

НОРМУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ  
ВЕСНЯНИХ ВОДОПІЛЬ І ДОЦОВИХ ПАВОДКІВ, ЗАСНОВАНИХ НА ГЕОМЕТРИЧНИХ  
МОДЕЛЯХ ЇХ ГІДРОГРАФІВ

**Ключові слова:** дощові паводки, весняні водопілля, максимальний стік, гідрографи, геометричні моделі за їх формою

**Вступ.** Дощові паводки і весняні водопілля відносяться до тих характеристик гідрологічного режиму річок, які досить часто є чинниками надзвичайно високих за розмірами максимальних витрат води і шарів стоку. Тому у господарській діяльності постійно виникають проблеми не тільки в період проектування і будівництва гідротехнічних споруд, а також і при їх експлуатації. Екстремально високі дощові паводки і весняні водопілля відрізняються у геометричному відношенні гідрографами стоку, які досить надійно піддаються моделюванню у вигляді одноmodalних нелінійних трикутників, утворених увігнутими гілками підйому і спаду, що перетинаються у верхів'ї. Блок-схема процесу формування паводків і водопіль наводиться на рис. 1

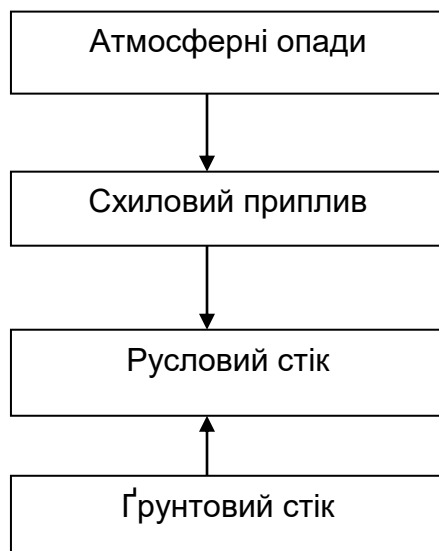


Рис.1 – Блок-схема паводків (водопіль)

На диво формули, які описують процес формування паводків і водопіль, реалізуються не за природною послідовністю «атмосферні опади – схиловий приплив – русловий стік», а більш простим оператором: «атмосферні опади – русловий стік», що

призвело до порушення розрахункових параметрів за їх масштабом і фізичним змістом, про що свідчать структури формул, майже усіх діючих залежностей, навіть і нормативних документів [1].

Так, для весняного водопілля і паводків рекомендуються редуційні формули вигляду:

- для весняного водопілля

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

- для дощових паводків

а) при площі водозборів  $F < 200 \text{ км}^2$

$$q_m = A_m \eta H_m; \quad (2)$$

б) при площі водозборів  $F > 200 \text{ км}^2$

$$q_m = q_{200} \left( \frac{F}{200} \right)^{n_1}; \quad (3)$$

де  $q_m$  - максимальні модулі стоку паводків і водопіль;

$k_0$  - коефіцієнт схилової трансформації паводкового (повеневого) стоку [1]

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

$Y_m$  - розрахунковий шар стоку за водопілля;

$\frac{n+1}{n}$  - коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу;  $T_0$  - тривалість схилового припливу;  $n_1$  - степеневий показник редуції паводків (водопіль);  $H_m$  - добовий максимум опадів;  $\eta$  - коефіцієнт паводкового стоку;  $q_{200}$  - розрахунковий модуль стоку, приведений до умовної площі водозборів ( $F=200 \text{ км}^2$ ).

З геометричної точки зору, як відзначалось вище, йдеться про розрахунки паводків і водопіль, представлених моделлю у вигляді одноmodalних гідрографів стоку. По друге – не зрозуміло, чому для водопіль застосовується лише одна розрахункова структура (1), тоді як для паводків дві – зокрема (2) і (3). Ми також звертаємо увагу на

структуру рівняння (1) у якому для урахування зменшення редуції  $\frac{q_m}{Y_m}$  в усьому діапазоні водозбірних площ вводиться додаткова площа « $b$ ». Така процедура побудови розрахункової формули покращує фізичний зміст (1) в області екстремальних витрат води при  $F=0$ . Дійсно, якщо в (1) при  $F=0$  обчислити  $q_m$ , то отримаємо вираз  $q_m = \left(\frac{1}{b}\right)^{n_1}$ , що протирічить верхній межі параметра  $q_m$ . Він буде дорівнювати не  $\left(\frac{1}{b}\right)^{n_1}$ , а  $q'_m = 1.0$ , де  $q'_m$  - максимальний модуль схилового припливу.

**Метою** дослідження є аналітичний огляд існуючих методик для визначення максимального стоку річок та обґрунтування нової, універсальної структури для нормування характеристик весняних водопіль та дощових паводків.

**Методика дослідження.** Викладене вище свідчить про суттєві недоліки у структурах формул (1) – (3), які наведені у колишньому нормативному документі СНіП 2.01.14-83 [2] і використовуються до цього часу.

Враховуючи, що в Україні здійснюється фактично підготовка до перевидання ми звертаємо увагу на необхідність практичної заміни застарілої за часом методики [2].

Геометричну модель базової формули, яка пропонується для нормування розрахункових характеристик максимального стоку річок на території України рекомендується замінити на новий варіант, як такий що не відповідає рівню теоретичних досягнень сучасного (й майбутнього) періоду.

Слід зауважити, що можливі два варіанти базових формул максимального стоку: коли  $t_p < T_0$  і  $t_p > T_0$ , де  $t_p$  – тривалість руслового добігання повеневих (паводкових) хвиль, а  $T_0$  - тривалість схилового припливу до руслової мережі.

Робочий варіант моделі формування руслового стоку за умови  $T_0 > t_p$  приведенно на рис. 2.

За рекомендацією [1], запишемо у редуційному форматі гідрографи схилового і руслового стоку:

- гідрограф схилового стоку

$$q'_t = q'_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_0} \right)^n \right]; \quad (5)$$

- гідрограф руслового стоку

$$q_t = q_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_n} \right)^m \right]; \quad (6)$$

Проінтегруємо (5) і (6), відповідно по  $T_0$  і  $T_n$ , тоді:

$$Y'_m = \int_0^{T_0} q'_t dt = q'_m \frac{n}{n+1} T_0; \quad (7)$$

$$Y_m = \int_0^{T_n} q_t dt = q_m \frac{m}{m+1} T_n; \quad (8)$$

У період весняних водопіль і дощових паводків рідкої повторюваності водозбори річок, як правило, перебувають у досить перезволоженому стані. Очевидно, що за таких умов витрати опадів самі по собі незначні, а крім того,  $Y'_m$  і  $Y_m$  будуть мало різнитися між собою. Таки чином, при проходженні паводків і водопіль шари стоку зі схилів і в русловій мережі можна вважати однаковими, тобто

$$Y'_m = Y_m \quad (9)$$

При використанні (7) і (8)

$$q'_m \frac{n}{n+1} T_0 = q_m \frac{m}{m+1} T_n \quad (10)$$

Максимальний модуль стоку  $q_m$  буде становити

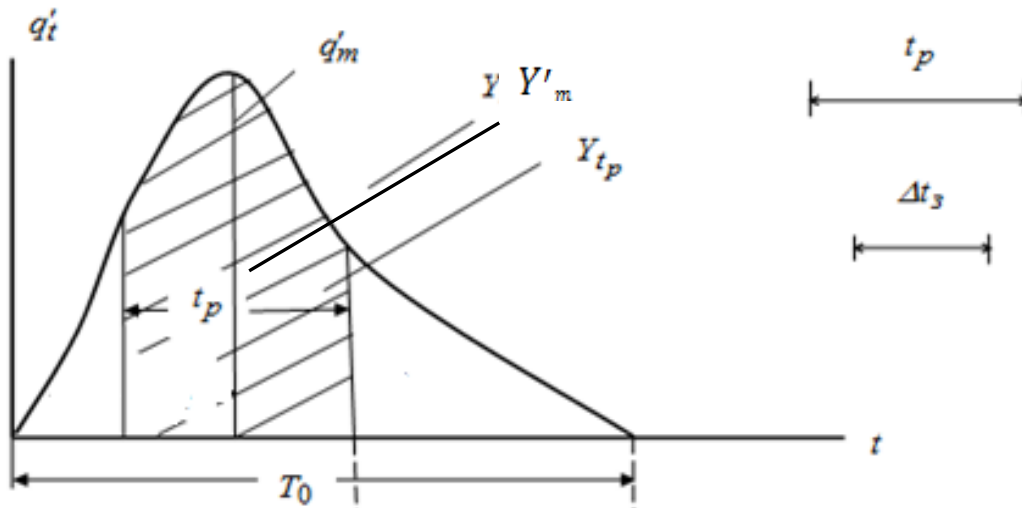
$$q_m = q'_m \left( \frac{m+1}{n+1} \right) \frac{T_0}{T_n}, \quad (11)$$

де  $\frac{m+1}{n+1}$  - коефіцієнт часової нерівномірності стоку у русловій мережі;  $\frac{n+1}{n}$  - коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу

до руслової мережі;  $\frac{m+1}{n} = k_m$  - коефіцієнт трансформації гідрографів дощових паводків і весняних водопіль в період переміщення їх по річковій мережі;

$\frac{T_0}{T_n} = \frac{T_0}{T_0 + t_p + \Delta t_a} = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0} + \frac{\Delta t_a}{T_0}} = k_n$  - збірний коефіцієнт русло-заплавного регулювання стоку на протязі переміщення паводків і водопіль;

а) гідрограф схилового припливу



б) гідрограф руслового стоку  $t_p < T_0$

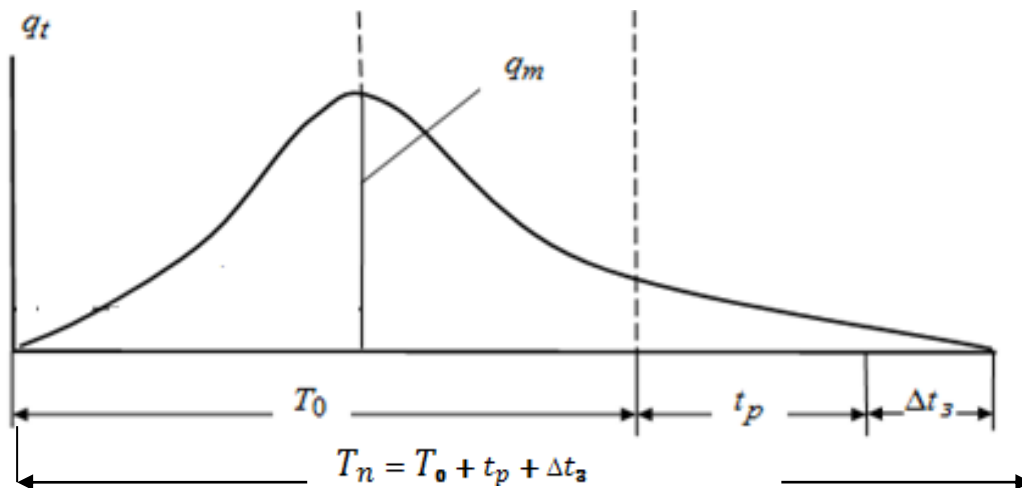


Рис.2 – Принципова схема формування паводкового (повеневого) стоку при  $T_0 > t_p$ .

$\frac{\Delta t_2}{T_0}$  - витрати води у русловій мережі на протязі періоду переміщення об'єму паводків і водопіль після добігання їх до розрахункового створу.

Представимо рівняння (11) у більш компактному вигляді, а саме

$$q_m = q'_m k_m k_n \quad (12)$$

Якщо ліву і праву частину (12) поділити на  $q'_m$ , та

$$\frac{q_m}{q'_m} = k_m k_n = f(F) = \frac{1}{(F+1)^{n_1}} \quad (13)$$

У розгорнутому вигляді, спираючись на (6), запишемо максимальний модуль стоку в редакції

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m = k_0 Y_m \quad (14)$$

де  $k_0 = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0}$  - коефіцієнт трансформації схилового стоку.

Таким чином, формули для розрахунку максимальних модулів стоку можна записати у вигляді:

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}} \quad (15)$$

або

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F+1)^{n_1}} \quad (16)$$

Структури (15) і (16) повною мірою співпадають з формулами, наведеними у чинному нормативному документі СНІП 2.01.14-83 [2].

Але між ними існують і суттєві розбіжності, які обумовлені відсутністю гідрологічних спостережень за характеристиками схилового припливу. Зокрема, це стосується параметрів

$$q'_m \cdot \frac{n+1}{n} \text{ і } T_0.$$

**Результати дослідження.** З метою подолання об'єктивних труднощів обґрунтовується наступний алгоритм:

1. На підставі (6) запишемо вираз

$$q_m = \frac{m+1}{m} \frac{1}{T_n} Y_m \quad (17)$$

Параметри  $\frac{m+1}{m}$ ,  $T_n$ ,  $Y_m$  можна визначити безпосередньо за матеріалами гідрологічних спостережень, причому:  $T_n$  (тривалість паводків або водопіль);  $Y_m$  (шар стоку) – розраховується також по даних гідрологічних спостережень;  $q_m$  – максимальний модуль гідрографів паводків (водопіль);  $\frac{m+1}{m}$  – коефіцієнт часової нерівномірності стоку на протязі паводка (водопілля).

2. Спираючись на гідрологічні спостереження і параметри  $q_m$ ,  $T_n$  і  $Y_m$ , встановлюється  $\frac{m+1}{m}$ , а саме

$$\frac{m+1}{m} = \frac{q_m \cdot T_n}{Y_m} k_D \quad (18)$$

3. Узагальнення  $\frac{m+1}{m}$  по території відбувається на основі побудови залежності  $\frac{\lg(m+1)}{m} = \text{flg}(F+1)$

4. На основі формалізації цієї залежності за допомогою функції експонентного вигляду визначається коефіцієнт схилової нерівномірності  $\frac{n+1}{n}$ , тобто

$$\frac{m+1}{m} = \frac{n+1}{n} e^{-a \lg(F+1)} \quad (19)$$

5. За результатами статистичної обробки часових рядів витрат води і шарів стоку будується залежність  $\lg q_m = \text{flg}(F+1)$ . На її основі визначається степеневий показник  $n_1$

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}} \quad (20)$$

6. Індивідуальні значення  $q'_m$  встановлюються, спираючись на (20) і степеневий показник  $n_1$

$$q'_m = q_m (F+1)^{n_1}, \quad (21)$$

де  $q_m$  і  $n_1$  – максимальні модулі і степеневий показник  $n_1$ , які визначаються за результатами статистичної обробки вихідних матеріалів гідрологічних спостережень.

7. Приймаючи до уваги рівняння схилового стоку (21) і (6), запишемо тотожність

$$\frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y'_m = q_m (F+1)^{n_1}, \quad (22)$$

а безпосередньо з неї –  $T_0$ , тобто

$$T_0 = \frac{\frac{n+1}{n} Y'_m}{[q_m (F+1)^{n_1}]} \quad (23)$$

У подальшому тривалість схилового припливу  $T_0$ , як й інші параметри, підпадає досліджень на регіональному рівні.

**Висновки.** Засновані на геометричній моделі розрахункові параметри формул максимального стоку дощових паводків і весняних водопіль мають обмежені сфери їх використання. Причини пов'язані з відсутністю гідрологічних спостережень за характеристиками схилового припливу.

В статті пропонується методика, яка є результатом узагальнення гідрографів схилового і руслового стоку.

#### Список літератури

1. Гопченко Є. Д. Гідрологічні розрахунки. Підручник / Гопченко Є. Д., Лобода Н. С., Овчарук В. А. – Одеса : ТЕС, 2014. – 483 с.
2. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л., Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.

**Гопченко Є. Д., Романчук М. Є. Кирилюк О. С. Нормування розрахункових характеристик максимального стоку весняних водопіль і дощових паводків, заснованих на геометричних моделях їх гідрографів.** Серед характеристик максимальному стоку дощовим паводкам і весняним водопіллям належить особливе місце, оскільки від їх розмірів залежить безпечність функціонування гідротехнічних споруд, населених пунктів, розміщення господарських об'єктів й інш. Нормативна база по характеристикам є недосконалою. Відсутність матеріалів спостережень за гідрологічним режимом, особливо схилового стоку, залишається свого роду гальмом при розробці надійних рекомендацій і їх застосуванню. У спеціальній літературі є досить багато посилань на окремі авторські дослідження максимального стоку річок. Щодо практичних застосувань, то вони обмежуються емпіричними структурами. Автори статті при обґрунтуванні робочого варіанту скористались моделями, віднесеними до геометричних одномодальних схем. Обмеженість даних по схиловому припливу сприяла дослідженням, які були використанні для вирішення поставлених завдань і розробці теоретичних положень. Рекомендації доведені до рівня практичних застосувань і відкривають свого роду шляхи покращення як практичних, так і теоретичних можливостей.

**Ключові слова:** дощові паводки, весняні водопілля, максимальний стік, гідрографи, геометричні моделі за їх формою.

**Gorchenko E. D., Romanchuk M. E., Kyrylyuk O. S. Normalization of the calculated characteristics of the maximum runoff of spring water and rain floods, based on the geometric models of their hydrographs.** The article substantiates the methodological basis for the valuation of the design characteristics of extremely high discharges of water spring flood and storm floods, which pose a great security for hydraulic structures and their use in river basins, as well as settlements. The scientific and methodological base is based on the use of the geometric structure of single-modal hydrographs of slope inflow and channel flow. In order to simplify the calculation scheme, hydrographs are considered in an extended time format, starting with the maximum water flow. This, in turn, contributes to a spatiotemporal generalization of the characteristics of both the inclined tributary and the hydrographs of channel flow. Among the characteristics of the maximum runoff of rain floods and spring falls is a special place, because of their size depends on the safety of the operation of hydraulic structures, settlements, the location of economic objects, and others. But it should be noted that the normative base on characteristics, including SNiP 2.01.14-83 [2], remains imperfect. The absence of observation materials for the hydrological regime, especially the sloping runoff, remains a kind of brake in developing reliable recommendations and their application. In the literature there are quite a few references to individual author studies of the maximum runoff of the rivers. As far as practical applications are concerned, they are limited to empirical structures. The authors of the article, when substantiating the working variant, used models subjected to geometric one-modal schemes. The limited data on the incline influences contributed to the research that was used to solve the problems and develop theoretical provisions. The recommendations are brought to the level of practical applications and open up a kind of ways to improve both practical and theoretical capabilities. Transformation modules maximum of slope influx in the channel network is described by the coefficient of transformation hydrographs of slope influx in to the channel network and coefficient of channel and floodplain regulation.

A new universal model of high flow, which allows perform determination of the design characteristics of rain and spring floods regardless of their genesis and catchment areas are suggested.

**Keywords:** rain floods, spring floods, maximum runoff, hydrographs, geometric models according to their form.

**Гопченко Е. Д., Романчук М. Е. Кирилюк О. С. Нормирование расчетных характеристик максимального стока весенних половодий и дождевых паводков, основанных на геометрических моделях их гидрографов.** Среди характеристик максимальному стоку дождевым паводкам и весеннему половодью принадлежит особое место, поскольку от их размеров зависит безопасность функционирования гидротехнических сооружений, населенных пунктов, размещения объектов и др. Нормативная база по характеристикам остается несовершенной. Отсутствие материалов наблюдений за гидрологическим режимом, особенно склонового стока, остается своего рода припятствием при разработке надежных рекомендаций и их применению. В специальной литературе достаточно много ссылок на отдельные авторские исследования максимального стока рек. Относительно практических применений, то они ограничиваются эмпирическими структурами. Авторы статьи при обосновании рабочего варианта воспользовались моделями, отнесенными к геометрическим одномодальным схемам. Ограниченность данных по склоновому притоку способствовала исследованиям, которые были использованы для решения поставленных задач и разработке теоретических положений. Рекомендации доведены до уровня практического использования и открывают своего рода пути улучшения как практических, так и теоретических возможностей.

**Ключевые слова:** дождевые паводки, весенние половодья, максимальный сток, гидрограф, геометрические модели по их форме.

**Надійшла до редколегії 20.10.2017**