

**ВИКОРИСТАННЯ ФОРМУЛ ОБ'ЄМНОГО ТИПУ ДЛЯ НОРМУВАННЯ РОЗРАХУНКОВИХ ХАРАКТЕРИСТИК ДОЩОВИХ ПАВОДКІВ У ЗАКАРПАТТІ**

*За базову характеристику взято модулі схилового припливу, які в свою чергу залежать від коефіцієнтів часової нерівномірності схилового припливу, його тривалості, коефіцієнтів трансформації форми гідрографів і русло-заплавного регулювання.*

**Ключові слова:** формули об'ємного типу, максимальний стік, дощові паводки.

**Вступ.** Закарпаття відноситься до одного із паводконебезпечних регіонів України. Дощові паводки відбуваються як протягом теплої частини року, так і у перехідні сезони (осінь-зима або зима-весна). При розробці розрахункових методик максимального стоку постає проблема визначення складових схилового припливу (шарів стоку, тривалостей припливу схилових вод до руслової мережі, коефіцієнтів часової нерівномірності схилового стоку).

На сучасному етапі розвитку методів розрахунку характеристик максимального стоку постає питання про вдосконалення застарілої нормативної бази СНіП 2.0114-83. Дане дослідження присвячене нормуванню розрахункових характеристик дощових паводків у Закарпатті на основі використання структури формул об'ємного типу.

**Об'єкт та вихідні матеріали дослідження.** Для нормування характеристик максимального стоку паводків теплої пори року річок були взяті відомості гідрологічних даних багаторічних спостережень Державної мережі гідрометслужби в межах Закарпаття з періодами спостережень до 2010 року.

**Методи дослідження.** В основу методики покладено формули об'ємного типу, які ґрунтуються на моделі одномодальних гідрографів паводків і водопіль. Базовим є рівняння

$$q_m = k_{\phi} \frac{Y_m}{T_n} = \frac{Y_m}{T_n} (1 + \gamma) f, \quad (1)$$

де  $k_{\phi}$  – коефіцієнт часової нерівномірності руслового стоку;

$Y_m$  – шар паводкового стоку;

$T_n$  – тривалість паводків.

За Д.Л. Соколовським [1]

$$k_{\phi} = (1 + \gamma) f, \quad (2)$$

де  $\gamma = \frac{t_{cn}}{t_n}$  – відношення між тривалостями спаду і підйому гідрографів;

$f$  – коефіцієнт форми гідрографів.

В результаті багатолітніх досліджень В.І. Мокляк [2] розробив для річок України формулу максимальних витрат від талих вод об'ємного типу, яка в кінцевому варіанті має вигляд

$$Q_m = \frac{0,0116 \cdot \delta \cdot Y_m \cdot F}{m t_c + t_p + t_{np}}, \quad (3)$$

де  $Q_m$  – максимальна витрата води 3%-ї забезпеченості;

$\delta$  – коефіцієнт форми гідрографа,

$Y_m$  – сумарний шар стоку,

$t_c$  – тривалість водовіддачі,

$t_p$  – тривалість руслового добігання паводкових хвиль,

$t_{np}$  – тривалість переміщення фронту сніготанення.

В.І. Мокляк головну увагу приділив слабким сторонам базової структури (1). До них можна віднести неправомірність схематизації гідрографів водопілля по лінійному трикутнику, а також визначення тривалості повені  $T_n$  за сумою  $t_c$  і  $t_p$ , тобто без врахування ефектів русло-заплавного регулювання.

Розрахунок коефіцієнта форми руслових гідрографів  $k_\phi$  від розміру водозбірної площі за В.І.Мокляком є:

а) при  $(t_p + t_{cx}) < 1$  доби

$$\delta = \frac{2,8}{\sqrt{t_p + t_{cx}}}; \quad (4)$$

б) при  $(t_p + t_{cx}) > 11$  діб

$$\delta = 2,8 + 0,05(t_p + t_{cx} - 11); \quad (5)$$

в) в діапазоні 1 доба  $<(t_p + t_{cx}) < 11$  діб

$$\delta = 2,8 \quad (6)$$

Він також справедливо звернув увагу і на той факт, що в більшості формул врахування залісеності і заболоченості робиться через поправкові коефіцієнти безпосередньо до максимальної витрати води, а не до параметрів стоку, які в тій чи іншій мірі зумовлені залісеністю і заболоченістю.

Формула А.В. Огієвського – В.І.Мокляка застосовується для практичного використання і зараз, нарівні з методикою СНіП 2.01.14- 83 [3].

Більш широкої популярності набула формула, обґрунтована Д.Л. Соколовським. Рівняння одноmodalного гідрографа водопілля він записав у вигляді

а) для кривої підйому

$$Q_t = Q_m \left( \frac{t}{t_n} \right)^{m'}; \quad (7)$$

б) для кривої спаду

$$Q_t = Q_m \left( \frac{t_{cn} - t}{t_{cn}} \right)^{n'}, \quad (8)$$

де  $t_n$  і  $t_{cn}$  – час підйому і спаду водопілля відповідно.

Інтегрування (7) і (8) по  $t_n$  і  $t_{cn}$ , а також подальші нескладні процедури перетворення приводять до базових рівнянь

$$q_m = \frac{Y_m}{t_n} f \quad (9)$$

або

$$q_m = \frac{Y_m}{T_n} f(1 + \gamma), \quad (10)$$

де  $f$  – коефіцієнт форми руслового гідрографа

$$f = \frac{(m' + 1)(n' + 1)}{(n' + 1) + \gamma(m' + 1)}, \quad (11)$$

а  $\gamma = t_{cn} / t_n$ .

**Результати дослідження та їх аналіз.** Для обґрунтування науково-методичної бази для нормування характеристик максимального стоку використовуємо теоретичну модель у вигляді одномодального гідрографа паводкового стоку (рис.1)

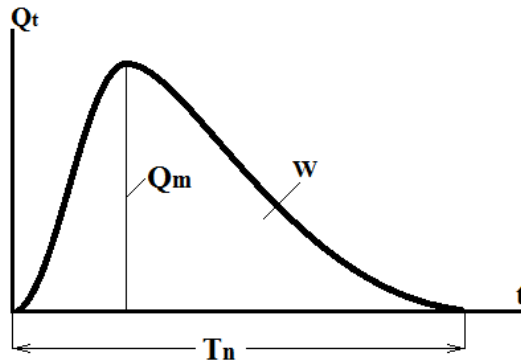


Рис. 1 – Схематичний гідрограф одномодального паводка

Виходячи з геометрії паводка такого типу, можна записати рівняння

$$W = \frac{1}{k_\phi} Q_m T_n, \quad (12)$$

де  $W$  – об'єм паводка;

$Q_m$  – максимальна витрата води;

$T_n$  – тривалість паводкового стоку;

$k_\phi = \frac{Q_m}{\bar{Q}_{T_n}}$  – коефіцієнт часової нерівномірності руслового стоку;

$\bar{Q}_{T_n}$  – середня за паводок витрата води

Відносно  $Q_m$  рівняння (12) запишеться у вигляді

$$Q_m = k_\phi \frac{W}{T_n}. \quad (13)$$

Залежність між складовими руслових гідрографів можна представити в дещо зручнішій редакції, якщо його взяти у редуційній формі [4]

$$Q_t = Q_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_n} \right)^{m_1} \right]. \quad (14)$$

Проінтегруємо (14) по  $T_n$ , тоді

$$W = \frac{m_1}{m_1 + 1} Q_m T_n. \quad (15)$$

Максимальна витрата води  $Q_m$  дорівнює

$$Q_m = \frac{m_1 + 1}{m_1} \cdot \frac{W}{T_n}, \quad (16)$$

а максимальний модуль стоку

$$q_m = \frac{m_1 + 1}{m_1} \cdot \frac{Y_m}{T_n}. \quad (17)$$

У подальшому домножимо чисельник і знаменник (17) на  $k_0$  [4]

$$k_0 = \frac{n + 1}{n} \cdot \frac{1}{T_0}, \quad (18)$$

де  $k_0$  – коефіцієнт схилової трансформації паводків (водопіль);

$T_0$  – тривалість силового припливу;

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

$$\frac{n + 1}{n} = \frac{Q'_m}{\bar{Q}'_{T_0}}, \quad (19)$$

де  $Q'_m$  – максимальна витрата води силового стоку;

$\bar{Q}'_{T_0}$  – середня витрата води схилового стоку за паводок.

З урахуванням (18) рівняння (17) представимо у вигляді

$$q_m = \left( \frac{m_1 + 1}{m_1} \cdot \frac{n + 1}{n} \right) k_0 Y_m \frac{T_0}{T_n}. \quad (20)$$

Введемо позначення:  $\frac{m_1 + 1}{m_1} \cdot \frac{n + 1}{n} = k_m$  – коефіцієнт трансформації форми

гідрографів стоку, а  $\frac{T_0}{T_n} = k_n$  – коефіцієнт русло-заплавного регулювання паводків (водопіль), причому

$$k_n = \frac{T_0}{T_0 + t_p + \Delta t} = \frac{1}{1 + \frac{t_p}{T_0} + \frac{\Delta t}{T_0}}, \quad (21)$$

де  $t_p$  – тривалість руслового добігання;

$\Delta t$  – об'єм русло-заплавного регулювання паводків (водопіль).

Щоб зрозуміти добуток  $k_0 \cdot Y_m$ , розглянемо редуційний гідрограф схилового припливу [5]

$$q'_t = q'_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_0} \right)^n \right], \quad (22)$$

де  $q'_t$  – модуль схилового припливу;

$q'_m$  – максимальний модуль схилового припливу.

В результаті інтегрування (22) по  $T_0$  одержимо

$$Y_m = \frac{n}{n+1} q'_m T_0. \quad (23)$$

Звідки

$$q'_m = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} Y_m = k_0 Y_m. \quad (24)$$

Таким чином, добуток в (20)  $k_0 \cdot Y_m$  фактично є максимальним модулем схилового припливу  $q'_m$ .

З урахуванням умовних позначок і рівняння (24) запишемо операторну структуру для формули об'ємного типу (20)

$$q_m = q'_m k_m k_n. \quad (25)$$

В ній відображається природний процес трансформації схилового припливу  $q'_m$  у русловий стік ( $q_m$ ).

У розрахунковому вигляді (25) набуває вигляду

$$q_p = q'_{1\%} k_m k_n r \lambda_p, \quad (26)$$

де  $q_p$  – максимальний модуль забезпеченості  $P\%$  ( $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ );

$q'_{1\%}$  – максимальний модуль схилового припливу опорної забезпеченості  $P = 1\%$  ( $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ )

$$q'_{1\%} = 0,28 \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} Y_{1\%}, \quad (27)$$

$\frac{n+1}{n}$  – коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу;

$T_0$  – тривалість схилового припливу (год);

$Y_{1\%}$  – шар стоку дощових паводків забезпеченостю  $P=1\%$  (мм);

$r$  – коефіцієнт впливу штучного зарегулювання стоку ставками та водосховищами проточного типу;

$\lambda_p$  – перехідний коефіцієнт від опорної забезпеченості  $P=1\%$  до інших.

**Обґрунтування розрахункових модулів схилового припливу  $q'_{1\%}$  та коефіцієнтів трансформації форми гідрографів паводкового стоку  $k_m$ .** Відповідно

до (27), при розрахунках  $q_1'$  необхідно мати такі параметри як:  $\frac{n+1}{n}$  (коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу), розрахунковий шар стоку  $Y_1\%$  і тривалість схилового припливу  $T_0$ .

Для визначення  $\frac{n+1}{n}$ , необхідно мати матеріали спостережень за схиловим стоком. У межах досліджуваної території існує лише одна водно-балансова станція – Закарпатська, на якій здійснюється спостереження за стоком малих водозборів. Враховуючи вкрай обмежену вихідну інформацію по схиловому стоку, доцільно скористатися методикою, яка спирається на матеріали гідрологічної мережі постів [4].

За цими матеріалами можна розрахувати коефіцієнти часової нерівномірності руслового стоку, оскільки

$$\frac{m_1 + 1}{m_1} = \frac{Q_m T_n}{Y_m F}, \quad (28)$$

де  $Q_m$  – максимальна витрата води руслового стоку;

$T_n$  – тривалість паводків.

Узагальнення коефіцієнтів нерівномірності  $\frac{m_1 + 1}{m_1}$  в залежності від площі водозборів описується зазвичай рівнянням

$$\frac{m_1 + 1}{m_1} = \frac{n + 1}{n} e^{-b \cdot \log(F + 1)} \quad (29)$$

На основі цієї залежності можна вирішити два питання:

1) визначити коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу  $\frac{n + 1}{n}$  (як тангенс

кута нахилу зв'язку,  $\frac{m_1 + 1}{m_1} = f[\lg(F + 1)]$ ;

2) встановити і самі коефіцієнти трансформації форми гідрографів  $k_m$ .

Для цього достатньо ліву і праву частини(29) поділити на  $\frac{n + 1}{n}$ , тоді

$$\frac{m_1 + 1}{m_1} \Big/ \frac{n + 1}{n} = k_m = e^{-b \cdot \log(F + 1)}. \quad (30)$$

Залежність між  $\frac{m_1 + 1}{m_1}$  і розмірами водозборів описується рівнянням

$$\frac{m_1 + 1}{m_1} = 9,5 \cdot e^{-1,83 \lg(F + 1)}. \quad (31)$$

Виходячи з (31), коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу  $\frac{n + 1}{n}$  для усіх річок Закарпаття взято на рівні 9,5, а

$$k_m = e^{-1,83 \lg(F + 1)}. \quad (32)$$

Розрахунковий шар стоку  $Y_{1\%}$  визначено за результатах статистичної обробки. Враховуючи, що Закарпаття відноситься до гірських територій, на першому етапі була досліджена залежність  $Y_{1\%}$  від висотного положення водозборів  $Y_{1\%} = f(H)$  (рис.2).

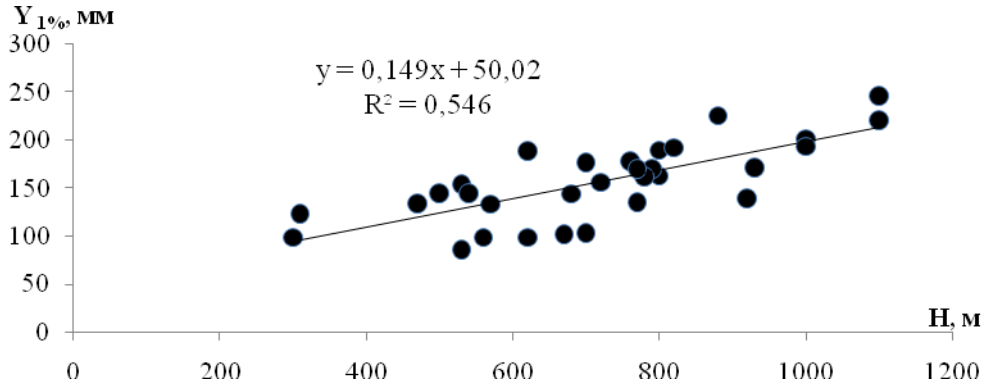


Рис. 2 – Залежність шарів стоку  $Y_{1\%}$  від середньої висоти водозборів  $H$

Описується вона таким рівнянням

$$Y_{1\%} = 0,15(H - 800) + (Y_{1\%})_{H=800}, \quad (33)$$

де  $Y_{1\%}$  – розрахунковий шар паводкового стоку;

$H$  – середня висота водозбору (м);

$H = 800\text{ м}$  – умовна висота, до якої приводяться розрахункові шари стоку  $Y_{1\%}$ ;

$(Y_{1\%})_{H=800}$  – шар паводкового стоку, приведений до умовної висоти  $H = 800\text{ м}$ , (мм).

У подальшому досліджується наявність можливого впливу на  $(Y_{1\%})_{H=800}$  географічного положення водозборів, використовуючи широту їх геометричних центрів (рис. 3).

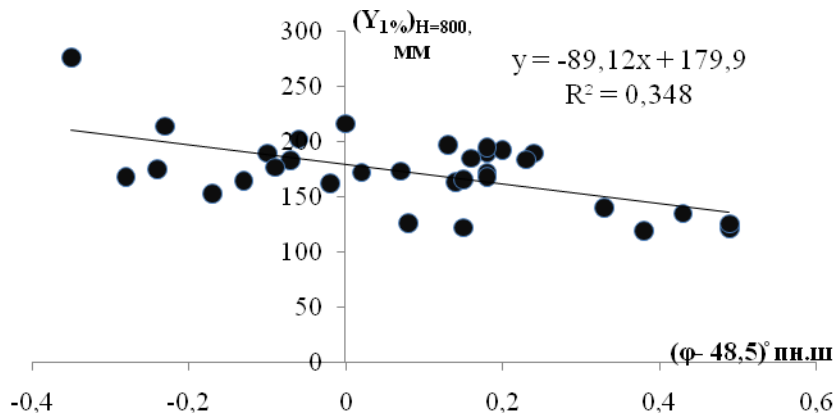


Рис. 3 – Залежність приведенного шару стоку  $(Y_{1\%})_{H=800}$  від широти геометричних центрів водозборів

Враховуючи наявність впливу широти на шари паводкового стоку, нами здійснено їх узагальнення у вигляді карти ізоліній, де вихідні дані величини  $Y_{1\%}$  приведені до висоти  $H = 800\text{ м}$ .

При картуванні величини  $(Y_{1\%})_{H=800}$  відносились до геометричних центрів водозборів, ізолінії проведені через кожні 20 мм (рис.4).

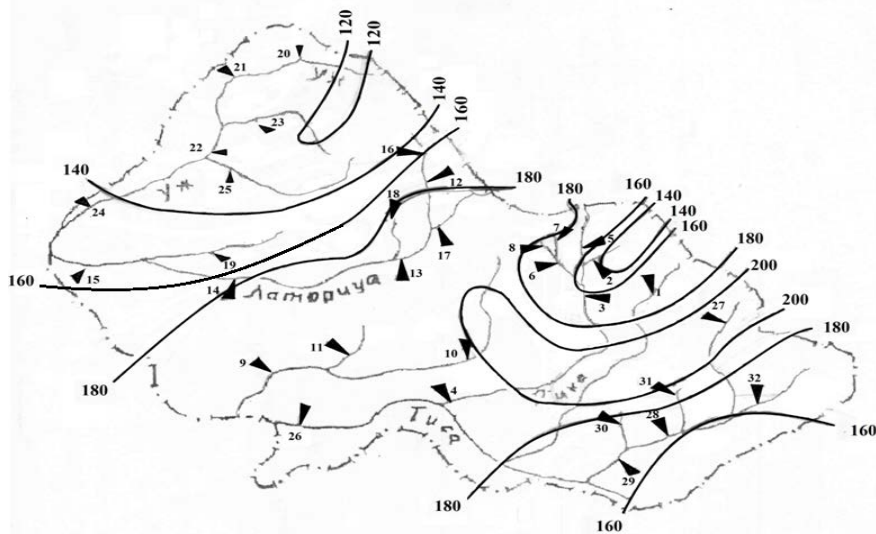


Рис. 4 – Карта-схема шару паводкового стоку  $(Y_{1\%})_{H=800}$ , мм, приведеного до умовної висоти  $H=800$ м

При використанні цієї карти необхідно у кожному випадку враховувати висотне положення водозборів. Досягається це за рахунок коефіцієнта  $k_H$ , який описується рівнянням

$$k_H = 1 + 0,88 \cdot 10^{-3} (H - 800). \quad (34)$$

Тоді шукане значення  $Y_{1\%}$  буде дорівнювати

$$Y_{1\%} = (Y_{1\%})_{H=800} \cdot k_H, \quad (35)$$

де  $(Y_{1\%})_{H=800}$  – знімається з карти для геометричних центрів досліджуваних водозборів.

Після встановлення складових модуля схилового припливу  $(\frac{n+1}{n}, Y_{1\%})$  невідомим залишається тривалість схилового припливу  $(T_0)$ .

**Визначення тривалості схилового припливу паводкових вод та коефіцієнтів русло-заплавного регулювання паводків  $k_n$ .** Для визначення  $T_0$  використовують вирішення так званих обернених задач відносно  $T_0$  з подальшим їх просторовим узагальненням.

Подібну обернену задачу можна вирішити в структурі (27). З цією метою в (27) підставимо значення (при  $r=1,0$  і  $\lambda_p = 1,0$ )

$$q_{1\%} = 0,28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} k_m k_n Y_{1\%}. \quad (36)$$

Відносно  $T_0$  рівняння (36) переписеться наступним чином:

$$T_0 = 0,28 \frac{Y_{1\%}}{q_{1\%}} \frac{n+1}{n} k_m k_n. \quad (37)$$





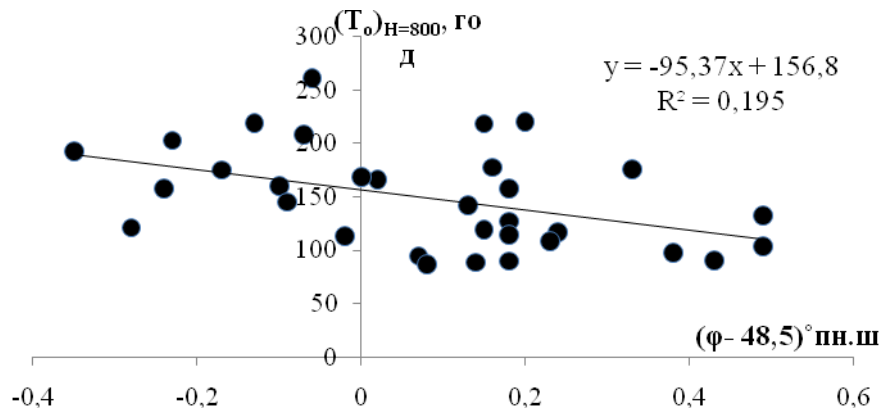


Рис. 6 – Залежність приведеної тривалості схилового припливу  $(T_0)_{H=800}$  від широти геометричних центрів водозборів

Враховуючи це, нами було здійснено узагальнення  $(T_0)_{H=800}$  у вигляді карти (рис.7). Ізолінії проведені через кожні 50 годин.

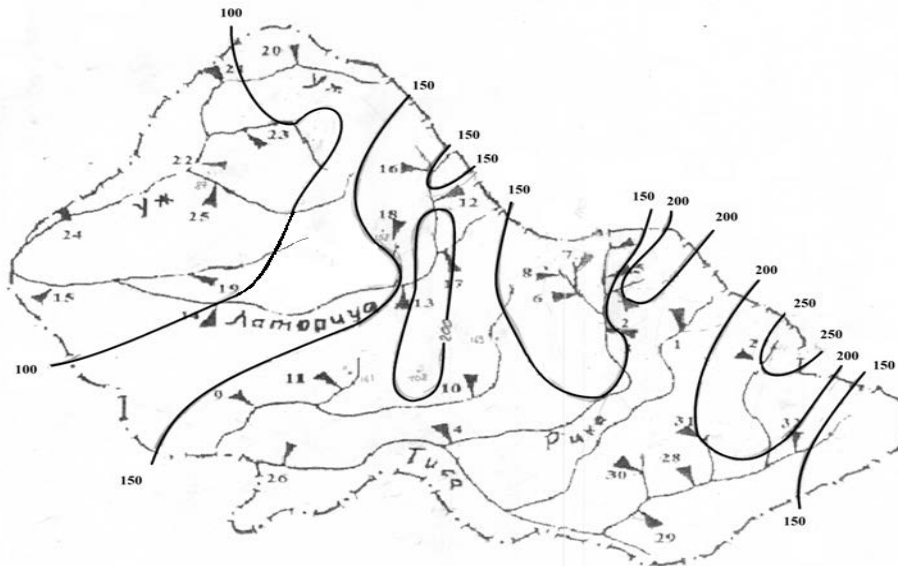


Рис. 7 – Карта-схема тривалості припливу води зі схилів до руслової мережі  $(T_0)_{H=800}$ , год, приведеної до умовної висоти  $H=800$  м

З карти можна зробити висновок, що має місце тенденція до збільшення тривалості схилового припливу з південного заходу на північний схід, тобто в бік збільшення висотного положення території. Тому при використанні цієї карти необхідно враховувати коефіцієнт  $k'_H$ , який описується наступним рівнянням

$$k'_H = 1 + 0,75 \cdot 10^{-3}(H - 800). \quad (43)$$

З урахуванням  $k'_H$

$$T_0 = (T_0)_{H=800} k'_H, \quad (44)$$

де  $(T_0)_{H=800}$  – приведена до умовної висоти  $H=800$  м тривалість схилового припливу, яка знімається для геометричних центрів водозборів (год).

**Висновки.** За результатами дослідження було обґрунтовано і реалізовано на матеріалах Закарпаття методику для нормування розрахункових характеристик паводків теплового періоду.

За вихідну взято модель одноmodalних гідрографів паводків. Структуру запропонованої методики можна віднести до операторних. В ній за базову характеристику прийнято модуль схилового припливу, який в свою чергу залежить від коефіцієнтів часової нерівномірності схилового припливу, його тривалості, коефіцієнтів трансформації форми гідрографів і русло-заплавного регулювання. Для обґрунтування розрахункових параметрів використані дані по 32 постах. Коефіцієнт часової нерівномірності схилового припливу встановлений за даними коефіцієнтів нерівномірності руслового стоку і дорівнює 9,5.

Тривалість схилового припливу в розрахунковій формулі модуля схилового припливу  $q_1\%$  визначена оберненим шляхом з вихідної структури в два етапи. Розрахункові шари стоку та тривалість схилового припливу узагальнені по території у вигляді відповідних карт, причому в обох випадках вихідні дані приведені до умовної висоти  $H=800$  м. Коефіцієнт русло-заплавного регулювання  $k_n$  представлений у вигляді залежності від площі водозборів і змінюється від 1 при  $F=0$  до 0,44 – при  $F=9140$  км<sup>2</sup>.

За розробленою методикою здійснені перевірні розрахунки. Середнє відхилення становить 13,3%, що відповідає вимогам нормативного документа СНіП 2.01.14-83 і точності вихідної інформації ( $\sigma_{Q_1\%} = 16,6\%$ ). Методика пропонується до практичного використання.

#### Список літератури

1. Соколовский Д.Л. Гидрологические расчеты при устройстве мостовых переходов. – Москва-Свердловск: Гидрометеиздат, 1945. – 124 с.
2. Мокляк В.І. Максимальні витрати від талих вод на річках УРСР.–К.;Видав. СН.УРСР, 1957. – 163 с.
3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик (СНиП 2.01.14-83). - Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447с.
4. Гопченко Е.Д., Романчук М.Е. Нормирование характеристик максимального стока весеннего половодья на реках Причерноморской низменности. – К.:КНТ,2005.–148 с.
5. Гопченко Е.Д. Анализ структуры объемных формул // Метеорология, климатология и гидрология, 1976. – Вып.12. – с. 84-90.

#### **Использование формул объемного типа для нормирования расчетных характеристик дождевых паводков в Закарпатье. Гопченко Е.Д., Бурлуцкая М.Э., Черченко К.В.**

*Базовой характеристикой принято модули склонового притока, которые в свою очередь зависят от коэффициентов временной неравномерности склонового притока, его продолжительности, коэффициентов трансформации формы гидрографов и русло-пойменного регулирования.*

**Ключевые слова:** формулы объемного типа, максимальный сток, дождевые паводки.

#### **Use volume formulas for the valuation type design characteristics of rain floods in the Zakarpattia. Gopchenko E.D., Burluckaya M.E., Cherchenko H.V.**

*The basic characteristic of the module taken over land in flow, which in turn depends on the time of uneven slope coefficients tide, its duration, the form factors of trans formation hydrograph sand channel-floodplain regulation.*

**Key words:** formula volumetric type, maximum runoff, rainfall floods.