

**ОБГРУНТУВАННЯ МЕТОДИКИ РОЗРАХУНКУ ХАРАКТЕРИСТИК
МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВОДОПІЛЬ І ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ В БАСЕЙНІ
ХАДЖИБЕЙСЬКОГО ЛИМАНУ**

Обґрунтовано методику визначення розрахункових характеристик весняних водопіль і дощових паводків рідкісної ймовірності перевищення при оцінці надходження поверхневих вод у Хаджибейський лиман.

Ключові слова: схиловий приплив, русловий стік, максимальний модуль, ймовірність перевищення

Вступ. Рівневий режим Хаджибейського лиману значною мірою визначається скидами комунально-побутових вод СБО «Північна», причому протягом багатьох років ці скиди є досить значними. Зокрема, під час високих весняних водопіль, а також дощових паводків є велика загроза переповнення лиману поверхневими водами і, як наслідок, можливе затоплення одного з районів Одеси – Пересипу. Ось чому виникає необхідність в розрахунках характеристик паводків і водопіль взагалі, а виняткової ймовірності перевищення – особливо.

На жаль, існуюча нормативна база в галузі максимального стоку (у вигляді СНіП 2.01.14-83) не дозволяє надійно визначити максимальні витрати і шари стоку через відсутність гідрологічних спостережень у межах майже усієї Причорноморської низовини, включаючи й басейни Причорноморських лиманів.

Метою роботи є науково-методичне обґрунтування методу розрахунку гідрологічних характеристик весняних водопіль і дощових паводків виняткової ймовірності перевищення у багаторічному розрізі.

Методи дослідження. Діючим в Україні СНіП 2.01.14-83 [1] виділяються в окремі категорії дощові паводки і весняні водопілля.

Для розрахунку характеристик максимального стоку водопіль пропонується базова структура у вигляді [1]

$$q_{P\%} = \frac{k_0 Y_p}{(F + b)^{n_1}} \mu \delta \delta_2 \delta_3, \quad (1)$$

де $q_{P\%}$ - розрахунковий модуль стоку щорічної ймовірності перевищення $P\%$; k_0 - параметр, який залежить від дружності весняного водопілля і визначається за допомогою річок-аналогів; Y_p - розрахунковий шар сумарного весняного стоку, тобто без зрізки величини ґрунтового живлення, забезпеченістю $P\%$, причому

$$Y_p = Y_0 k_p, \quad (2)$$

Y_0 - середній багаторічний шар стоку за період водопілля; $k_p = f\left(C_v; \frac{C_s}{C_v}\right)$ - модульний коефіцієнт забезпеченістю $P\%$; C_v і C_s - коефіцієнти варіації і асиметрії часових рядів шарів стоку водопілля; μ - коефіцієнт, за допомогою якого враховується розбіжність розрахункових шарів стоку Y_p і максимальних модулів q_p ; δ - коефіцієнт для урахування впливу на q_p озер, водосховищ, ставків проточного типу; δ_1 , δ_2 і δ_3 -

редукційні коефіцієнти, які відносяться до залісених, заболочених та розораних водозборів (при $F < 200 \text{ км}^2$); n_1 - показник редукції максимальних модулів стоку при зростанні водозбірних площ річок; b – емпіричний коефіцієнт для врахування зниження редукції максимальних модулів стоку у межах невеликих водозборів.

Стосовно досліджуваного об'єкта, тобто басейну лиману Хаджибей, перш ніж використовувати структуру (1) та її параметри, необхідно звернути увагу на недоліки, які притаманні цій розрахунковій схемі. Їх можна поділити на два види. Перші відносяться до теоретичної обґрунтованості, а інші стосуються регіональних особливостей використання.

З теоретичної точки зору, структура (1) відповідає лише умові, коли по території можна осереднити тривалість схилового припливу. В свою чергу це означає, що на тривалість надходження води зі схилів до руслової мережі не впливають ні залісеність, ні заболоченість, ні географічне положення об'єктів. А таким вимогам, як видно з (1), формула і не відповідає. З іншого боку, штучним є використання добавки “ b ” у знаменнику розрахункової схеми. Теоретично при $F=0$ відношення $q_m / (k_0 Y_m)$ повинно дорівнювати одиниці, як верхній його межі. Але ж з (1) очевидно, що при $F=0$

$$q_m / (k_0 Y_m) = \frac{1}{b^{n_1}}. \quad (3)$$

Відповідно до [1], для степової зони і зони посушливих степів $n_1 = 0,35$, а $b = 10 \text{ км}^2$. У такому випадку $q_m / (k_0 Y_m) = 0,45$, що у 2,2 разу нижче за теоретичне значення.

Суттєві недоліки можна відзначити на регіональному рівні використання (1), а саме: при встановленні параметрів Y_0 , C_v і C_s / C_v доводиться спиратись на відповідні карти, що додаються до СНіП 2.01.14-83. Але у межах досліджуваної території, у зв'язку з відсутністю гідрологічних спостережень на річках, усі наведені вище параметри можуть визначатись лише орієнтовно, тобто з великими похибками. Ось чому нормативний документ СНіП 2.01.14-83 не може використовуватись при визначенні розрахункових характеристик весняних водопіль в басейні лиману Хаджибей.

Для дощових паводків СНіП 2.01.14-83 рекомендує застосовувати при встановленні розрахункових максимумів стоку дві структури:

а) при $F < 200 \text{ км}^2$

$$q_p = A_{1\%} \eta X_{1\%} \delta \lambda_p, \quad (4)$$

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

$A_{1\%} = 16,67 \bar{\psi}(\tau)$ - ординати редукційної кривої $\bar{\psi}(\tau)$ в залежності від розрахункового часу τ

$$\tau = 1,2 t_p^{1.1} + t_{cx}, \quad (5)$$

t_p - тривалість руслового добігання; t_{cx} - тривалість схилового добігання; $X_{1\%}$ - добовий максимум зливових опадів забезпеченістю $P=1\%$; η - збірний коефіцієнт

стоку; δ - коефіцієнт для врахування впливу на максимальний модуль стоку озер, водосховищ і ставків проточного типу; λ_p - коефіцієнт забезпеченості;

б) при $F \geq 200 \text{ км}^2$

$$q_p = \left(q_{200} / F^{n_2} \right) \delta \delta_2 \delta_3 \lambda_p, \quad (6)$$

де q_{200} - максимальний модуль стоку, приведений до $F=200 \text{ км}^2$ і $P=1\%$; δ , δ_2 , δ_3 – емпіричні коефіцієнти для врахування впливу на максимальний модуль стоку озерності, заболоченості і розораності водозборів.

До зауважень, причому принципового характеру, необхідно віднести такі:

1. Неправомірність застосування на всій території України граничної площі використання (4) чи (6), яка береться на рівні 200 км^2 .

2. Теоретична необґрунтованість структури (4), оскільки в ній розглядається оператор «опади-русовий стік» замість «схиловий приплив-русовий стік».

3. Структура (6) відповідає умовам, коли по території, крім тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі, можна осереднити ще й шар паводкового стоку Y_m .

Картування ж q_{200} , прийняте в СНіП 2.01.14-83, автоматично відхиляє можливість застосування формули максимального стоку паводків при $F > 200 \text{ км}^2$ у вигляді (6). Таким чином, виникає необхідність доопрацювання нормативної бази в галузі максимального стоку паводків і водопіль, причому з урахуванням обмеженості гідрологічних спостережень в Причорноморському регіоні.

Результати дослідження та їх аналіз. Теоретичне обґрунтування науково-методичної бази для нормування характеристик максимального стоку паводків і водопіль здійснено при розгляді природної моделі формування річкового стоку, а саме: «опади - схиловий стік - русловий стік». Для визначення базових рівнянь, що описують русловий стік, необхідно і достатньо розглянути фінальний оператор «схиловий приплив-русовий стік». Тоді в залежності від співвідношення між тривалостями руслового добігання t_p і схилового припливу T_0 на базі моделі руслових ізохрон будемо мати:

а) при $t_p < T_0$

$$Q_m = V \int_0^{t_p} q'_t B_t \varepsilon_t dt; \quad (7)$$

б) при $t_p \geq T_0$

$$Q_m = V \int_0^{T_0} q'_t B_t \varepsilon_t dt, \quad (8)$$

де Q_m - максимальний модуль схилового припливу, який описується рівнянням

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

q'_m - максимальний модуль схилового припливу;

B_t - ширина водозборів по ізохронах руслового добігання, причому [2]

$$B_t = B_m \left[1 - \left(\frac{t}{t_p} \right)^m \right]; \quad (10)$$

B_m - максимальна ширина водозборів по ізохронах руслового добігання; ε_t - функція русло-заплавного регулювання у часі.

Після інтегрування (7) і (8), з урахуванням (9) і (10), та деяких перетворень і узагальнень авторами [3] одержане розрахункове рівняння

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

де q'_m - максимальний модуль схилового припливу

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m; \quad (12)$$

$\frac{n+1}{n}$ - коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу в період весняного водопілля; T_0 - тривалість схилового припливу повеневих і паводкових вод до руслової мережі; Y_m - шар стоку водопілля; ε_F - коефіцієнт русло-заплавного регулювання максимального стоку; $\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ - трансформаційна функція розпластування повеневих і паводкових хвиль під впливом часу їх руслового добігання, причому:

а) при $\frac{t_p}{T_0} = 0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 1.0; \quad (13)$$

б) при $0 < \left(\frac{t_p}{T_0}\right) < 1.0$

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

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

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

г) при $t_p \gg T_0$

$$\psi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 0. \quad (16)$$

Запропонована структура (11) може вважатися універсальною, оскільки вона задовольняє нормування на її базі максимального стоку як паводків, так і водопіль. З іншого боку, вона не має обмежень щодо розміру водозбірних площ. Основним параметром формули (11), яким визначається генетичний тип паводків і водопіль, є q'_m . Нижче зосередимо увагу, виходячи з необхідності оцінки надходження поверхневих

вод від паводків і водопіль виняткової ймовірності перевищення до лиману Хаджибей, на шарах стоку Y_m .

Визначення шарів стоку під час весняного водопілля. Стосовно максимального модуля стоку q'_m в період водопілля, враховуючи відсутність гідрологічних спостережень у Причорноморському регіоні, перепишемо (12) таким чином:

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} (S_0 + X_0) \eta_\epsilon k_p, \quad (17)$$

де S_0 - середньобогаторічна величина максимальних снігозапасів перед початком весняного водопілля; X_0 - середньобогаторічна величина кількості опадів в період водопілля; η_ϵ - коефіцієнт стоку; $k_p = f\left(C_v; \frac{C_s}{C_v}\right)$ - модульний коефіцієнт.

Статистична обробка величин максимальних снігозапасів S_m виконана у межах Причорноморської низовини по 41 метеорологічному пункту з періодами спостережень більше 15 років. Коефіцієнти варіації часових рядів S_m коливаються у межах 0,48-0,91. Максимальні снігозапаси S_0 змінюється по території у напрямку з півночі на південь від 60 мм у верхів'ях річок Південний Буг, Інгул, Інгулець до 20 мм – у межах прибережної смуги Причорноморської низовини. Для басейну лиману Хаджибей можна прийняти $S_0=25$ мм.

Снігозапаси в період весняного водопілля становлять лише частку від загального надходження води на водозбір. З балансових позицій, необхідно до S_m додати й ті опади X , які мали місце впродовж розвитку водопілля, тобто від дати S_m і до його закінчення. Таким чином, сумарне надходження води на водозбір за період водопілля X_s буде становити

$$X_s = S_m + X. \quad (18)$$

Спираючись на середньобогаторічні дати настання водопілля на півдні України, а також середні дати його закінчення, авторами [3] встановлена регіональна залежність

$$X = 8,0 + 8,1 \lg(F + 1). \quad (19)$$

З урахуванням (19) для середньобогаторічних величин

$$X_s = S_0 + [8,0 + 8,1 \lg(F + 1)]. \quad (20)$$

Ймовірнісні величини надходження поверхневих вод з водозбору забезпеченістю $P\%$ будуть становити

$$(X_s)_p = \{S_0 + [8,0 + 8,1 \lg(F + 1)]\} k_p. \quad (21)$$

Коефіцієнт варіації виявляє залежність від середніх величин максимальних снігозапасів S_0 , а саме

$$C_v = 0,60 + 0,53(S_0 - 20) \cdot 10^{-2}. \quad (22)$$

Для часових рядів $(S_m + X)$ співвідношення C_s / C_v нормовані на рівні 3,5.

Тепер стосовно коефіцієнта стоку η_e . Собою він представляє відношення

$$\eta_e = Y_m / (S_m + X). \quad (23)$$

В межах Причорноморської низовини високі водопілля супроводжуються коефіцієнтами стоку від 0,45 (р.Гнилий Єланець – с.Женево-Криворіжжя, $F=1190 \text{ км}^2$) до 0,17 (р.Ягорлик-с.Дойбани, $F=1220 \text{ км}^2$). Автори виконали узагальнення коефіцієнтів стоку η_e за методикою Л.Л.Ліштвана, тобто в залежності від розміру водозборів. На жаль, наявні дані охоплюють лише діапазон площ водозборів $F > 62,4 \text{ км}^2$.

Екстраполяція залежності $\eta_e = f(F)$ здійснена з використанням експериментальних даних, наведених у роботах [4,5]. Для досліджуваної території запропонована таблиця розрахункових коефіцієнтів η_e (табл.1).

Таблиця 1 – Коефіцієнти стоку весняного водопілля η_e

$F, \text{ км}^2$	0	10	20	50	100	500	1000	2000	5000	10000	20000
η_e	0,65	0,46	0,43	0,37	0,33	0,24	0,21	0,20	0,18	0,16	0,14

Визначення шарів стоку дощових паводків. Через відсутність гідрологічних спостережень у регіоні максимальний модуль стоку q_p для дощових паводків пропонується розраховувати з використання паводкоформулюючих опадів X_δ , тобто

$$q'_p = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} (X_\delta)_p \cdot \eta_e, \quad (24)$$

де q'_p - максимальний модуль схилового припливу паводкових вод забезпеченістю $P\%$; $\frac{n+1}{n}$ - коефіцієнт часової нерівномірності припливу паводкових вод до руслової мережі; T_0 - тривалість схилового припливу під час дощових паводків; $(X_\delta)_p$ - розрахункові опади

$$(X_\delta)_p = (X_\delta)_0 \cdot \eta_e; \quad (25)$$

$(X_\delta)_0$ - середнє значення добового максимуму зливових опадів; $\eta_e = k_n \cdot \eta'_e$ - збірний коефіцієнт стоку; k_n - коефіцієнт просторової нерівномірності опадів; η'_e - об'ємний коефіцієнт стоку.

Стосовно досліджуваної території можна впевнено стверджувати, що паводкоформуючі опади мають не тільки локальний характер, але й тривалість усього декілька годин. Тому добові максимуми опадів повною мірою репрезентують їх кількість за окремих дощ. Статистична обробка часових рядів X_{∂} була виконана за даними 71 метеорологічних станцій і постів, розташованих у межах Причорноморської низовини. Просторове узагальнення $(X_{\partial})_0$, C_v і C_s/C_v виконано методом С.Н.Крицького і М.Ф.Менкеля [6]. Обидва параметри $(X_{\partial})_0$ і C_v і співвідношення C_s/C_v в основному підпорядковуються випадковому розподілу, а тому підлягають осередненню по території, причому $(X_{\partial})_0=37,9$ мм, $C_v=0,47$ і $C_s/C_v=3,0$. На базі таблиць нормованих ординат кривої трипараметричного гама-розподілу при забезпеченості $P=1\%$ розрахунковий шар добових опадів дорівнює 98,2 мм.

Оскільки добові опади по метеорологічних станціях і постах є точковими величинами, то для переходу їх з урахуванням розміру водозборів, необхідно до точкових значень ввести редуційні коефіцієнти переходу k_f .

За дослідженнями А.М. Бефані [2], для півдня України:

- при $t_p < 1$ доби

$$k_n = 1 / \left(1 + 0,003F^{\frac{3}{4}} \right); \quad (26)$$

- при $t_p \geq 1$ доби

$$k_n = 1 / \left[\left(1 + 0,0038 \right) / \left(1 + 0,26t_p \right) F^{\frac{3}{4}} \right]. \quad (27)$$

Коефіцієнт паводкового стоку є відношення

$$\eta'_{\partial} = Y_m / X_{\partial}, \quad (28)$$

де Y_m - шар стоку за паводок.

Узагальнені по території коефіцієнти паводкового стоку при забезпеченості $P=1\%$ представлені у табл.2 (в залежності від розмірів водозборів).

Таблиця 2 – Коефіцієнти паводкового стоку η'_{∂}

$F, \text{км}^2$	0	10	50	100	200	500	1000	5000	10000
η'_{∂}	0,60	0,57	0,51	0,49	0,47	0,46	0,45	0,44	0,41

Невисвітлена область ($F < 100 \text{ км}^2$) була доповнена даними нормативного документу СНіП 2.01.14-83.

Збірний коефіцієнт стоку $\eta_{\partial} = k_n \cdot \eta'_{\partial}$ розраховувався і нормувався шляхом поєднання табличних значень η'_{∂} і k_n , визначених за формулами (26) чи (27), в

залежності від тривалості руслового добігання $t_p = f(F)$. Змінюється η_o від 0,60 при $F=0$ до 0,14 – при $F=10000$ км² (табл.3).

Таблиця 3 – Коефіцієнти паводкового стоку η_o

$F, \text{км}^2$	0	10	50	100	200	500	1000	5000	10000
η_o	0,60	0,53	0,48	0,45	0,40	0,38	0,29	0,19	0,14

Аналогічна науково-методична база свого часу була використана при визначенні характеристик паводкового і повеневого стоку на території Тузлівських лиманів [7].

Висновки. Викладена методика розрахунку характеристик максимального стоку весняних водопіль і дощових паводків може використовуватись при визначенні надходження поверхневих вод не лише до Хаджибейського, а й для Куяльницького лиманів.

Список літератури

1. *Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик.* – Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.
2. *Бэфани А.Н.* Основы теории ливневого стока // Труды ОГМИ, 1958. – Ч.П. – Вып.ХІV. – 305 с.
3. *Гопченко Е.Д., Романчук М.Е.* Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. – К.: КНТ, 2005. – 148 с.
4. *Романенко В.А.* Расчёт коэффициентов стока талых вод для гидрологических прогнозов // Труды УкрНИГМИ, 1964. – Вып.46. – С.34-43.
5. *Шпак И.С., Ищенко Н.Д.* Водный баланс полевого и лесного водосборов за 1960-62гг. // Труды УкрНИГМИ, 1964. – Вып.46. – С.91-109.
6. *Крицкий С.Н., Менкель М.Ф.* Гидрологические основы управления речным стоком. – М.: Изд-во «Наука», 1981. – 255 с.
7. *Гопченко Є.Д., Романчук М.Є.* Науково-методична база та розрахункові характеристики максимального стоку в басейні Тузлівських лиманів // Причорноморський екологічний бюлетень, 2007. - № 2(24). - С.56-62.

Обоснование методики расчета характеристик максимального стока половодий и дождевых паводков в бассейне Хаджибейского лимана. Гопченко Е.Д., Шакирзанова Ж.Р., Овчарук В.А.

Обоснована методика определения расчетных характеристик весенних половодий и дождевых паводков редкой вероятности превышения при оценке поступления поверхностных вод в Хаджибейский лиман.

Ключевые слова: склоновый приток, русловой сток, максимальный модуль, вероятность превышения

Grounding methodology for calculating of the maximum flow characteristics of the spring and rain floods in the basin Hadzibeevsky estuary. Gopchenko E., Shakirzanova J., Ovcharuk V.

The technique of determining the design characteristics of the spring floods and rain floods rare probability of exceedance for evaluate of influx of surface waters in the estuary Hadzibeevsky is substantiated.

Keywords: slope influx, channel flow, maximum modulus, the probability of exceeding