

УТОЧНЕННЯ РОЗРАХУНКОВИХ МОДУЛІВ ПАВОДКОВОГО СТОКУ НА РІЧКАХ ПІВДНЯ УКРАЇНИ

Розглядаються науково-методичні підходи щодо встановлення розрахункових характеристик паводкового стоку в басейні р. Південний Буг.

Ключові слова: дощові паводки, невеликі річки, максимальні модулі, добові опади.

Вступ. Існуюча в Україні гідрологічна мережа вимірювань стокових характеристик, як правило, охоплює середні і великі за розмірами водозбори. Малі водотоки (з площею водозборів $F < 100 \text{ км}^2$) у своїй більшості залишаються невивченими. Долається цей недолік тим, що дослідники якимось чином здійснюють екстраполяцію за межі регіональних залежностей характеристики максимального стоку. Але невизначеність фізичних обмежень часто призводить до ризиків при вирішенні питань, пов'язаних з гідрологічним обґрунтуванням водогосподарських проектів. Серед них найбільш масовими є мостові переходи залізничних і шосейних шляхів через невеликі водотоки. Таким чином, актуальність проблеми полягає, перш за все, в одержанні вихідних даних по максимальному стоку малих водозборів, а також у розробці відповідної розрахункової схеми.

Сучасний стан в області розрахунку характеристик максимального паводкового стоку з невеликих водозборів. У більшості країн стосовно невеликих водозборів найбільш поширені ті чи інші варіанти так званих формул граничної інтенсивності вигляду

$$q_m = \bar{\alpha}_\tau \cdot \eta, \quad (1)$$

де q_m – розрахунковий модуль стоку;

η – коефіцієнт стоку;

$\bar{\alpha}_\tau$ – інтенсивність за розрахунковий інтервал часу τ .

Структура (1) свого часу була використана при підготовці у Радянському Союзі нормативних документів СН 435-72 [1] і СНіП 2.0114-83 [2] для розрахунку максимального стоку дощових паводків з невеликих водозборів ($F < 100 - 200 \text{ км}^2$). В них параметр α_τ визначався в залежності від добового максимуму опадів, а саме

$$\alpha_\tau = H_\partial \cdot \bar{\psi}(\tau), \quad (2)$$

де $\bar{\psi}(\tau)$ – ординати редуційних кривих опадів.

З метою фізичної інтерпретації параметра $\bar{\psi}(\tau)$ запишемо диференціальне рівняння формування стоку з невеликих водозборів (без ефектів русло-заплавного регулювання) у вигляді

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} + \frac{\partial Q}{\partial x} = q_t', \quad (3)$$

де q_t' – модуль схилового припливу.

Інтегрування (3) дає змогу отримати у загальній редакції розрахункове рівняння

$$q_m = \frac{Y_m}{t_p} \cdot \varphi, \quad (4)$$

де Y_m - шар стоку за паводок;

t_p - тривалість руслового добігання;

φ - коефіцієнт, числові значення якого залежать від часової динаміки схилового стоку, причому:

- при $(t_p/T_0) < 1.0$

$$\varphi = \left(1 - \frac{1}{n+1} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n \right) \cdot \frac{n+1}{n} \cdot \frac{t_p}{T_0}; \quad (5)$$

- при $(t_p/T_0) \geq 1.0$

$$\varphi = 1.0, \quad (6)$$

де T_0 - тривалість схилового припливу;

$n \leq 1.0$ - степеневий показник у рівняннях редукційних гідрографів схилового припливу.

Порівнюючи формули (4), з одного боку, та (1) з урахуванням (2), з іншого, можна дійти висновку, що

$$\bar{\psi}(\tau) = \varphi/t_p \quad (7)$$

- при $t_p < T_0$, очевидно,

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

- при $t_p \geq T_0$

$$\bar{\psi}(\tau) = \frac{1}{t_p}. \quad (9)$$

Таким чином, ні (8), ні тим більше (9), не передбачають використання редукційних кривих дощових опадів у часі. Викладене свідчить про те, що по невеликих водозборах не лише відсутні матеріали спостережень за стоком річок, а й має місце недосконалість діючих розрахункових методик.

Науково-методична база, що пропонується для нормування розрахункових характеристик паводкового стоку з невеликих річок. Авторами за основу взята теоретична модель руслових ізохрон. В залежності від співвідношення між тривалостями руслового добігання t_p і схилового припливу T_0 :

- при $t_p < T_0$

$$Q_m = VB \int_0^{t_p} q'_t \varepsilon_t dt ; \quad (10)$$

- при $t_p \geq T_0$

$$Q_m = VB \int_0^{T_0} q'_t \varepsilon_t dt , \quad (11)$$

де Q_m - максимальна витрата води;

V - швидкість руслового добігання паводкових хвиль;

B - ширина елементарного водозбору;

ε_t - функція русло-заплавного регулювання паводків.

Модуль схилового припливу визначається у вигляді

$$q'_t = q'_m \left[1 - \left(\frac{t}{T_0} \right)^n \right], \quad (12)$$

де q'_m - максимальний модуль схилового припливу.

Інтегрування (10) і (11), з урахуванням (12), та узагальнення рішень дає змогу отримати розрахункову структуру

$$q_m = q'_m \psi(t_p/T_0) \cdot \varepsilon_F, \quad (13)$$

де $\psi(t_p/T_0)$ - трансформаційна функція розпластування

- при $t_p/T_0 = 0$

$$\psi(t_p/T_0) = 1,0; \quad (14)$$

- при $t_p < T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = 1 - \frac{1}{n+1} \left(\frac{t_p}{T_0} \right)^n ; \quad (15)$$

- при $t_p \geq T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} ; \quad (16)$$

- при $t_p \gg T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = 0; \quad (17)$$

ε_F - коефіцієнт русло-заплавного регулювання паводків, який можна представити функцією вигляду

$$\varepsilon_F = e^{\{-b[\lg(F+1)]\}} \quad (18)$$

або в табличній формі в залежності від розмірів водозборів.

Науково-методичні підходи щодо уточнення розрахункових модулів паводкового стоку річок Півдня України. Реалізувати запропоновану методику для розрахунку характеристик максимального стоку з невеликих водозборів, навіть за більш досконалою, ніж діючий в Україні СНіП 2.0114-83, важко. Основна причина, як уже відзначалось, полягає у відсутності матеріалів спостережень по малих річках. З метою подолання цих складностей авторами на прикладі річок Півдня України запропоновано такий підхід. По сукупності наявних даних спостережень за багаторічний період були сформовані індивідуальні часові ряди максимальних витрат дощових паводків, а також один просторовий ряд, до якого увійшли екстремально високі максимуми (по одному від кожного водозбору). Індивідуальні часові ряди були оброблені методами моментів і найбільшої правдоподібності. На їх основі визначалися максимальні витрати води 1%-ої ймовірності перевищення. З метою просторового узагальнення цих квантелів побудовані залежності $q_m = f[\lg(F+1)]$ і $q_{1\%} = f[\lg(F+1)]$. Описуються вони рівняннями вигляду

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+1)^{n_1}} \quad \text{та} \quad q_{1\%} = \frac{q'_{1\%}}{(F+1)^{n_1}} \quad (19)$$

Для тимчасових рядів q_m і $q_{1\%}$ показник степеня n_1 0,68 і 0,73 відповідно.

За цими значеннями степеневого показника для кожного водозбору обчислені модулі схилового припливу, тобто q'_m і $q'_{1\%}$. У подальшому ряди q'_m і $q'_{1\%}$ були опрацьовані з використанням кривих забезпеченості забезпеченостей [4], на основі яких отримані регіональні величини модулів схилового припливу забезпеченістю $P=1.0\%$. При використанні ряду $q'_{1\%}$ максимальний модуль схилового припливу $q'_{1\%} = 14.0 \text{ м}^3/(\text{с км}^2)$, а для ряду q_m - $q'_{1\%} = 10.0 \text{ м}^3/(\text{с км}^2)$. Розбіжності у розрахункових модулях $q'_{1\%}$, як видно, відрізняються на 25-40%, що не узгоджується з вимогами діючих нормативних документів по максимальному стоку паводків і водопіль річок України. За опорний слід було б взяти $q'_{1\%} = 14.0 \text{ м}^3/(\text{с км}^2)$, як такий, що базується на залученні до статистичної обробки більшої за обсягами вихідної інформації.

Як альтернативний, пропонується ще один можливий варіант для уточнення розрахункових характеристик максимального стоку дощових паводків в басейнах річок Півдня України. Він ґрунтується на встановленні $q'_{1\%}$, виходячи з даних спостережень за паводкоформувальними опадами. Для південних територій України такі опади репрезентуються їх добовими максимумами $H_{\bar{a}}$. Зокрема, для розглядуваної території $H_{\bar{a} 1\%} = 100 \text{ мм}$.

Для використання опадів при встановленні розрахункових модулів стоку необхідно мати відповідну методичну основу. Її можна отримати проінтегрувавши (12) по T_0 , тобто

$$Y_m = \int_0^{T_0} q'_t dt = q'_m T_0 \frac{n}{n+1} \quad (20)$$

Звідки максимальний модуль схилового припливу q'_m дорівнює

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} \cdot Y_m, \quad (21)$$

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

Шар паводкового стоку Y_m у свою чергу становить

$$Y_m = H_{\ddot{a}} \cdot \eta_0. \quad (22)$$

У межах степової зони Півдня України $\eta_0=0.40$, а у лісостеповій - 0.70, коефіцієнт часової нерівномірності $\frac{n+1}{n}=3,5$, тривалість схилового припливу $T_0= 2,5$ год. З урахуванням усіх складових рівняння (21), розрахунковий модуль схилового припливу $q'_{1\%}=15.7$ м³/(с км²) (степова зона) і 27.4 м³/(с км²) (лісостепова зона). Уточнення максимальних модулів стоку забезпеченістю Р=1% здійснюється за рівняннями

- степова зона

$$q_{1\%} = \frac{15.7}{(F+1)^{0.73}}; \quad (23)$$

- лісостепова зона

$$q_{1\%} = \frac{27.4}{(F+1)^{0.73}}. \quad (24)$$

Розраховані за (23) і (24) модулі $q_{1\%}$ для річок Півдня України наведені в табл.1

Таблиця 1 - Уточнені модулі максимального стоку дощових паводків річок Півдня України забезпеченістю Р=1%

№ п/п	Річка-пост	F, км ²	Максимальні модулі $q_{1\%}$, м ³ /(с км ²)	
			За результатами статобробки	Уточнені величини
1	2	3	4	5
1	р.Кагул-с.Гаваноси	186	1,55	0,35
2	б.Гаваноси - с.Гаваноси	28.2	5,11	1,34
3	р.Ялпуг - з.ст.Комрат	241	0,11	0,29
4	р.Муса - з.ст.Комрат	83.5	1,05	0,62
5	б.Тараклія - смт.Тараклія	103	0,20	0,53
6	р.Когильник - смт.Котовське	179	0,12	0,35
7	р.Сарата - с.Сарата	1110	0,06	0,09
8	р.Тилігул-с.Новоукраїнка	810	0,07	0,12
9	р.Тилігул-смт.Березівка	3170	0,01	0,04
10	р.Південний Буг-с.Лелітка	4000	0,04	0,06
11	р.Південний Буг-с.Сабарів	9010	0,03	0,04

Продовження таблиці 1

1	2	3	4	5
12	р.Бужок-смт.Меджибож	698	0,05	0,23
13	р.Іква-смт.Стара Синява	439	0,08	0,32
14	р.Згар-смт.Літин	692	0,06	0,23
15	р.Рів-с.Демидівка	1130	0,07	0,16
16	р.Соб-с.Зозів	92.5	0,10	0,57
17	р.Савранка-с.Осички	1740	0,01	0,07
18	р.Синиця-с.Кам'яний Брід	753	0,03	0,13
19	р.Кодима-с.Обжила	145	0,02	0,41
20	р.Кодима-с.Катеринка	2390	0,01	0,05
21	р.Гнилий Тікич-смт.Лисянка	1450	0,07	0,08
22	р.Велика Вись-с.Ямпіль	2820	0,01	0,05
23	р.Ятрань-с.Покотилове	2140	0,02	0,06
24	р.Циганка-с.Краснопілля	248	0,14	0,28
25	р.Чорний Ташлик-с.Піщаний Брід	1830	0,02	0,07
26	р.Чорний Ташлик-с.Тарасівка	2230	0,08	0,06
27	р.Мертвовід-с.Крива Пустош	252	0,18	0,28
28	р.Чичиклія-с.Василівка	436	0,02	0,19
29	р.Гнилий Єланець-с.Женево-Криворіжжя	1190	0,05	0,09
30	р.Інгул-м.Кіровоград	840	0,10	0,12
31	р.Інгул-с.Інгуло-Кам'янка	3080	0,05	0,05
32	р.Інгул-с.Седнівка	4770	0,04	0,03
33	р.Інгул-с.Новгородене	6670	0,01	0,03
34	р.Громоклія-с.Михайлівка	1410	0,04	0,08
35	р.Базавлук-с.Катерино-Наталівка	1050	0,05	0,10
36	р.Інгулець-с.Олександро-Степанівка	1400	0,05	0,08
37	р.Інгулець-м.Кривий Ріг	8600	0,02	0,02
38	р.Інгулець-с.Михайлівка	9280	0,01	0,02
39	р.Молочна-м.Токмак	760	0,03	0,12
40	р.Молочна-с.Терпіння	2780	0,01	0,05
41	р.Лозуватка-с.Новоолексіївка	331	0,13	0,23
42	р.Обитічна-с.Шевченко	390	0,15	0,20
43	р.Обитічна-м.Приморськ	1300	0,07	0,08
44	р.Кильтиччя-с.Новотроїцьке	398	0,18	0,20
45	р.Берда-с.Захарівка	718	0,06	0,13
46	р.Берда-с.Осипенко	1620	0,06	0,07
47	р.Кальміус-смт.Авдотьїне	263	0,70	0,27
48	р.Кальміус-с.Раздольне	1690	0,08	0,07
49	р.Кальміус-смт.Приморське	3700	0,09	0,04
50	р.Кальчик-с.Кременівка	469	0,20	0,18
51	р.Кальчик-м.Маріуполь	1250	0,11	0,09
52	балка Полкова-с.Кременівка	63.0	0,56	0,75
53	р.Малий Кальчик-с.Кременівка	270	0,59	0,26
54	р.Калець-х.Перемога	164	0,06	0,38
55	р.Глузький Єланчик-с.Гусельщикове	1190	0,01	0,09

Уточнення максимальних модулів стоку забезпеченості $P=1\%$ відбулось, головним чином, в області невеликих водозборів.

За відсутності часових рядів спостережень за максимальним стоком річок розрахунки витрат води дощових паводків на Півдні України рекомендується здійснювати із застосуванням формули (13). Модуль схилового припливу $q_1\%$ в (19) дорівнює у степовій зоні $15.7 \text{ м}^3/(\text{с км}^2)$, а у лісостеповій - $27.4 \text{ м}^3/(\text{с км}^2)$. Визначення тих чи інших параметрів особливих труднощів не викликає, окрім коефіцієнта русло-заплавного регулювання ε_F , який обчислюється за табл. 2

Таблиця 2 - Коефіцієнти русло-заплавного регулювання ε_F

F, км ²	0	10	100	500	1000	5000	10000 і більше
Степова зона	1,0	0,46	0,15	0,09	0,08	0,08	0,08
Лісостепова зона	1,0	0,51	0,28	0,18	0,15	0,09	0,08

Висновки. Для розрахунку характеристик максимального стоку з невеликих водозборів, на відміну від діючого СНіП 2.01.14-83, запропонована більш досконала структура операторного типу. Її реалізація потребує якісної (стосовно площ водозборів і періодів спостереження) вихідної інформації, яка на території Півдня України обмежується середніми і великими річками. Використавши модель редуційного гідрографа схилового стоку, авторами обґрунтована можливість уточнення максимальних модулів на основі даних добових опадів у теплу пору року.

Перспективи подальших досліджень. Результати досліджень будуть запроваджені при підготовці нормативних документів в галузі максимального стоку річок України.

Список літератури

1. *Руководство по определению расчетных гидрологических характеристик.* – Л.: Гидрометеиздат, 1973. – 111 с.
2. *Пособие по определению расчётных гидрологических характеристик.* - Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 448 с.
3. *Гопченко Е. Д., Овчарук В. А.* Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины. – Одесса: ТЭС, 2002.- 110с.
4. *Калинин Г.П.* Проблемы глобальной гидрологии. – Л.: Гидрометеиздат, 1968.–376 с.

Уточнение расчетных модулей паводочного стока на реках Юга Украины

Гопченко Е.Д., Овчарук В.А., Романчук М.Є., Кічук Н.С.

Рассматриваются научно-методические подходы к установлению расчетных характеристик паводочного стока на территории Юга Украины.

Ключевые слова: *дождевые паводки, малые реки, максимальные модули, суточные осадки.*

Clarification of calculation of modules rain flood in the South Ukraine rivers

Gopchenko E.D., Ovcharuk V.A., Romanchuk M.E., Kichuk N.S.

This article reviews scientific and methodological approaches to establish the design characteristics of rain flood in the territory of South Ukraine.

Keywords: *rain floods, small rivers, the maximal moduls, daily rainfall.*