

УДК 556.166

Є.Д. Гопченко\*, д.з.н., М.Є. Романчук\*, к.з.н., Г.С. Головатюк\*\*, к.з.н., Бін Салім  
Фуад Фараг Салем\*, асп., В.А. Овчарук\*, к.з.н.

\*Одеський державний екологічний університет

\*\*Одеський державний політехнічний університет

## АНАЛІЗ ДІЮЧОЇ В УКРАЇНІ НОРМАТИВНО-РОЗРАХУНКОВОЇ БАЗИ В ГАЛУЗІ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ

*У статті розглядаються структурні недоліки нормативної бази СНіП 2.01.14-83 по розрахунках характеристик максимального стоку дощових паводків.*

**Ключові слова:** паводки, максимальний стік, нормативні документи, формули граничної інтенсивності, редуційні формули.

**Вступ.** Відомо, що до цього часу в Україні при розрахунках максимального стоку паводків і водопіль використовується нормативний документ СНіП 2.01.14-83 [1], яким узагальнені матеріали спостережень до 1980 року, і він був єдиним для усього простору колишнього СРСР. Слід зауважити, що в Росії та більшості країн СНД цей норматив припинив свою дію ще у 2003 році, коли було запропоновано СП 33-101-2003. Йдеться не лише про те, що з прийняттям СНіП 2.01.14-83 минуло майже 30 років, а також і маючи на увазі, що у межах окремих регіонів відбулися катастрофічно високі паводки. Зокрема, останнє спостерігалось у 2008 р. у Прикарпатті і супроводжувалося величезними збитками.

Аналізуючи сучасну нормативну базу по розрахунках характеристик максимального стоку, діючи в Україні, автори ставлять за мету вирішення двох проблемних питань:

- 1) з'ясувати її структурні недоліки.
- 2) встановити границі можливого застосування.

**Сучасний нормативний документ СНіП 2.01.14-83 і його недоліки.** Розрахунки максимальних витрат води дощових паводків визначаються в залежності від розмірів водозборів, причому:

- а) при площах водозборів  $F < 200 \text{ км}^2$  – за формулою граничної інтенсивності

$$q_p = A_{1\%} H_{1\%} \eta \delta \lambda_p; \quad (1)$$

- б) в діапазоні водозбірних площ  $F \geq 200 \text{ км}^2$  – за одним з варіантів редуційної формули

$$q_p = q_{200} \left( \frac{200}{F} \right)^{n_2} \delta \delta_2 \delta_3 \lambda_p, \quad (2)$$

де  $q_p$  - максимальний модуль забезпеченістю  $P\%$ ;

$A_{1\%}$  - максимальний модуль стоку забезпеченістю  $P=1\%$ , віднесений до  $\eta H_{1\%}$ ;

$H_{1\%}$  - добовий максимум опадів забезпеченістю  $P=1\%$ ;

$\eta$  - збірний коефіцієнт стоку;

$\delta$  - редуційний коефіцієнт для врахування впливу водойм проточного типу;

$\lambda_p$  - коефіцієнт для переходу від забезпеченості  $P=1\%$  до інших;

$q_{200}$  - модуль максимальної миттєвої витрати води забезпеченістю  $P=1\%$ , віднесений до площі  $F=200 \text{ км}^2$ ;

$n_2$  - степеневий показник;

$\delta_2$  і  $\delta_3$  - коефіцієнти для врахування впливу на максимальний стік боліт та висотного положення водозборів.

Слід однак зауважити, що рекомендації стосовно  $\delta_3$  надаються лише для гірських регіонів Кавказу і Середньої Азії.

**Аналіз теоретичної бази формули граничної інтенсивності (1).** Перш за все, необхідно прийняти до уваги, що в ній параметр  $A_{1\%}$  виконує редуційну функцію трансформації паводків при збільшенні розмірів водозборів, і фактично є тотожним ординатам редуційних кривих максимальних інтенсивностей опадів у часі, тобто

$$A_{1\%} = 16.67 \bar{\psi}(\tau_{\dot{a}}), \quad (3)$$

де  $\tau_{\dot{a}}$  - тривалість басейнового добігання, яка дорівнює

$$\tau_{\dot{a}} = 1.2 t_p^{1.1} + t_{cx}, \quad (4)$$

$\bar{\psi}(\tau_{\dot{a}})$  - ординати редуційних кривих дощові опадів у часі;

$t_p$  - тривалість руслового добігання;

$t_{cx}$  - тривалість схилового добігання.

Звертаємо увагу на не досить коректну трактовку параметра  $\tau_{\dot{a}}$ , оскільки фактично йдеться про розрахункову тривалість, яка може бути суттєво більшою за басейнову тривалість добігання  $\tau_{\dot{a}}$

$$\tau_{\dot{a}} = t_p + t_{cx}. \quad (5)$$

З іншого боку, більш детально розглянемо фізичний зміст самого параметра  $\bar{\psi}(\tau_{\dot{a}})$ . З цією метою спочатку запишемо (1) у дещо відмінній редакції, приймаючи, що добові опади  $\dot{I}_{\dot{a}}$  співпадають з  $H_m$ , а  $\delta$  і  $\lambda_p$  дорівнюють одиниці. Тоді

$$q_m = 16.67 \bar{\psi}(\tau_{\dot{a}}) Y_m, \quad (6)$$

де  $Y_m$  - шар стоку за паводок, тобто

$$Y_m = H_m \eta. \quad (7)$$

Спираючись на теорію руслових ізохрон, для невеликих водозборів можна записати розрахункові рівняння [2]:

а) при  $t_p < T_0$

$$q_m = \frac{1}{t_p} \int_0^{t_p} q'_t \varepsilon_t dt; \quad (8)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$q_m = \frac{1}{t_p} \int_0^{T_0} q'_t \varepsilon_t dt \quad (9)$$

де  $q'_t$  - модуль схилового припливу;

$\varepsilon_t$  - функція русло-заплавного регулювання.

У редуційному вигляді  $q'_t$  можна записати у такій редакції [3]

$$q'_t = q'_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_0} \right)^n \right], \quad (10)$$

де  $T_0$  – тривалість надходження води зі схилів до руслової мережі;

$q'_m$  - максимальний модуль схилового припливу.

Інтегрування (8) і (9), відповідно по  $t_p$  і  $T_0$ , з урахуванням (10), дозволяє отримати загальне рівняння стосовно максимального модуля стоку  $q_m$

$$q_m = q'_m \psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) \varepsilon_F, \quad (11)$$

де  $\varepsilon_F$  - коефіцієнт русло-заплавного регулювання паводків;

$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$  - трансформаційна функція розпластування паводкових хвиль під впливом часу руслового добігання, причому:

а) при  $\frac{t_p}{T_0} = 0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1.0; \quad (12)$$

б) при  $0 < \frac{t_p}{T_0} < 1.0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1 - \frac{1}{n+1} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n; \quad (13)$$

в) при  $\frac{t_p}{T_0} \geq 1.0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p}; \quad (14)$$

г) при  $t_p \gg T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 0. \quad (15)$$

Якщо (10) проінтегрувати по  $T_0$ , то

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m, \quad (16)$$

де  $\frac{n+1}{n}$  - коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу.

Підставимо (16) в (11), тоді

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} \psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) Y_m \varepsilon_F. \quad (17)$$

Позначимо  $\frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} \psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ , як нову трансформаційну функцію, через

$\tilde{\varphi}\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ . Таким чином,

$$q_m = \tilde{\varphi}\left(\frac{t_p}{T_0}\right) Y_m \varepsilon_F. \quad (18)$$

Нова трансформаційна функція розпластування  $\tilde{\varphi}\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$  буде приймати такі значення:

а) при  $\frac{t_p}{T_0} = 0$

$$\tilde{\varphi}\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0}, \quad (19)$$

що є її верхньою межею;

б) при  $0 < \frac{t_p}{T_0} < 1.0$

$$\tilde{\varphi}\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} \left[ 1 - \frac{1}{n+1} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n \right]; \quad (20)$$

в) при  $\frac{t_p}{T_0} \geq 1.0$

$$\tilde{\varphi}\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{1}{t_p}; \quad (21)$$

г) при  $t_p \gg T_0$

$$\tilde{\varphi}\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 0. \quad (22)$$

Порівнюючи структури (6) і (18), дійдемо висновку, що крива редукції середньої інтенсивності опадів у часі  $\bar{\psi}(\tau_a)$  неправомірно використовується замість трансформаційних функцій розпластування  $\tilde{\varphi}\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$  і русло-заплавного регулювання  $\varepsilon_F$ . Очевидно, що

$$\bar{\psi}(\tau_a) = \tilde{\varphi}\left(\frac{t_p}{T_0}\right) \varepsilon_F. \quad (23)$$

**Аналіз теоретичної бази редукційної формули.** У нормативному документі СНіП 2.01.14-83 вона використовується при  $F > 200 \text{ км}^2$  і має вигляд (2). Щоб дослідити її структуру, необхідно розглянути гідрограф паводка, який до того ж доцільно представити у розгортці від максимальної ординати, тобто [4]

$$q_t = q_m \left[ 1 - \left(\frac{t}{T_n}\right)^m \right], \quad (24)$$

де  $T_n$  - тривалість паводка.

В результаті інтегрування (24) по  $T_n$  отримаємо

$$Y_m = q_m \frac{m}{m+1} T_n, \quad (25)$$

звідки

$$q_m = \frac{m+1}{m} \frac{Y_m}{T_n}, \quad (26)$$

де  $\frac{m+1}{m}$  - коефіцієнт нерівномірності паводкового стоку у часі.

У подальшому домножимо чисельник і знаменник (26) на  $(T_0+t_p)$  і після деяких перетворень отримаємо базове рівняння

$$q_m = \frac{q'_m}{1 + \frac{t_p}{T_0}} k_n k_m, \quad (27)$$

де  $k_n = \frac{T_0+t_p}{T_n}$ , а  $k_m = \frac{m+1}{m} / \frac{n+1}{n}$  - редуційні коефіцієнти, пов'язані з трансформацією паводкових хвиль при їх русі по руслових системах.

Необхідною умовою для можливого спрощення (27) до рівня (2), перш за все, повинна бути незмінність у просторі тривалості схилового припливу  $T_0$ . Тільки тоді можна редуційні коефіцієнти  $1 / \left(1 + \frac{t_p}{T_0}\right)$ ,  $k_n$  і  $k_m$  інтегрально відобразити через площу водозбору  $F$ . У такому випадку (27) набуде вигляду

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}} \quad (28)$$

або

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F+1)^{n_1}}, \quad (29)$$

де  $k_0$  - коефіцієнт схилової трансформації паводків

$$k_0 = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0}. \quad (30)$$

Структура (29) увійшла до нормативного документу СНіП 2.01.14-83 при розрахунках максимального стоку весняного водопілля. Але шляхом введення поправок на залісеність ( $\delta_1$ ) і заболоченість ( $\delta_2$ ) розробниками нормативу фактично порушена вихідна умова отримання спрощеного варіанту (29), бо поправки  $\delta_1$  і  $\delta_2$  можуть відноситись як до шарів стоку  $Y_m$ , так само й до тривалості припливу  $T_0$ .

Для дощових паводків можливим є більш суттєве спрощення (27), ніж (28) або (29), коли окрім  $T_0$  підлягає осередненню у просторі ще й шар стоку  $Y_m$ . У цьому випадку  $q'_m = k_0 Y_m$  є осередненою величиною у межах тієї чи іншої території. Виходячи з (28), визначимо розрахунковий модуль  $q_{200}$

$$q_{200} = \frac{q'_m}{200^{n_1}}. \quad (31)$$

Розрахункове рівняння для площ водозборів  $F > 200 \text{ км}^2$  набуде вигляду

$$q_m = \frac{q_{200}}{(F/200)^{n_2}} \quad (32)$$

або

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{F^{n_2}} 200^{n_2 - n_1}. \quad (33)$$

Наведені структурні вирази (32) і (33) дозволяють зробити наступні **висновки**:

1. Прийнята і реалізована у нормативному документі формула вигляду (32) при розрахунках максимального стоку паводків суперечить вихідним умовам, при яких вона отримана, бо не лише допускається картування модуля  $q_{200}$ , а ще й запропоновані поправки на врахування впливу на паводковий стік заболоченості, а для гірських районів – також і висотного положення водозборів.

2. Структура (32) має фактично емпіричну сутність, оскільки немає фізичних обмежень зверху. Параметр  $q_{200}$  є лише однією з ординат редуційної кривої  $q_m/q'_m = f(F)$  або  $q_m = f(F)$ . Верхньою фізичною межею для максимальних модулів як паводків, так і водопіль може бути лише модуль схилового припливу  $q'_m$ , що добре видно і з базової структури (27), і її спрощеного варіанту (28).

3. Граничній умові  $q_m = q'_m$  при  $F=200 \text{ км}^2$  відповідає тільки один можливий варіант (2), коли показник степені  $n_1$  в діапазоні водозбірних площ  $F \leq 200 \text{ км}^2$  дорівнює нулю і тоді (33) набуває вигляду

$$q_m = \frac{q'_m}{F^{n_2}} 200^{n_2 - n_1} = q_{200} \left( \frac{200}{F} \right)^{n_2}. \quad (34)$$

Але і в цьому випадку більш прийнятною замість (2) буде структура

$$q_m = \frac{k_0 Y_m}{(F / 200)^{n_2}}, \quad (35)$$

оскільки вона є більш гнучкою, з точки зору просторового узагальнення розрахункових параметрів  $k_0$  та  $Y_m$ .

Викладене свідчить про невідповідність нормативних документів в частині розрахунку характеристик максимального стоку паводків, перш за все, у науково-методичному відношенні. З іншого боку, вона є застарілою, бо розрахункові параметри спираються лише на дані спостережень до 1980 року.

Тому розробка нового державного нормативного документу в галузі розрахунку характеристик максимального стоку є невідкладним завданням, а його вирішення потребує нових підходів як до створення теоретичної бази, так і просторового узагальнення параметрів, що його описують. Більш того, структура розрахункової формули повинна бути єдиною і для паводків, і для водопіль, а також для всього діапазону водозбірних площ, починаючи від окремих схилів і до великих розгалужених річкових систем.

### Список літератури

1. *Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик.* – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.
2. *Гопченко Е.Д.* Научно-методические основы нормирования характеристик максимального стока рек // Вісник ОДЕКУ, 2006. – Вип.3. – С.140-150.
3. *Гопченко Е.Д.* О редуции максимальных модулей дождевого стока по площади // Метеорология и гидрология, 1975. - №2. – С.66-71.
4. *Гопченко Е.Д.* Анализ структуры объёмных формул // Метеорология, климатология и гидрология, 1976. – Вип.12. – С.84-90.

### Анализ действующей в Украине нормативно-расчетной базы в области максимального стока дождевых паводков.

**Е.Д. Гопченко, М.Е. Романчук, Г.С. Головатюк, Бин Салим Фуад Фараг Салем, В.А. Овчарук,**  
*В статье рассматриваются структурные недостатки нормативной базы СНиП 2.01.14-83 по расчётам характеристик максимального стока дождевых паводков.*

**Ключевые слова:** *паводки, максимальный сток, нормативные документы, формулы предельной интенсивности, редуционные формулы.*

**The analysis of normative-calculating base, working in Ukraine, in the field of the maximal runoff of floods.** *Gopchenko E.D, Romanchuk M.E., Golovatyuk G.S., Ben Farag, Ovcharuk V.A.*

*In article the structural lacks of normative base SNiP 2.01.14 - 83 on calculation of the characteristics maximal runoff of floods are considered.*

**Keywords:** *floods, maximal runoff, normative documents, formula of limiting intensity, reduction formulas.*