

УДК 556.166

Гопченко Є.Д., д.г.н., проф., Погорєлова М.П., ас., Гопцій М.В., маг.
Одеський державний екологічний університет

МЕТОДИКА РОЗРАХУНКУ МАКСИМАЛЬНОГО СТОКУ ВЕСНЯНОГО ВОДОПІЛЛЯ В БАСЕЙНІ р. ПРИП'ЯТЬ

В статті наводиться більш досконала нормативна база по розрахунку максимального стоку на прикладі басейна р. Прип'ять.

Ключові слова: максимальний стік, водопілля, повінь, шар стоку, коефіцієнт «дружності», залісеність, заболоченість.

Вступ. Для розрахунку максимального стоку запропоновано велику кількість розрахункових формул і методів як окремо для паводків і водопілля, так і загальних структурних побудовань. За пропозицією Д.Л. Соколовського, наприклад, розрахункові формули максимального стоку весняного водопілля поділяються на дві групи: редуційні і об'ємні, а для дощових паводків ця класифікація доповнюється формулою граничної інтенсивності та тими, що основані на гідромеханічних теоріях. Але автори вважають, що у руслових системах переміщення паводкових і повеневих хвиль відбувається по загальних гідравлічних схемах, а тому розрахункові формули повинні мати й загальну базову структуру. Використання їх, стосовно паводків і водопілля, буде цілком залежати від генетичного типу.

Мета роботи полягає у розробці одного з можливих варіантів науково-методичної бази для розрахунку максимального стоку весняного водопілля.

Сучасний стан в галузі розрахунку максимального стоку весняного водопілля. До цього часу в Україні для розрахунку максимального стоку використовується нормативний документ СНіП 2.01.14-83[1], який був створений як союзний для держав колишнього СРСР. Але ж відомо, що у 2003 році в Росії введено новий нормативний документ СП 33-101-2003. Отже в Україні все ще використовується документ, який у юридичному відношенні вже неправоздатний. Тому актуальним постає питання про здійснення аналізу існуючих методів розрахунку максимального стоку і обґрунтування оптимальних варіантів при створенні нового СНіПу.

Згідно нормативного документу СНіП 2.01.14-83, розрахунок максимальних витрат води весняного водопілля здійснюється на основі формули вигляду

$$Q_P = q_P F = \frac{k_0 h_P F}{(F + b)^{n_1}} \delta \delta_1 \delta_2, \quad (1)$$

де Q_P - розрахункова миттєва максимальна витрата талих вод ймовірностю перевищення $P\%$, у $\text{м}^3/\text{с}$;

q_P - модуль максимальної розрахункової витрати води, $\text{м}^3/\text{с км}^2$;

h_P - розрахунковий сумарний (без зрізки ґрунтового живлення) стік водопілля, мм;

F - площа водозбору до замикаючого створу, км^2 ;

k_0 - коефіцієнт "дружності" водопілля на елементарних (малих) басейнах (при $F \rightarrow 0$ і $\delta_1 \delta_2 = 1$);

n_1 - показник степені, що характеризує редукцію відношення $\frac{q_P}{h_P}$ в залежності від площі водозбору;

δ - коефіцієнт, що враховує зниження максимальних витрат води річок, які зарегульовані озерами і водосховищами;

$\delta_1 \delta_2$ - коефіцієнти, що враховують зниження максимальних витрат води в залісених і заболочених басейнах.

Враховуючи, що [1]

$$k_0 Y_m = q'_m = \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_m, \quad (2)$$

структура (1) набуває вигляду

$$q_m = \frac{q'_m}{(F+b)^{n_1}} \delta \delta_1 \delta_2, \quad (3)$$

де q'_m - модуль схилового стоку;

$\frac{n+1}{n}$ - коефіцієнт часової нерівномірності припливу води зі схилів до руслової мережі.

Аналізуючи розрахункову формулу (3), постає питання про визначення складових і дослідження впливу залісеності і заболоченості на характеристики максимального стоку.

Зупинимось ще на одній базовій структурі, яка використовується нормативним документом СНіП 2.01.14-83 для дощових паводків

$$q_m = 16.67 \bar{\psi}(\tau) H_\delta \cdot \eta, \quad (4)$$

де $\bar{a}_\tau = 16.67 \bar{\psi}(\tau) H_\delta$ - середня за розрахунковий час τ інтенсивність дощових опадів, мм/хв;

η - коефіцієнт стоку;

$\bar{\psi}(\tau)$ - редукційна крива середньої інтенсивності опадів за розрахунковий час τ .

Коефіцієнт загальної редукції $\frac{q_m}{q'_m}$, виходячи з (4), можна записати у вигляді

$$k_{q_m} = \frac{q_m}{q'_m} = \bar{\psi}(\tau) \frac{n}{n+1} T_0. \quad (5)$$

Аналізуючи структуру формули (4), було здійснено моделювання коефіцієнта загальної редукції (5) для дощових паводків при різному часі схилового добігання. Результати моделювання, представлені на рис. 1, свідчать про невідповідність запропонованої методики граничним значенням коефіцієнта загальної редукції. Крива $k_{q_m} = \frac{q_m}{q'_m}$ повинна починатися з одиниці, але, як видно, вона може знаходитись як вище, так і нижче фізичної межі.

Моделювання для весняного водопілля, використовуючи карту часової інтенсивності водовіддачі [2], також не підтверджує вірність верхніх меж коефіцієнта загальної редуції.

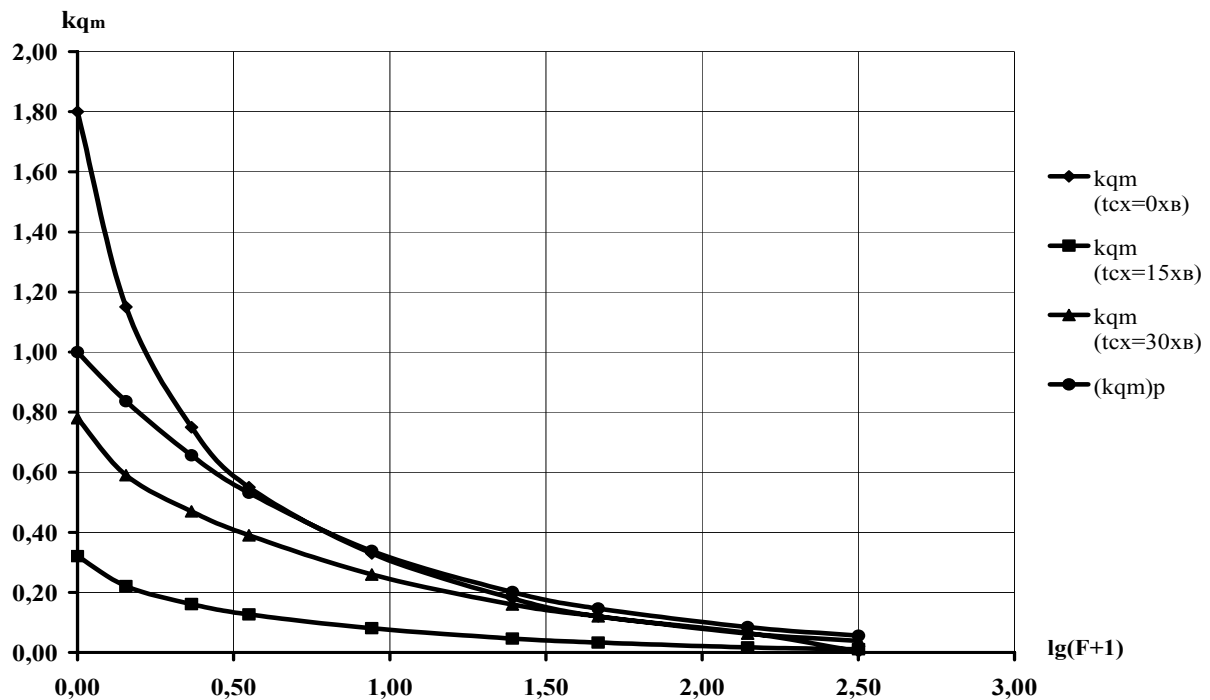


Рис. 1- Моделювання коефіцієнта загальної редуції q_m/q'_m для дощових паводків (за різних t_{cx}).

Запропонована методика. В роботі обґрунтовується більш універсальна розрахункова схема для нормування характеристик стоку, заснована на моделі руслових ізохрони [3,4]. Вихідні рівняння, в залежності від співвідношення між t_p і T_0 , мають вигляд:

- при $t_p/T_0 < 1.0$

$$Q_m = V \int_0^{t_p} q'_t B_t \varepsilon_t dt, \quad (6)$$

- при $t_p/T_0 \geq 1.0$

$$Q_m = V \int_0^{T_0} q'_t B_t \varepsilon_t dt, \quad (7)$$

де V - швидкість руслового добігання паводкових (повеневих) хвиль;
 B_m - максимальна ширина водозборів по ізохронах руслового добігання;
 ε_t - функція русло-заплавного регулювання паводків (водопіль).

Їх інтегрування по t_p і T_0 з урахуванням (2) дає змогу отримати базове рівняння

$$q_m = 0.28 \varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) Y_m \varepsilon_F, \quad (8)$$

де q_m - модуль стоку, м³/с км²;

Y_m - шар стоку, мм;

$\varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ - трансформаційна функція;

ε_F - коефіцієнт русло-заплавного регулювання.

Функцію $\varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ для невеликих (елементарних) водозборів можна представити рівняннями:

$$1) \text{ при } \frac{t_p}{T_0} = 0$$

$$\varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} = k_0, \quad (9)$$

$$2) \text{ при } 0 < \frac{t_p}{T_0} < 1.0$$

$$\varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} \left[1 - \frac{1}{(n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n \right], \quad (10)$$

$$3) \text{ при } \frac{t_p}{T_0} \geq 1.0$$

$$\varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{1}{t_p}, \quad (11)$$

$$4) \text{ при } \frac{t_p}{T_0} \gg 1.0$$

$$\varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = 0. \quad (12)$$

Для великих водозборів $\varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ представлена дещо відмінними від (9) - (12) рівняннями, а саме:

$$1) \text{ при } \frac{t_p}{T_0} = 0$$

$$\varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} = k_0, \quad (13)$$

$$2) \text{ при } 0 < \frac{t_p}{T_0} < 1.0$$

$$\varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right) = \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} \left[1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n \right], \quad (14)$$

$$3) \text{ при } \frac{t_p}{T_0} \geq 1.0$$

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

4) при $\frac{t_p}{T_0} \gg 1.0$

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

Координати трансформаційної функції $\varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ на великих і невеликих водозборах представлено на рис. 2. Як видно, для великих водозборів мають місце дещо більші значення функції $\varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$.

Реалізація запропонованої методики. Важливим етапом при розробці моделі будь-яких процесів є її практична реалізація. В роботі ця реалізація здійснена на матеріалах по максимальному стоку весняного водопілля в басейні правобережжя р. Прип'ять.

Річка Прип'ять – найбільша за величиною і водністю права притока р. Дніпро. Велика частина поверхні цієї території є плоскою, в значній мірі заболоченою, рівниною Полісся. Рельєф представлений обширною увігнутою низовиною, нахиленою від Західного Бугу до Дніпра. Заболоченість водозборів не перевищує 16%, а залісеність змінюється від 4 до 67%. В басейні розташовано 42 водомірних поста з площами водозборів від 141 до 13300 км² і роками спостережень - від 19 до 77. Пости по території розташовані рівномірно, гідрографічна мережа в правобережній частині добре розвинена.

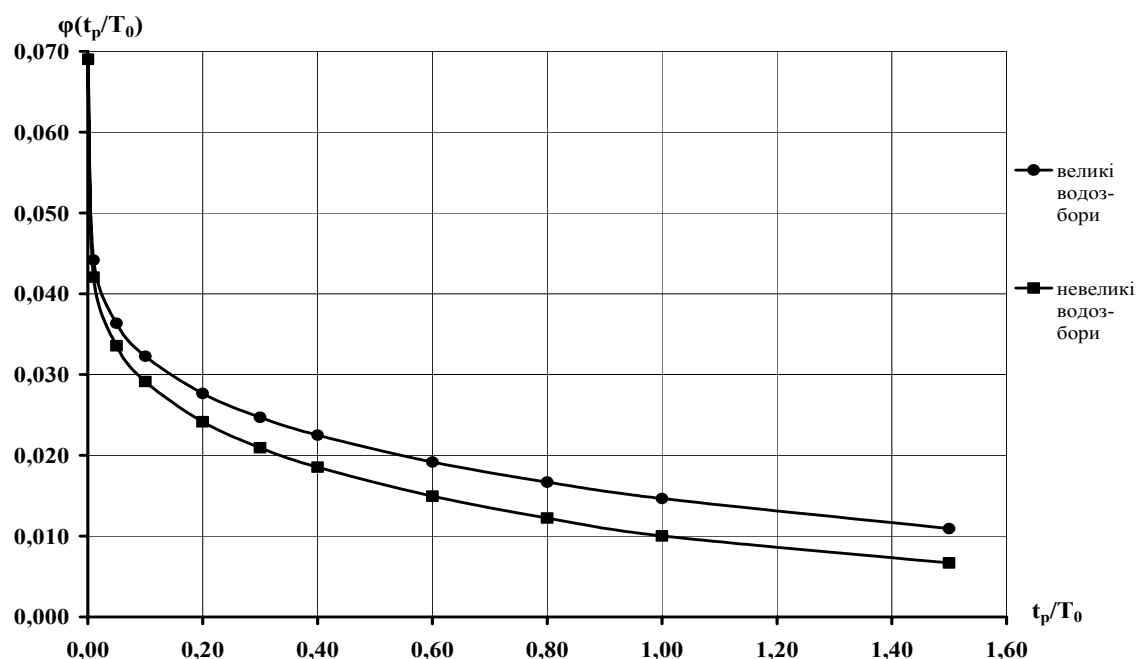


Рис. 2 – Трансформаційна функція $\varphi\left(\frac{t_p}{T_0}\right)$ для невеликих та великих водозборів.

Весняне водопілля є характерною фазою гідрологічного режиму річок даної території. Водність річок у весняний період обумовлена величиною снігозапасів, ходом сніготанення і кількістю рідких опадів, що випадають за період водопілля. Весняне водопілля складає від 40 до 80% річного стоку, і у цей період частіше усього спостерігаються найбільші у році витрати води.

При реалізації запропонованої методики нами розглядається більш природна схема урахування механізму впливу залісеності і заболоченості на максимальний стік [5], зокрема, наступне:

1. Ліса і болота впливають на q_m не безпосередньо, а опосередковано - через параметри схилового стоку h_m і T_0 .

2. Водосховища, озера і ставки проточного типу трансформують q_m завдяки наявності у них регулюючих ємностей, тобто безпосередньо впливають на максимальну ординату.

Отже, досліджувати вплив залісеності і заболоченості на максимальний стік потрібно не через q_m , а через його складові - h_m і T_0 .

Визначення величин шарів стоку, що входять до розрахункової формули (8), здійснюється за допомогою карти їх приведених значень (рис.3) та поправочних коефіцієнтів впливу залісеності k_n і заболоченості k_o , причому:

$$k_n = 1 + 0.31 \lg(f_n + 1), \quad (17)$$

$$k_o = 1 - 0.10 \lg(f_o + 1). \quad (18)$$

З (17) і (18) очевидно, що залісеність водозборів сприяє збільшенню шарів стоку за водопілля, а заболоченість їх зменшує.

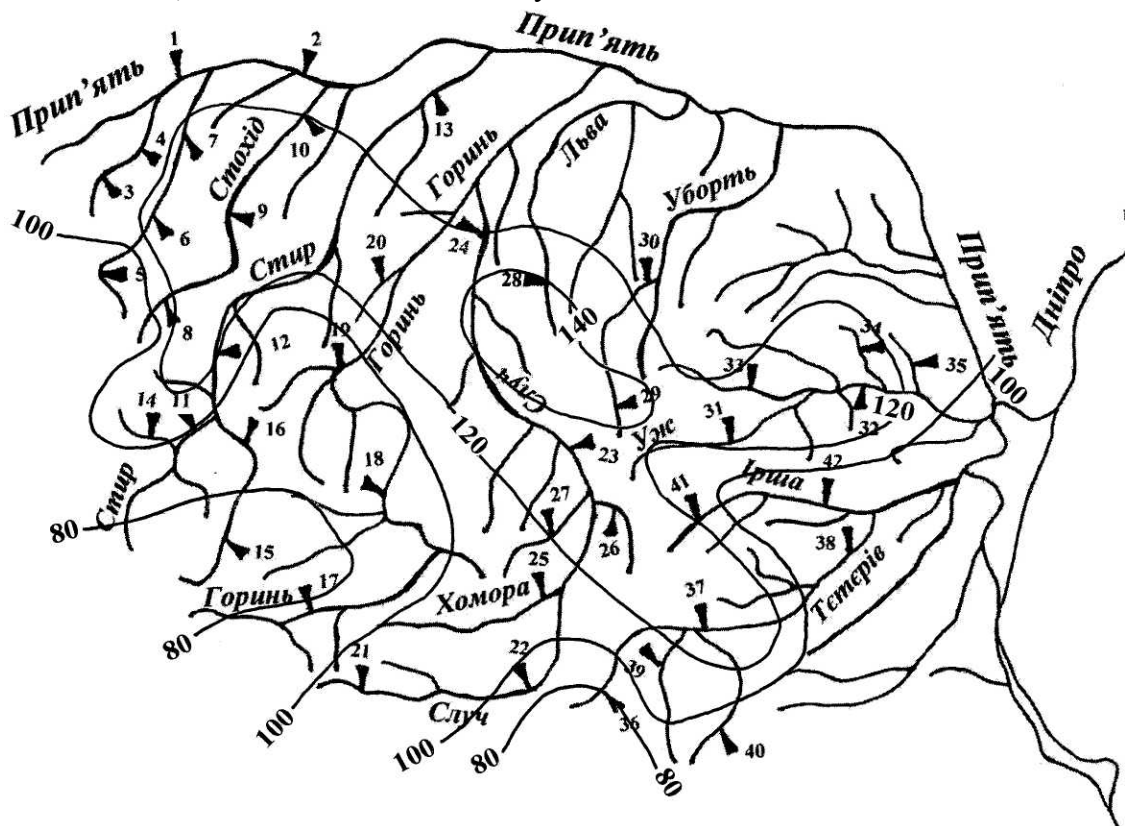


Рис.3 – Карта ізолій максимальних шарів стоку ($Y_{1\%}(f_n=0, f_o=0)$) весняного водопілля в басейні р.Прип'ять, мм.

В цілому $Y_{1\%(f_l=0),(f_b=0)}$ змінюється від 80 - 100 мм на південному заході до 120 - 140 мм – на північному сході.

Обґрунтований коефіцієнт нерівномірності схилового припливу $\frac{n+1}{n}$ у часі становить для усього водозбору р. Прип'ять 6,9, чому відповідає $n = 0.17$.

Що стосується іншого параметра – тривалості схилового припливу T_0 , то необхідно зауважити, що спостереження за цією характеристикою не проводиться на водозборах. Тому вони були визначені чисельним шляхом з використанням метода простої однокрокової ітерації. Методика розроблена на кафедрі гідрології суші і реалізована у вигляді комп'ютерної програми. У розрахунковому варіанті T_0 узагальнено у вигляді карти ізоліній (рис. 4) і коефіцієнтів k'_l та k'_b :

$$k'_l = 1 + 0.33 \lg(f_l + 1), \quad (19)$$

$$k'_b = 1 + 0.32 \lg(f_b + 1). \quad (20)$$

Привертає увагу те, що залісеність і заболоченість водозборів характеризується майже однакою регулюючою спроможністю в басейні р. Прип'ять, оскільки коефіцієнти регресії у (19) і (20) мало відрізняються один від одного.

Тривалість схилового припливу $T_{0(f_l=0),(f_b=0)}$ в басейні р. Прип'ять збільшується з південного сходу на північ і північний захід від 60 - 80 до 140 - 160 годин.

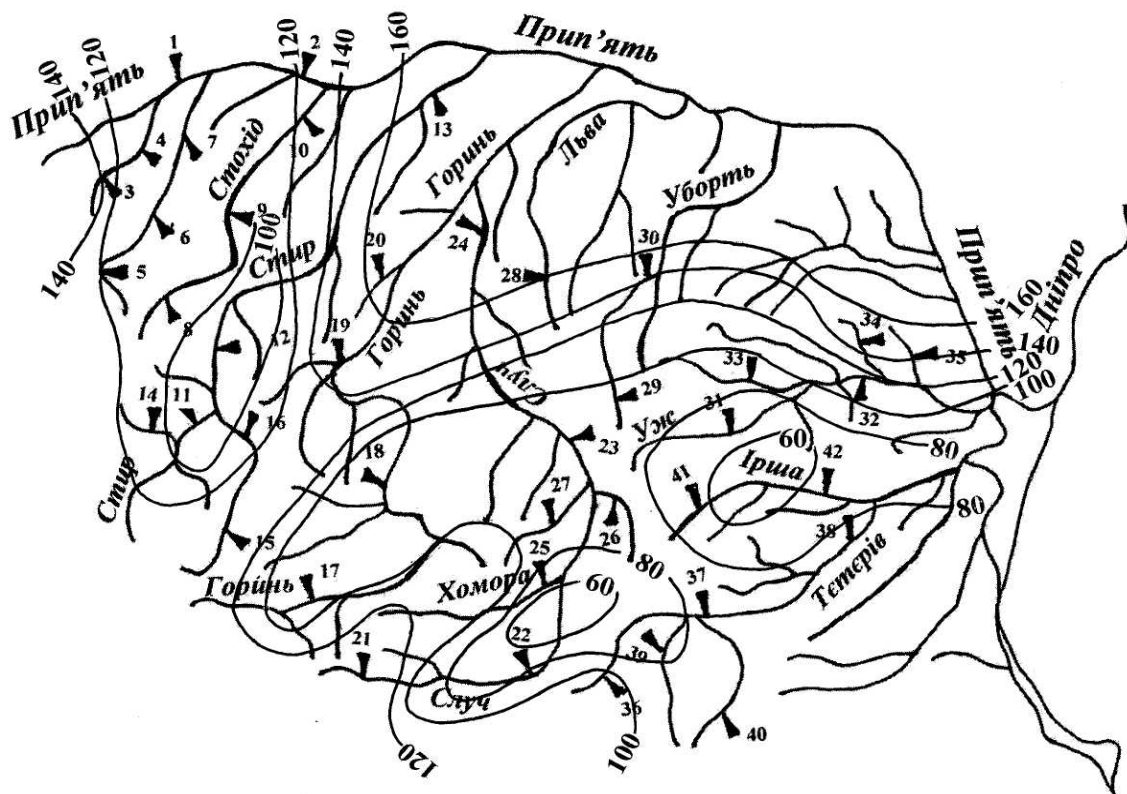


Рис.4 – Карта ізоліній тривалості схилового припливу ($T_{0(f_l=0),(f_b=0)}$) весняного водопілля в басейні р.Прип'ять, год.

Після встановлення впливу залісеності і заболоченості на окремі складові розрахункової формули (8), була здійснена комплексна оцінка та порівняння k_n , k_δ , k'_n , k'_δ з поправочними коефіцієнтами δ_1 і δ_2 , що входять до розрахункової формули СНіП 2.01.14-83.

Як видно з (3), в СНіП 2.01.14-83 для урахування впливу на максимальний стік місцевих факторів застосовуються поправочні коефіцієнти δ_1 та δ_2 , але залишається не зрозумілим, в якій мірі вони відносяться до Y_m та k_0 . Нами поправочні коефіцієнти на залісеність та заболоченість водозборів диференційовані по окремих складових: шарах стоку (k_n і k_δ) та тривалостях схилового припливу (k'_n і k'_δ). Але k_n , k_δ знаходяться у чисельнику, а k'_n , k'_δ – у знаменнику, що для порівняння не досить коректно. З іншого боку, у формулі (3) параметр T_0 входить до складу k_0 , тому необхідно перейти до альтернативних коефіцієнтів залісеності k''_n (замість k'_n) та заболоченості k''_δ (замість k'_δ)

В наших дослідженнях замість збірного коефіцієнта δ_1 використовуються його складові – на шари стоку k_n і на коефіцієнт "дружності" – k''_n . Побудовані залежності для добутку $k_n \cdot k''_n$ та δ_1 , з одного боку, і f_n – з іншого (рис. 5) мають убуваючий характер, але крива $\delta_1 = f(f_n)$ займає суттєво нижче положення, аніж $k_n \cdot k''_n = f(f_n)$.

Аналогічні залежності побудовані і для коефіцієнтів впливу заболоченості (рис. 6). У цьому випадку, навпаки, крива $k_\delta \cdot k''_\delta = f(f_\delta)$ займає більш високе положення, порівняно з $\delta_2 = f(f_\delta)$.

При цьому виявилось, що методично обґрунтованим є саме урахування впливу лісів і боліт на складові $Y_{1\%}$ і T_0 , а не введення в розрахункову формулу збірних коефіцієнтів δ_1 і δ_2 в інтегральному вигляді.

Коефіцієнт русло-заплавного регулювання визначався на одному із етапів ітераційної процедури при вирішенні задачі відносно T_0 , а у подальшому був узагальнений у вигляді регіональної формули

$$\varepsilon_F = \exp[-0.433 \cdot \lg(F + 1)]. \quad (21)$$

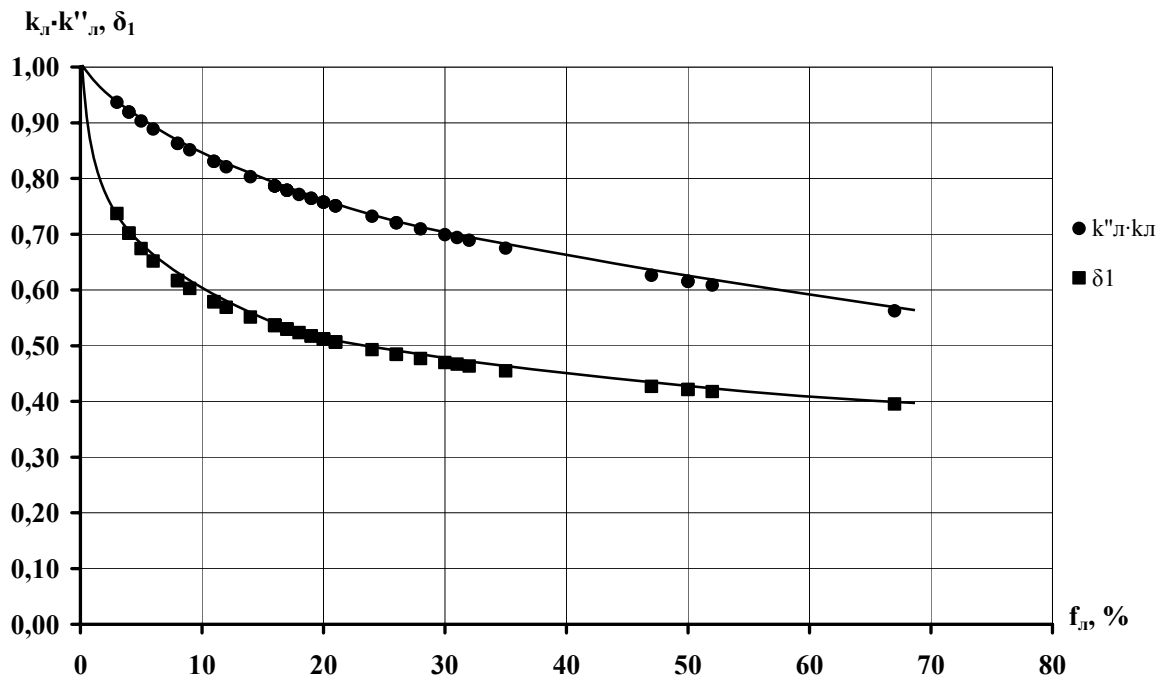


Рис. 5- Залежність коефіцієнтів $k_n \cdot k''_n$ і δ_1 від залісеності водозборів f_n .

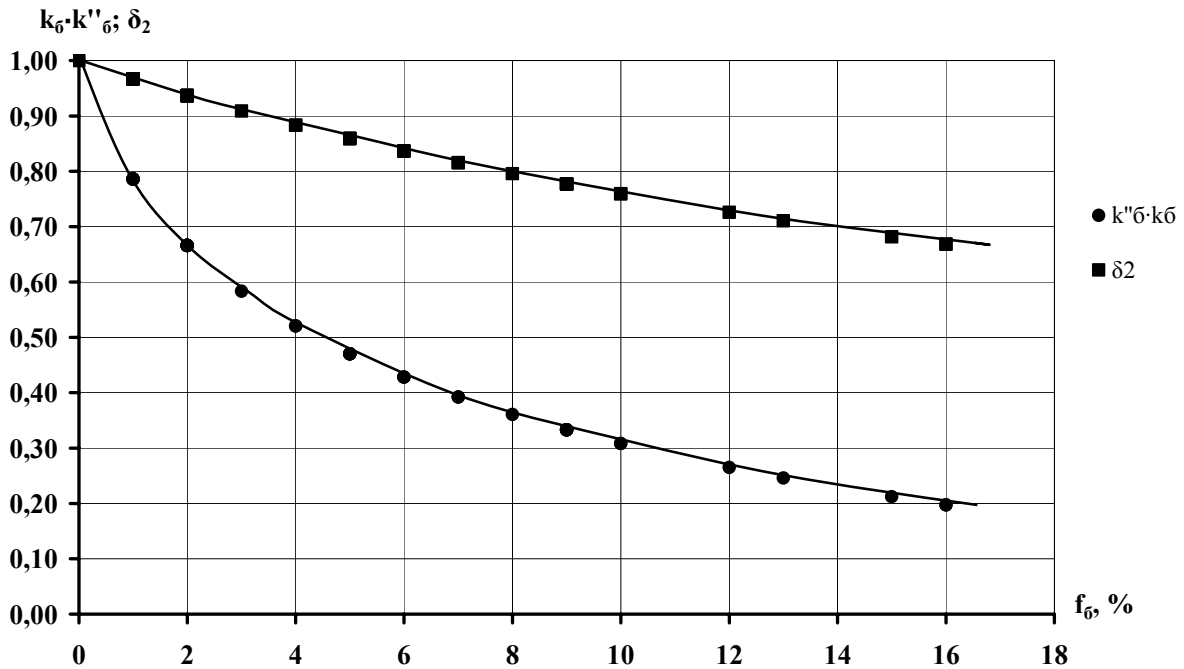


Рис. 6 – Залежність коефіцієнтів $k''_6 \cdot k'_6$ і δ_2 від заболоченості водозборів f_6 .

Точність запропонованої методики знаходиться у межах $\pm 20\%$, що в цілому відповідає точності вихідної інформації по максимальному стоку.

Висновки:

1. У роботі доведено, що діюча в Україні нормативна база по розрахунках максимального стоку водопіль має суттєві структурні і методичні недоліки і тому потребує удосконалення.
2. Запроповану науково-методичну базу можна рекомендувати для нормування характеристик весняного водопілля, як варіант майбутнього СНіПу для річок України.

Список літератури

1. *Руководство по расчетам гидрологических характеристик СНиП 2.01.14-83*, - 448 с.
2. *Ресурсы поверхностных вод СССР т.6, в.2*. - Л.: "Гидрометеиздат", 1971, - 653 с.
3. *Гопченко Е.Д., Романчук М.Е., Романчук О.К.* Теоретические аспекты формул предельной интенсивности // *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*, 2005. - вип.49. - С.414-423.
4. *Гопченко Е.Д., Родюшкина А.Е.* Об особенностях формул предельной интенсивности // *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*, 2002. - вип.46. - С.400-406.
5. *Гопченко Є.Д., Погорєлова М.П., Гопцій М.В.* Про урахування впливу місцевих факторів на розрахункові характеристики максимального стоку весняного водопілля в басейні р.Прип'ять // *Метеорологія, кліматологія та гідрологія*, 2007. - вип.50, ч.2. – С.450-457.

Методика расчета максимального стока весеннего половодья в бассейне р. Припять.

Гопченко Е.Д., Погорелова М.П., Гопцой М.В.

В статье приводится более совершенная нормативная база по расчету максимального стока на примере бассейна р. Припять.

Ключевые слова: *максимальный сток, половодье, слой стока, коэффициент «дружности», залесенность, заболоченность.*

Method of computation of maximal flow of spring flood in pool of Prip'yat.

Gopchenko E.D., Pogorelova M.P., Goptsy M.V.

In the article more perfect normative base upon the settlement of maximal flow on the example of pool Prip'yat is given.

Keywords: *maximal flow, flood, layer of flow, coefficient of «friendly», forest-covered, tagerete.*