

## РОЗРАХУНКОВА ТРИВАЛІСТЬ ПРИПЛИВУ ВОДИ ЗІ СХИЛІВ ДО РУСЛОВОЇ МЕРЕЖІ В ПЕРІОД ПРОХОДЖЕННЯ ПАВОДКІВ РІДКІСНОЇ ПОВТОРЮВАНОСТІ НА РІЧКАХ ПРИКАРПАТТЯ

*У статті наводиться науково-методична база для визначення тривалості схилового припливу в умовах формування високих паводків на річках Прикарпаття.*

**Ключові слова:** максимальний стік, дощові паводки, тривалість припливу, фактори підстильної поверхні.

**Вступ.** Структура значної кількості відомих методів розрахунку максимального стоку через складну взаємодію факторів, які суттєво впливають на характеристики весняного водопілля та дощових паводків, не є оптимальною. Нормативний документ СНиП 2.01.14-83 [9], що застосовується при інженерних розрахунках, не можна визнати в достатній мірі надійним, бо в ньому використані формули, які не повною мірою враховують основні стокоформуючі фактори й особливості їхнього спільного впливу на максимальний стік [6].

Авторами прийнята більш гнучка структура, що спирається на теоретичну модель А.М. Бефані (1958) [1, 2], модифіковану Є.Д. Гопченком [8]. Вона передбачає застосування методів математичної статистики, чисельного визначення деяких невимірюваних на гідрологічній мережі параметрів (коефіцієнтів русло-заплавного регулювання і нерівномірності схилового стоку в часі, розрахункової тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі), а також географічне узагальнення тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі і шарів стоку. Запропонована модель є універсальною як для дощових паводків, так і для весняного водопілля.

Основним розрахунковим параметром використаної моделі є максимальний модуль схилового припливу, який визначається тривалістю надходження води зі схилів до руслової мережі, шарами стоку та ступеню часової нерівномірності припливу. Трансформація схилового припливу у русловій мережі враховується за допомогою двох функцій: розпластування паводкових хвиль під впливом руслового добігання та русло-заплавного регулювання.

**Матеріали та об'єкти дослідження.** Об'єктом дослідження є річки Прикарпаття, а саме праві притоки Дністра. Досліджуваний район займає дуже складну в кліматичному відношенні територію. В формуванні клімату велику роль відіграють Карпати, розташовані у південно-західній частині України. Різновид висот над рівнем моря, велике розчленування місцевості, напрям та експозиція схилів сприяють своєрідному розподілу метеорологічних величин у горах.

Іншими словами, в Карпатах утворюється своєрідний гірський клімат, що зумовлює добре виражену вертикальну зональність гідрометеорологічних величин. Згідно географічного положення і кліматичних умов, досліджуваний район знаходиться в зоні розвинутої зливної діяльності. Щорічно в тій чи іншій частині території спостерігається короткочасне випадіння великої кількості опадів, які є причиною формування значних, часто катастрофічних, дощових паводків.

Авторами використані дані 35 постів з періодами спостережень більше ніж 15 років і площами водозборів, які замикаються гідростворами від 35.1 км<sup>2</sup> (р. Дубу – с. Дуба) до 24600 км<sup>2</sup> (р. Дністер - м. Заліщики). Найбільш тривалий ряд складає 92 роки (р. Дністер - м. Заліщики), найменший - 19 років (р. Дубу - с. Дуба).

У відповідності з рекомендаціями нормативного документу СНиП 2.01.14-83, статистична обробка максимальних витрат води та шарів стоку проводилась двома методами - моментів та найбільшої правдоподібності. Їх аналіз показав, що за обома методами одержані практично однакові значення коефіцієнтів варіації. Точність вхідних даних максимального стоку дощових паводків 1%-ї ймовірності щорічного перевищення на річках Прикарпаття оцінюється на рівні 20.0%.

Як вже зазначалося вище, для розробки методики розрахунку характеристик максимального стоку дощових паводків на річках Прикарпаття була обрана структура операторного типу [4, 8], яка усуває деякі недоліки, що виникають при використанні нормативного документу СНиП 2.01.14-83.

Складовими такої моделі є гідрограф схилового припливу, функція руслового добігання і русло-заплавне регулювання.

Розрахункова структура для нормування характеристик максимального стоку річок має вигляд

$$q_m = q'_m \psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) \varepsilon_F r, \quad (1)$$

де  $q'_m$  – модуль схилового припливу ( $\text{м}^3/\text{с км}^2$ ), який розраховується за рівнянням

$$q'_m = 0.28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m; \quad (2)$$

$\frac{n+1}{n}$  – коефіцієнт нерівномірності (у часі) припливу води зі схилів до руслової мережі;

$T_0$  – тривалість схилового припливу, години;

$Y_m$  – максимальний шар стоку, мм;

$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$  – трансформаційна функція, зумовлена часом руслового добігання  $t_p$ ,

динамікою припливу води зі схилів до руслової мережі і формою річкових водозборів:

а) при  $t_p < T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n; \quad (3)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[ \frac{m+1}{m} - \frac{m+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^m \right], \quad (4)$$

$m$  - степеневий показник у рівнянні кривих ізохрон;

$\varepsilon_F$  - коефіцієнт русло-заплавного регулювання;

$r$  - коефіцієнт редуції  $q_m$  під впливом озер, водосховищ, ставків проточного типу.

Реалізація (1) передбачає визначення усіх складових, але у цій статті розглядається лише розрахункова тривалість схилового припливу  $T_0$  до руслової мережі, як складова, що не вимірюється на гідрологічній мережі.

**Реалізація та результати розрахунків.** При побудові формул максимального стоку, як вже відзначалось, найбільша складність полягає у визначенні саме параметра схилового припливу  $T_0$ . Його фізичний зміст визначено досить чітко, оскільки  $T_0$  є тривалістю схилового стоку. Однак, через зріджену мережу водно-балансових станцій та високу мінливість  $T_0$  по території використати досить простий спосіб для її визначення неможливо. Більш того, в розрахункових побудованнях взагалі йдеться не просто про тривалість припливу, а про параметр, що задовольняє умови формування паводків рідкісної повторюваності. Тому матеріали водно-балансових станцій слід розглядати як допоміжні та, головним чином, для контролю масштабу параметра  $T_0$ , що визначається зворотним шляхом за даними стаціонарної мережі станцій та постів [5].

Для річок Прикарпаття авторами використано числовий метод. Він ґрунтується на моделі ізохрон (в редакції А.М. Бефані, 1981 [3]). В узагальненому вигляді її можна представити рівнянням

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} \varphi k_2 \varepsilon'_n, \quad (5)$$

де  $Y_m$  – загальний шар припливу води зі схилів до руслової мережі, мм;

$t_p$  - час руслового добігання, години;

$\varphi$  - коефіцієнт повноти схилового припливу;

$k_2$  – гідрографічний коефіцієнт, який дорівнює:

$$k_1 - \text{при } \left( \frac{t_p}{T_0} \right) < 1.0;$$

$$k_2 - \text{при } \left( \frac{t_p}{T_0} \right) \geq 1.0;$$

$\varepsilon'_n$  - коефіцієнт русло-заплавного регулювання.

При визначенні тривалості схилового припливу  $T_0$  постає потреба й у визначенні коефіцієнта нерівномірності схилового припливу  $\frac{n+1}{n}$ . Він встановлюється за методом, який свого часу був запропонований Є.Д. Гопченком [7], і базується на даних мережі гідрологічних станцій і постів.

Для обґрунтування  $\frac{n+1}{n}$  використовуються коефіцієнти нерівномірності руслового стоку  $\frac{m_1+1}{m_1}$ . Екстраполяція залежності  $\frac{m_1+1}{m_1} = f(F)$  на вісь ординат є

$$\text{шукане значення параметра } \left( \frac{m_1+1}{m_1} \right)_{F=0} = \frac{n+1}{n}.$$

Для річок Прикарпаття  $\frac{n+1}{n} = 8.86$ , а  $n = 0.13$ .

При одномодальній формі гідрографів схилового припливу  $k_1$  та  $k_2$  у параметричній формі дорівнюють:

а) при  $\left(\frac{t_p}{T_0}\right) < 1.0$

$$k_1 = \frac{1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n}{1 - \frac{1}{n+1} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n}; \quad (6)$$

б) при  $\left(\frac{t_p}{T_0}\right) \geq 1.0$

$$k_2 = \frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^m. \quad (7)$$

Коефіцієнт повноти схилового припливу  $\varphi$  становить [5]:

а) при  $\left(\frac{t_p}{T_0}\right) < 1.0$

$$\varphi = \frac{n+1}{n} \frac{t_p}{T_0} \left[ 1 - \frac{1}{n+1} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n \right]; \quad (8)$$

б) при  $\left(\frac{t_p}{T_0}\right) \geq 1.0$

$$\varphi = 1.0. \quad (9)$$

Підставляючи у формулу (5) рівняння (6)-(9) та виконавши деякі перетворення, вихідна структура можна записати у такому вигляді [5]:

а) при  $t_p < T_0$

$$\frac{nq_m}{Y_m \varepsilon'_n} T_0^{n+1} - (n+1)T_0^n + \frac{m+1}{n+m+1} t_p^n = 0; \quad (10)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$\frac{1}{m+1} T_0^m + \frac{m(n+m+1)}{(n+1)(m+1)} \left[ \frac{q_m}{Y_m \varepsilon'_n} t_p - \frac{m+n+1}{n+1} \right] t_p^m = 0. \quad (11)$$

У (10) і (11), окрім  $T_0$ , невідомим є ще й  $\varepsilon'_n$ , отже, вирішення кожного з цих рівнянь відбувається не з одним, а з двома невідомими. Для пошуку  $T_0$  використовується поетапний метод однокрокової ітерації. Вирішення (11), тобто за умови  $\left(\frac{t_p}{T_0}\right) > 1.0$ , особливих складностей не викликає. При  $\left(\frac{t_p}{T_0}\right) < 1.0$  шукане значення  $T_0$  визначити складніше, оскільки (10) відноситься до трансцендентного типу.

Як вже зазначалося, особливістю рівнянь (10) та (11) є те, що кожне з них містить по дві невідомі величини –  $T_0$  та  $\varepsilon'_n$ , не утворюючи системи. Алгоритм вирішення побудовано таким чином, що на першому етапі наближення  $\varepsilon'_n$  приймається рівним 1.0. Пошук  $T_0$  здійснюється у структурі (10), тому що це рівняння є більш загальним випадком, ніж (11), тим більше, що ітераційна процедура передбачає перший крок  $T_{01}$ , більший за  $t_p$ . Якщо на якомусь кроці  $i$ -го наближення  $t_p \geq T_0$ , то пошук  $T_0$  здійснюється за структурою (11). Точність визначення коренів рівняння (10) задана на рівні  $\varepsilon'_n \approx 0.001$  год., що суттєво вище від точності вихідної інформації по максимальному стоку. Усі значення  $T'_0$ , отримані при вирішенні (10) та (11) при  $\varepsilon'_n = 1.0$ , дають завищені результати і тим більші, чим більша площа водозбору, оскільки коефіцієнт русло-заплавного регулювання і водообміну  $\varepsilon'_n$  має спадний характер при збільшенні площі водозборів. Заключною на першому етапі є залежність зв'язку  $T'_0 = f(F)$ . Екстраполяція її на вісь ординат дозволяє орієнтовно оцінити  $T_0$  для водозборів, у межах яких відсутні залісеність та заболоченість. Перш ніж перейти до другого етапу визначення  $T_0$ , необхідно визначити по кожному водозбору коефіцієнт русло-заплавного регулювання  $\varepsilon'_n$ .

Виходячи з (5), та визначеній тривалості  $T_{01}$ ,

$$\varepsilon'_n = \frac{q_m t_p}{Y_m} / (\varphi k_z). \quad (12)$$

Узагальнення  $\varepsilon'_n$  по території виконується в залежності від площі водозборів  $F$ , причому для досліджуваного регіону

$$\varepsilon'_n = \exp(-0.261 \lg(F + 1)). \quad (13)$$

Тепер, скориставшись (13), розраховуються величини  $T_0$  у другому наближенні, але вже з врахуванням русло-заплавного регулювання паводків.

На кафедрі «Гідрології суші» ОДЕКУ розроблено прикладне програмне забезпечення, яке спрощує процедуру визначення розрахункової тривалості схилового припливу за допомогою ПК.

Отримані значення перевірені на залежність від місцевих факторів (висотного положення водозборів, залісеності і заболоченості), впливу яких на  $T_0$  не виявлено. Оскільки величина  $T_0$  на досліджуваній території мало змінюється від водозбору до водозбору, це, за критерієм Гауса, дало змогу осереднити розрахункову тривалість

схилового припливу  $T_0$  для річок Прикарпаття в період дощових паводків на рівні 66 годин (приблизно 3 доби).

**Висновок.** Для річок Прикарпаття виявилось за можливе обґрунтувати для розрахунку характеристик максимального стоку дощових паводків тривалість схилового припливу та прийняти її на рівні 66 годин. Завдяки цьому відкривається перспектива застосування при розрахунках максимального стоку більш досконалих математичних моделей, ніж ті, що використані в діючому в Україні СНиП 2.01.14 – 83 (хоча в юридичному відношенні він вже неправомірний та взагалі скасований його засновниками ще у 2003 році).

### Список літератури

1. *Бефани А.Н.* Основы теории ливневого стока // Труды ОГМИ, 1958. – Ч. II. – Вып. XIV. – С. 305.
2. *Бефани А.Н.* Теория формирования паводков и методы их расчета. – Л.: Гидрометеиздат, 1969. – Т.1. – 35с.
3. *Бефани А.Н., Бефани Н.Ф., Гопченко Е.Д.* Региональные модели формирования стока на территории СССР. – Обнинск, 1981. – Вып. 2. – 60с.
4. *Гопцій М.В., Гопченко Є.Д.* Про недоліки структурної бази нормативного документу СНиП 2.01.14-83 // Вісник ОДЕКУ. - 2009. - Вип. 8. – С.209-213.
5. *Гопченко Е.Д.* О редуции максимальных модулей дождевого стока по площади // Метеорология, климатология и гидрология. – 1975. – № 12. – С.66-71.
6. *Гопченко Е.Д., Гушля А.В.* Гидрология с основами мелиорации. – Л.: Гидрометеиздат, 1989. – 303с.
7. *Гопченко Е.Д., Симонова Т.А.* О расчете максимальных расходов весеннего половодья в бассейне р.Оки // Водные ресурсы. - №6. – С. 54-61.
8. *Гопченко Є.Д.* Сучасна нормативна база в галузі максимального стоку та шляхи її удосконалення // Наук. праці УкрНДГМІ. – 2006. - Вип. 255. – С.201 – 212.
9. *Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.* - Л.: Гидрометеиздат, 1984. - 448 с.

**Расчетная продолжительность притока воды со склонов в русловую сеть в период прохождения паводков редкой повторяемости на реках Прикарпатья.**

**Гопцій М.В., Гопченко Е.Д.**

*В статье приводится научно-методическая база для определения продолжительности склонового притока в условиях формирования высоких паводков на реках Прикарпатья.*

**Ключевые слова:** максимальный сток, дождевые паводки, продолжительность притока, факторы подстилающей поверхности.

**Calculation duration of inflow of water from slopes in a river-bed network in the period of passing of floods of rare repetition on the rivers of Prikarpatyya.**

**Goptsiy M., Gopchenko E.**

*In the article a scientific-methodical base for determination of duration of slope inflow in the conditions of forming of high floods on the rivers of Prikarpatyya is brought.*

**Keywords:** maximal flow, rain floods, duration of inflow, factors of laying surface.