

УДК 556.166

Є.Д.Гопченко, д.г.н, проф., М.Є.Романчук, к.г.н., доц., А.В.Траскова, асп.,

Грушківська І.О. маг.

Одеський державний екологічний університет

ПРО ОСОБЛИВОСТІ РЕДУКЦІЇ МАКСИМАЛЬНИХ МОДУЛІВ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ І ВЕСНЯНИХ ВОДОПІЛЬ В ЗАЛЕЖНОСТІ ВІД РОЗМІРУ РІЧКОВИХ ВОДОЗБОРІВ

У статті на матеріалах спостережень за паводками і водопіллями розглядаються особливості трансформації гідрографів стоку в залежності від розміру водозборів.

Ключові слова: дощові паводки, весняні водопілля, максимальний стік, редукція максимальних модулів стоку.

Вступ. При нормуванні розрахункових характеристик максимального стоку річок користуються таким базовим параметром як модуль стоку. Він є питомою величиною максимальної витрати води дощового паводка чи весняного водопілля, віднесеною до одиниці водозбірних площ, і має розмірність $\text{м}^3/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$, рідше – $\text{л}/(\text{с}\cdot\text{км}^2)$. При просторових узагальненнях максимальних модулів часто користуються їх залежностями від розміру водозборів, які в інтегральному вигляді враховують трансформаційні впливи, пов'язані з тривалістю руслового добігання і русло – заплавним регулюванням. Але питання щодо природи цих залежностей все ще залишаються мало дослідженими.

Сучасний стан дослідження явища редукції максимальних модулів стоку в залежності від площі водозборів. Вперше структура редукційного типу для розрахунків максимальних модулів весняного водопілля річок Європейської частини СРСР була запропонована у 1928 р. Д.І. Кочерінім [1] і мала вигляд

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

де q_m – максимальний модуль стоку при площі водозборів F ;

q'_m – максимальний модуль стоку при $F \rightarrow 0$ (модуль схилового припливу);

n_1 – показник степеня редукції.

Для території ЄТС n_1 взято на рівні 0,25. При цьому значенні n_1 з (1) визначені для досліджуваних водозборів q'_m , як

$$q'_m = q_m (F+1)^{0.25}.$$

(2)

У подальшому Д.Л.Соколовським [2] запропонована карта середніх максимальних модулів весняного водопілля q'_m . Змінюється $q'_{1\%}$ від 1,0 до 7,0 мм/год. Він же зробив спробу надати емпіричній формулі (1) деяке математичне обґрунтування. З цією метою на основі теорії руслових ізохрон розглянуті сумісно гідрографи схилового припливу Q'_t і руслового стоку Q_t . Виходячи з моделі одномодальних гідрографів стоку паводків і водопіль (рис.1), записані рівняння для схилового і руслового стоку:

$$W_{cx} = \frac{1}{k'_{\phi}} Q'_m T_0 \quad (3)$$

і

$$W_{cm} = \frac{1}{k_{\phi}} Q_m T_n, \quad (4)$$

де W_{cx} і W_{cm} - відповідно об'єми схилового і руслового стоку;

Q'_m і Q_m - максимальні витрати води схилового і руслового стоку;

k'_{ϕ} і k_{ϕ} - коефіцієнти форми схилових і руслових гідрографів;

T_0 - тривалість схилового припливу;

T_n - тривалість руслових гідрографів, причому, за Д.Л. Соколовським [2]

$$T_n = T_0 + t_p, \quad (5)$$

t_p - тривалість руслового добігання.

Припустивши, що $W_{cm} = W_{cx}$, а $k'_{\phi} = k_{\phi}$, та з урахуванням (5), максимальна витрата води Q_m буде дорівнювати:

$$Q_m = \frac{Q'_m}{1 + \frac{t_p}{T_0}} \quad (6)$$

або

$$q_m = \frac{q'_m}{1 + \frac{t_p}{T_0}}, \quad (7)$$

де q'_m і q_m - максимальні модулі схилового припливу і руслового стоку.

З чисто формальних міркувань, порівнюючи (1) і (7), Д.Л. Соколовський дійшов висновку, що

$$\frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0}} = \frac{1}{(F + 1)^{n_1}}. \quad (8)$$

Наявність тотожності (8) стала начебто доказом того, що єдиним чинником руслової редуції максимальних модулів стоку за площею їх водозборів є тривалість руслового добігання t_p , яка у свою чергу кореляційно пов'язана з площею водозборів F . За відсутності спостережень за схиловим стоком достовірність тотожності (8) не перевірялась, але вважалось, що редуційна структура (1) має відповідне теоретичне обґрунтування. Більш того, на базі структури (1) були свого часу створені союзні нормативні документи з розрахунку максимальних витрат води дощових паводків і весняних водопіль [3,4].

Згодом, Є.Д. Гопченко [3] в дещо іншому варіанті, аніж Д.Л. Соколовський розглянув геометричну схему формування паводків і водопіль, представлену на рис.1.

Для зручності гідрографи (рис.1) перетворені таким чином, щоб вони постали

розгорнутими відповідно q'_m і q_m , причому у безрозмірних величинах $\frac{t}{T_0}$ і

$\frac{q'_t}{q'_m}$, з одного боку, та $\frac{t}{T_n}$ і $\frac{q_t}{q_m}$, з іншого. Тоді їх можна описати за допомогою рівнянь [5]:

- для схилового стоку

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right], \quad (9)$$

- для руслового стоку

$$q_t = q_m \left[1 - \left(\frac{1}{T_n} \right)^m \right]. \quad (10)$$

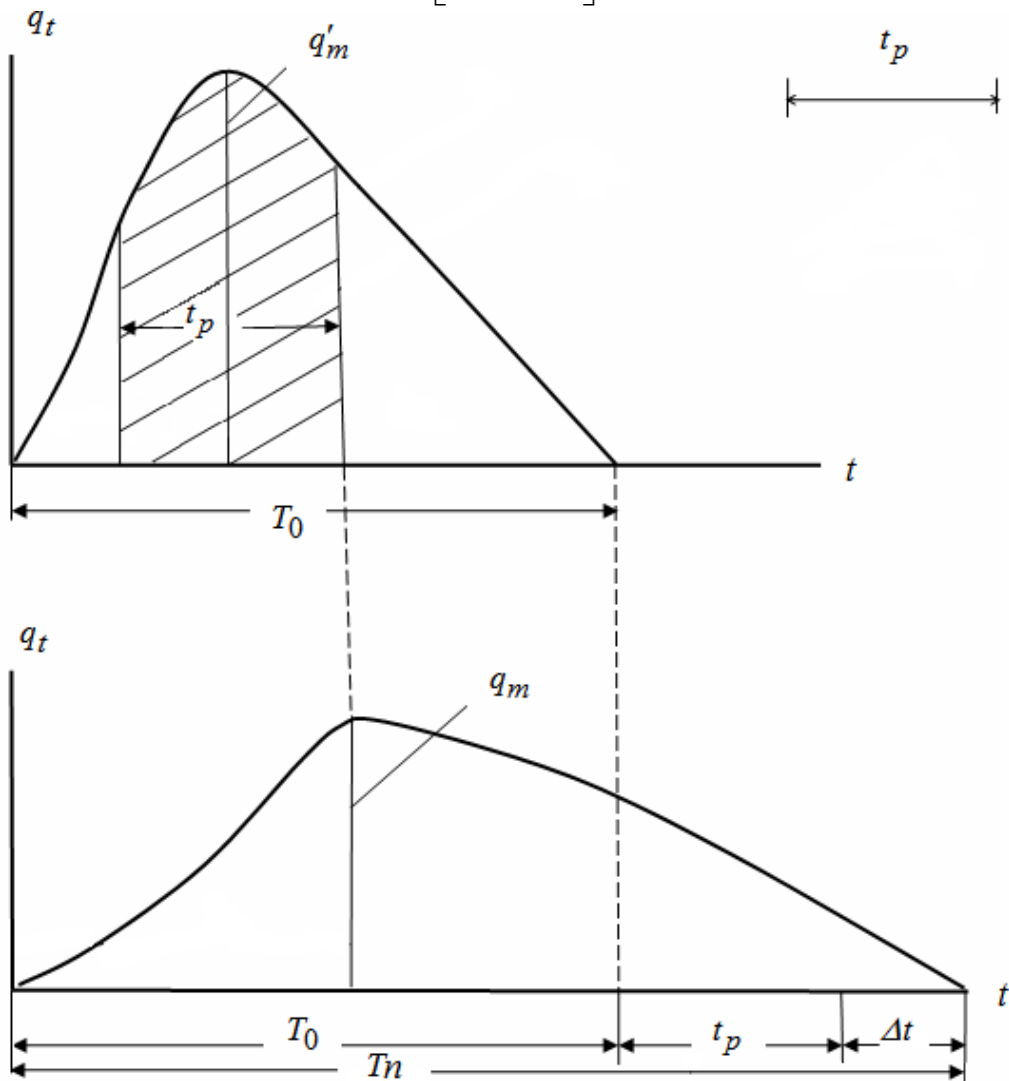


Рис.1 - Схема трансформації схилового гідрографа припливу в русловий гідрограф.

Інтегрування (9) і (10) по T_0 і T_n , з подальшими їх суміщенням, дає змогу отримати рівняння

$$q_m = \frac{m+1}{m} / \frac{n+1}{n} \frac{q_m'}{1 + \frac{t_p}{T_0}}, \quad (11)$$

де T_0 - тривалість схилового припливу; T_n - тривалість паводка (водопілля);

$\frac{m+1}{m} / \frac{n+1}{n} = k_m$ - коефіцієнт трансформації форми гідрографів;

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

$$k_n = \frac{T_0}{T_n} = \frac{T_0}{1 + \frac{t_p}{T_0} + \frac{\Delta t}{T_0}}, \quad (12)$$

Δt - тривалість спрацювання ємності регулювання на спаді гідрографів стоку.

Відношення $\frac{t_p}{T_0}$ і $\frac{\Delta t}{T_0}$ в знаменнику (12) зумовлюють трансформацію паводків (водопіль) у русловій мережі.

З урахуванням наведених вище позначень (11) запишеться в редакції

$$q_m = \frac{q_m'}{1 + \frac{t_p}{T_0}} k_m k_n. \quad (13)$$

Якщо порівняти (13) з емпіричною структурою (1), то очевидно, що

$$\frac{1}{(F+1)^{n_1}} = \frac{k_m k_n}{1 + \frac{t_p}{T_0}}. \quad (14)$$

Тобто (14) суттєво відрізняється від тотожності Д.Л. Соколовського (8). Оскільки k_m і k_n залежать від розмірів водозборів, то у подальшому їх можна об'єднати в один редуційний коефіцієнт

$$k_F = k_m k_n. \quad (15)$$

Тоді (13) за своєю структурою спроститься до рівня

$$q_m = \frac{q_m'}{1 + \frac{t_p}{T_0}} k_F. \quad (16)$$

З метою дослідження складових редуції максимальних модулів паводків і водопіль в залежності від розмірів водозборів перепишемо (16) таким чином:

$$\frac{q_m'}{q_m} = \frac{k_F}{1 + \frac{t_p}{T_0}}, \quad (17)$$

де $\frac{q_m'}{q_m}$ - коефіцієнт загальної редуції максимальних модулів стоку під

впливом $\frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0}}$ і k_F .

Особливості редукції дощових паводків і весняних водопіль на території України.

Аналіз коефіцієнтів редукції розглянемо на матеріалах спостережень за максимальним стоком річок Південний Буг (дощові паводки) і Сіверський Донець (весняне водопілля). З рис.2 видно, що вплив русло – заплавного регулювання дощових паводків в басейні р.Південний Буг у рази менше, ніж за рахунок тривалості руслового добігання, особливо в області середніх і великих за розмірами водозборів.

Зовсім по іншому відбувається трансформація весняних водопіль, про що свідчить рис.3, побудований за даними спостережень в басейні р. Сіверський Донець. Очевидно, що редукція максимальних модулів стоку майже повністю описується процесами русло – заплавного регулювання. Тривалість же русло – заплавного добігання t_p відіграє другорядну роль.

Такі особливості трансформації паводків і водопіль пояснюються параметрами, формою і тривалістю гідрографів схилового припливу. У паводків форма має майже лінійні гілки підйому і спаду та тривалість усього 2-4 години, тоді як під час водопіль спостерігається повільний підйом і такого ж типу спад обох гілок гідрографів, а тривалість сягає декількох діб.

Таким чином, висновок Д.Л.Соколовського [2] стосовно тотожності (8) можна вважати як частковий випадок, який більшою мірою відповідає розпластуванню паводків, аніж весняним водопіллям.

Наведені особливості трансформації паводків і водопіль свідчать про те, що редукційна формула вигляду (1) є емпіричною структурою для паводків і водопіль, але, як видно з рис.3, складові загальної редукції $\frac{q_m}{q'_m}$, в залежності від розмірів водозборів описуються кривими різного типу.

Наочне уявлення про характер співвідношень і розміри однотипових складових редукції максимальних модулів стоку дощових паводків (басейн р. Південний Буг) і весняних водопіль (басейн р. Сіверський Донець) можна одержати з рис. 4,5 і 6.

Найбільші розбіжності мають місце в залежностях $1/\left[1+\left(\frac{t_p}{T_0}\right)\right] = f(F)$.

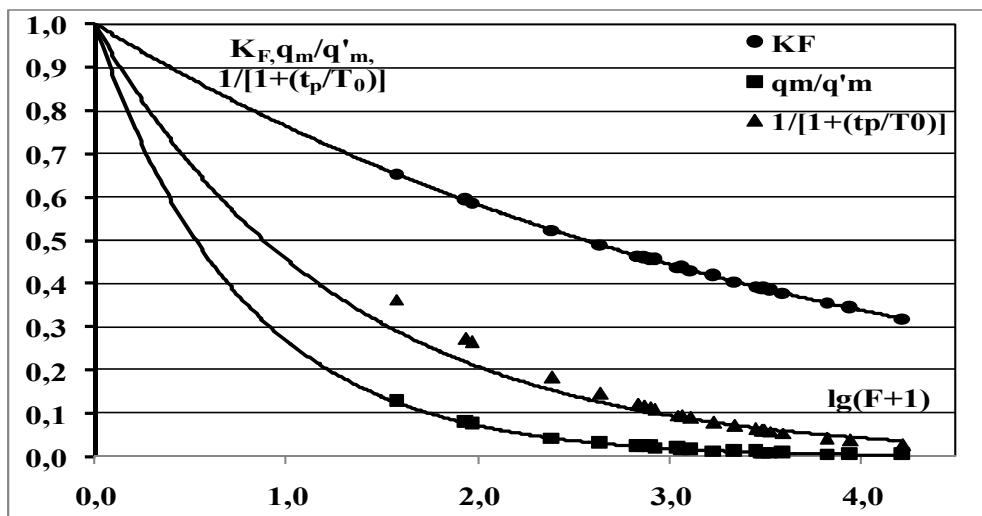


Рис.2 - Складові редукції максимальних модулів стоку дощових паводків забезпеченістю $P=1\%$ в залежності від розмірів водозборів (басейн р. Південний Буг).

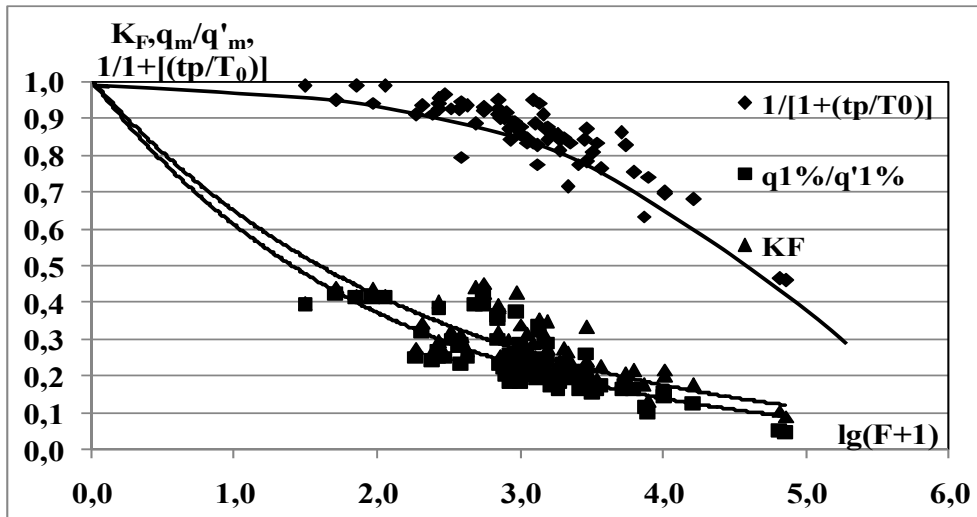


Рис.3 - Складові редукції максимальних модулів стоку весняного водопілля забезпеченістю $P=1\%$ в залежності від розмірів водозборів (басейн р. Сіверський Донець).

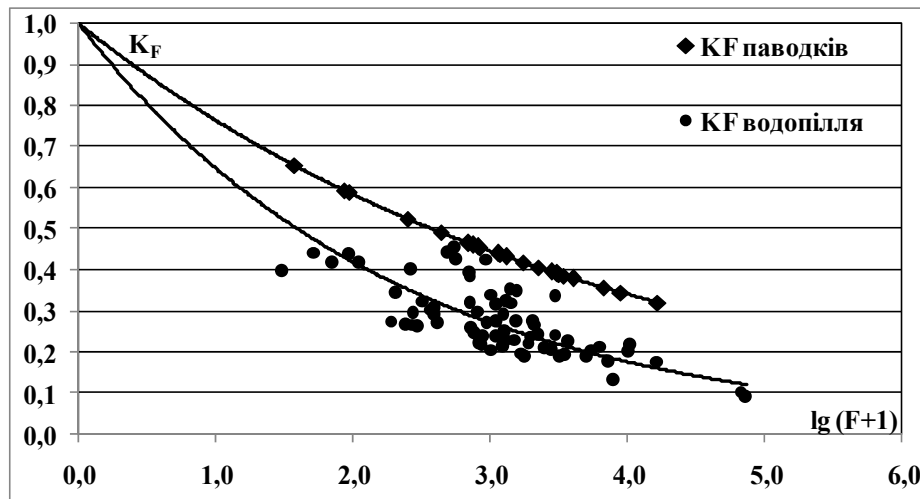


Рис.4 - Порівняння коефіцієнтів редукції максимальних модулів стоку паводків і водопілля, зумовлених русло – заплавним регулюванням.

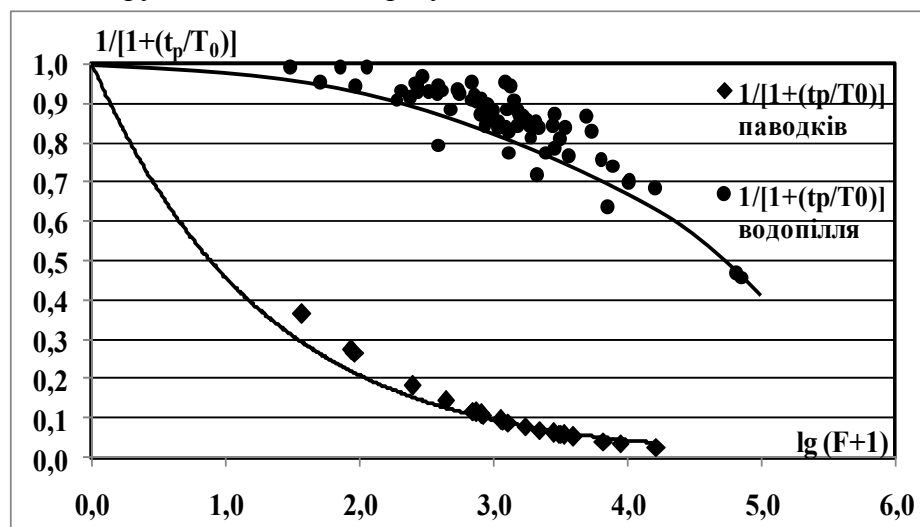


Рис.5 - Порівняння коефіцієнтів редукції максимальних модулів стоку паводків і водопілля, зумовлених тривалістю руслового добігання.

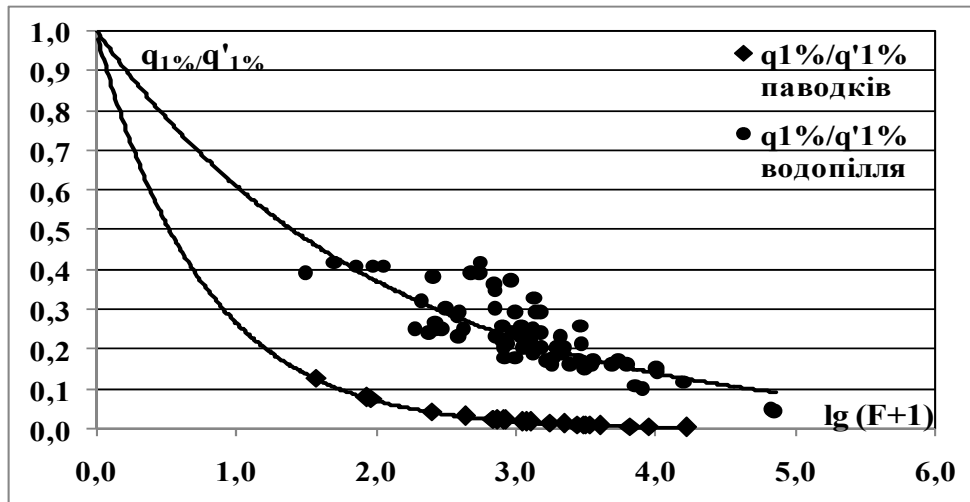


Рис.6 - Порівняння коефіцієнтів загальної редукції максимальних модулів стоку паводків і водопіль.

Висновки:

- редукція максимальних модулів стоку дощових паводків і весняних водопіль головним чином зумовлена розпластуванням повенеких і паводкових хвиль під впливом тривалості руслового стоку і русло – заплавного регулювання;
- на території України переважаючим фактором редукції максимальних модулів стоку дощових паводків є тривалість руслового добігання, тоді як для весняних водопіль – русло – заплавне регулювання.

Список літератури

1. Кочерин Д.И. Вопросы инженерной гидрологии. М. – Л.: Энергоиздат, 1932. – 208 с.
2. Соколовский Д.Л. Речной сток. – Л. : Гидрометеиздат, 1968. – 518 с.
3. Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик. - Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 111 с.
4. Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
5. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. – К.: КТН, 2005. – 148 с.

Об особенностях редукции максимальных модулей дождевых паводков и весенних половодий в зависимости от размера речных водосборов

Гопченко Е.Д., Романчук М.Е., Траскова А.В., Грушковская И.О.

В статье на материалах наблюдений за паводками и половодьем рассматриваются особенности трансформации гидрографов стока в зависимости от размера водосборов.

Ключевые слова: дождевые паводки, весенние половодья, максимальный сток, редукция максимальных модулей стока.

About the features of the maximum reduction modules rainfall floods and spring floods depending on the size of river basins

Gopchenko E.D., Romanchuk M.E., Traskova A.V., Grushkovskaya I.O.

In the article on materials observations floods and flood hydrographs are considered features of transformation flow depending on the size of catchment areas.

Keywords: rain floods, spring floods, maximum flow, maximum reduction modules runoff.