%}$ і k_0 до картування здійснюється їх приведення до $f_L = 0$ і $f_{\delta} = 0$, тобто

$$(Y_{1\%})_{f_L=0; f_{\delta}=0} = \frac{Y_{1\%}}{(k'_L \cdot k'_{\delta})}; \quad (37)$$

$$(k_0)_{f_L=0; f_{\delta}=0} = \frac{k_0}{(k_L \cdot k_{\delta})}. \quad (38)$$

При картуванні $(Y_{I\%})_{f_n=0; f_{\bar{c}}=0}$ і $(k_0)_{f_n=0; f_{\bar{c}}=0}$ дані відносяться до геометричних центрів водозборів.

На матеріалах спостережень за максимальним стоком весняного водопілля в басейні р.Сіверський Донець значущих залежностей $Y_{I\%}$ і k_0 від залісеності і заболоченості не виявлено, що у свою чергу відповідає умовам $k'_{\mathcal{L}} = 1,0$; $k'_{\bar{c}} = 1,0$; $k_{\mathcal{L}} = 1,0$ і $k_{\bar{c}} = 1,0$. Слід зауважити, що за нормативним документом СНіП 2.01.14-83 для річок розглядуваної території передбачені поправки δ_1 і δ_2 , які відрізняються від одиниці.

Висновки. В статті показано, що формули редуційного типу мають теоретичне підґрунтя, яке пов'язане з геометричною моделлю гідрографів схилового і руслового стоку у вигляді одноmodalних нелінійних трикутників.

Встановлені недоліки структурної бази формули СНіП 2.01.14-83, що використовується як теоретична основа при нормуванні розрахункових характеристик максимального стоку весняного водопілля.

Обґрунтовуються науково-методичні підходи стосовно визначення і просторового узагальнення параметрів розрахункової формули (шарів стоку і коефіцієнтів схилової трансформації водопіль), у тому числі й на залісених і заболочених водозборах.

Список літератури

1. Соколовский Д.Л. Речной сток / Д.Л. Соколовский – Л.: Гидрометеиздат. – 1968. – 538 с. 2. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат. – 1973. – 111 с. 3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. Л.: Гидрометеиздат. – 1984. – 448 с. 4. Голченко Е.Д. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности / Е.Д.Голченко, М.Е.Романчук – К.: КНТ. – 2005. – 148с.

Особливості розрахунку характеристик максимального стоку паводків і весняних водопіль на базі редуційних формул

Медведєва Ю.С.

В статті надається аналіз структури і параметрів формул редуційного типу, які використовуються для нормування розрахункових характеристик весняного водопілля.

Ключові слова: максимальний стік весняних водопіль, трансформаційні коефіцієнти, просторове узагальнення розрахункових параметрів.

Особенности расчета характеристик максимального стока паводков и весенних половодий на базе редуционных формул

Медведева Ю.С.

В статье приводится анализ структуры и параметров формул редуционного типа, которые используются для нормирования расчетных характеристик весеннего половодья.

Ключевые слова: максимальный сток весеннего половодья, трансформационные коэффициенты, пространственное обобщение расчетных параметров.

Features of the calculation of the characteristics of maximum runoff of floods and spring flood based on the reduction formulas

Medvedeva Y.S.

In the article the analysis of the structure and parameters of type reduction formulas that are used for rationing of the calculated characteristics of spring flood.

Key words: maximum runoff of spring flood, transformation coefficients, spatial generalization of the calculated parameters.

Надійшла до редколегії 06.02.2015