

Міністерство освіти і науки , молоді та спорту України  
Одеський державний екологічний університет

Методичні вказівки  
до практичних занять з дисципліни  
«Гідрологічні розрахунки»  
за темою «Визначення розрахункових характеристик  
максимального стоку паводків та водопіль»

Одеса – 2012

Міністерство освіти і науки, молоді та спорту України  
Одеський державний екологічний університет

Методичні вказівки  
для практичних занять з дисципліни  
«Гідрологічні розрахунки»  
За темою «Визначення розрахункових характеристик  
максимального стоку паводків та водопіль»  
для студентів IV курсу гідрометеорологічного інституту  
ПДВ ГМ-3, ГМ-4

”Затверджено”  
на засіданні методичної комісії  
гідрометеорологічного інституту  
протокол № \_\_\_\_ від \_\_\_\_\_ 2012р.  
\_\_\_\_\_

Одеса – 2012

Методичні вказівки до практичних занять з дисципліни «Гідрологічні розрахунки» за темою «Визначення розрахункових характеристик максимального стоку паводків та водопіль» для студентів IV курсу денної форми навчання за напрямом «Гідрометеорологія», ПДВ ГМ-3, ГМ-4 / Гопченко Є.Д., Овчарук В.А., Бурлуцька М.Е.

## Зміст

Передмова.....	4
1. Теоретичне обґрунтування розрахункової методики для нормування характеристик максимального стоку весняних водопіль (дощових паводків).....	5
<b>Практична частина</b>	
Визначення розрахункових характеристик весняного водопілля в басейні р. Березина.....	9
2. Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води і шарів стоку весняного водопілля в басейні р.Березина.....	11
3. Точність розрахунку квантелів 1%-ої забезпеченості максимальних витрат води весняного водопілля річок в басейні р.Березина.....	19
4. Просторове узагальнення шарів стоку весняного водопілля річок басейну р. Березини 1%-ї забезпеченості.....	24
5. Обґрунтування параметрів розрахункової формули максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Березини...	27
5.1 Тривалість руслового добігання.....	27
5.2 Розрахункові характеристики гідрографів припливу води зі схилів до руслової мережі.....	28
5.2.1 Обґрунтування коефіцієнтів часової нерівномірності припливу води зі схилів до руслової мережі.....	28
5.2.2 Тривалість припливу води зі схилів до руслової мережі.....	32
5.2.3 Просторове узагальнення тривалості схилового припливу під час весняного водопілля в басейні р. Березина.....	35
5.3 Трансформаційна функція $\psi(t_p/T_0)$ .....	44
5.4 Максимальний модуль схилового припливу $q'_{1\%}$ .....	44
5.5 Коефіцієнт русло – заплавного регулювання $\varepsilon_F$ .....	46
5.6 Перевірочні розрахунки.....	48
<b>Запитання для самоперевірки знань і вмінь.....</b>	<b>50</b>
Література.....	52

## Передмова

Серед характеристик гідрологічного режиму річок максимальному стоку належить особливе місце, внаслідок того виключного значення, яке він має при проектуванні та експлуатації гідротехнічних споруджень на річках. Недостатньо обґрунтовані рекомендації з розрахунку максимального стоку можуть не тільки нанести збитки народному господарству в результаті руйнування споруд, збудованих в долинах річок, але й призвести до катастрофічних наслідків для населених пунктів, підприємств, сільгоспугідь, розташованих нижче за течією.

На території нашої країни максимальні витрати води на річках спостерігаються як при випаданні дощів, так і в результаті танення сезонних снігів. Інколи на річках формуються максимальні витрати води змішаного походження, коли на головну хвилю водопілля, наприклад, накладається дощовий стік. Весняне водопілля охоплює одночасно значні території, а дощові паводки частіше мають локальний характер. При визначенні розрахункових характеристик, у тому числі й максимальних витрат води, проектувальнику доводиться мати справу з трьома можливими випадками:

- 1) коли наявні тривалі часові ряди спостережень за стоком річок;
- 2) коли наявні короткі ряди спостережень;
- 3) коли спостереження за стоком відсутні.

У першому випадку максимальні витрати води і шари стоку різної ймовірності перевищення обчислюються безпосередньо за наявним матеріалом з використанням звичайних статистичних прийомів. В разі недостатності даних гідрометричних спостережень розрахункові характеристики приводяться до багаторічного періоду з використанням річок-аналогів. У третьому випадку максимальні витрати води розраховуються за різними формулами та картами.

У навчальних цілях об'єкти досліджень повинні включати до 20 постів з періодом спостережень за характеристиками максимального стоку більшим ніж 15 років. Для кожного пункту вибираються максимальні (строкові) витрати води, шари стоку, тривалість весняного водопілля (дощових паводків). Вихідний матеріал можна знайти в "Ресурсах поверхневих вод СРСР", випусках "Основних гідрологічних характеристиках", архівах кафедри гідрології суші.

# 1. Теоретичне обґрунтування розрахункової методики для нормування характеристик максимального стоку весняних водопіль (дощових паводків)

У теоретичному відношенні можливі три підходи щодо обґрунтування науково-методичної бази для нормування розрахункових характеристик максимального стоку річок:

1. Методи емпіричного узагальнення результатів гідрологічних спостережень [9].
2. Методи, в основу яких покладено геометричну схематизацію схилового і руслового (або тільки руслового) гідрографів стоку [4,9].
3. Методи, які побудовані на використанні моделі руслових ізохрон [7].

Серед них найбільш теоретично обґрунтованим є метод, заснований на моделі руслових ізохрон. Ізохронами називаються лінії однакового добігання води русловою мережею до замикального створу. Якщо швидкість потоку по довжині річки змінюється несуттєво, то руслові ізохрони трансформуються в еквідистанти – лінії однакових відстаней.

В залежності від співвідношення між тривалостями руслового добігання  $t_p$  і схилового припливу  $T_0$  можливі 2 варіанти формування річкового стоку – при  $t_p < T_0$  і  $t_p \geq T_0$ .

Розглянемо кожний з них. При цьому вважається, що водозбір має довільну форму, а гідрограф припливу води зі схилів до руслової мережі є функцією часу  $t$  і не залежить від просторових координат. В моделі руслових ізохрон можливо також врахувати ефекти русло-заплавного регулювання. Крок у часі приймається на рівні  $\Delta t$ .

За першим варіантом ( $t_p < T_0$ ) задамося конкретними величинами, наприклад,  $t_p = 3 \Delta t$ , а  $T_0 = 5 \Delta t$ . Припускається, що схиловий приплив надходить на водозбір на початку кожної розрахункової одиниці часу, а переміщується русловою мережею – наприкінці. За такою дискретною схемою

$$Q_1 = f_1 q'_1 \varepsilon_1 \quad (1.1)$$

$$Q_2 = f_1 q'_2 \varepsilon_2 + f_2 q'_2 \varepsilon_1 \quad (1.2)$$

$$Q_3 = f_1 q'_3 \varepsilon_3 + f_2 q'_2 \varepsilon_2 + f_3 q'_1 \varepsilon_1 \quad (1.3)$$

$$Q_4 = f_1 q'_4 \varepsilon_4 + f_2 q'_3 \varepsilon_3 + f_3 q'_2 \varepsilon_2 \quad (1.4)$$

$$Q_5 = f_1 q'_5 \varepsilon_5 + f_2 q'_4 \varepsilon_4 + f_3 q'_3 \varepsilon_3 \quad (1.5)$$

$$Q_6 = f_2 q'_5 \varepsilon_5 + f_3 q'_4 \varepsilon_4 \quad (1.6)$$

$$Q_7 = f_3 q'_5 \varepsilon_5 \quad (1.7)$$

$$Q_8 = 0, \quad (1.8)$$

де  $f_1, f_2, f_3$  – міжзохронні площадки, величина яких за умови незначної зміни швидкості переміщення повеневих (паводкових) хвиль  $V_\partial$  по довжині річки, буде дорівнювати

$$f_t = B_t V_\partial \Delta t, \quad (1.9)$$

$B_t$  – середня ширина водозбору у межах кожної площадки;  
 $q'_1, q'_2, \dots, q'_5$  – ординати гідрографів схилового припливу;  
 $\varepsilon_1, \varepsilon_2, \dots, \varepsilon_5$  – ординати функції русло-заплавного регулювання.

Якщо усі три функції представити у вибірці від їх максимальних значень ( $f_m, q'_m$  і  $\varepsilon_m$ ), то в системі (1.1) – (1.8) максимальна витрата води  $Q_m$  буде спостерігатись за умови, що

$$Q_m = (\sum_{t_p} f_t q'_t \varepsilon_t)_m = V_\partial \sum_{t_p} q'_t B_t \varepsilon_t \Delta t \quad (1.10)$$

або в інтегральному вигляді

$$Q_m = V_\partial \int_0^{t_p} q'_t B_t \varepsilon_t dt \quad (1.11)$$

Найбільші проблеми при інтегруванні (1.11) пов'язані з відсутністю матеріалів спостережень за процесами русло-заплавного водообміну і регулювання. Дві інші функції у редуційному вигляді описуються рівняннями:

$$q'_t = q'_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{T_0} \right)^n \right] \quad (1.12)$$

і

$$B_t = B_m \left[ 1 - \left( \frac{t}{t_p} \right)^m \right], \quad (1.13)$$

де  $q'_m$  – максимальний модуль схилового припливу;

$B_m$  – максимальна ширина водозбору по ізохронах руслового добігання.

Враховуючи відсутність даних по русло-заплавному регулюванню, запишемо приблизне вирішення (1.11), здійснивши осереднення в інтервалі  $0 - t_p$  функції  $\varepsilon_t$ , тоді

$$(Q_m)_{np} = V_\partial \bar{\varepsilon}_{t_p} \int_0^{t_p} q'_t B_t dt \quad (1.14)$$

Відношення  $\frac{Q_m}{(Q_m)_{np}}$  є перехідний коефіцієнт  $k_\varepsilon$ , завдяки чому (1.14)

набуває вигляду

$$Q_m = V_{\partial} \varepsilon_F \int_0^{t_p} q'_t B_t dt, \quad (1.15)$$

де  $\varepsilon_F = \bar{\varepsilon}_{t_p} \cdot k_{\varepsilon}$  - коефіцієнт русло-заплавного регулювання при  $t_p < T_0$ .

Після підстановки в (1.15) функцій  $q'_t$  і  $B_t$ , відповідно (1.12) і (1.13), одержимо

$$Q_m = V_{\partial} \varepsilon_F q'_m B_m \frac{m}{m+1} t_p \left[ 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left( \frac{t_p}{T_0} \right)^n \right] \quad (1.16)$$

Максимальний модуль стоку буде дорівнювати

$$q_m = q'_m \left[ 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left( \frac{t_p}{T_0} \right)^n \right] \varepsilon_F \quad (1.17)$$

Вираз, що стоїть у квадратних дужках залежить, від співвідношення між тривалостями руслового добігання  $t_p$ , схилового припливу  $T_0$ , а також від форми водозборів ( $m$ ) і динаміки схилового припливу ( $n$ ). Позначимо його, як функцію  $\psi(t_p/T_0)$ , тобто при  $t_p < T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = 1 - \frac{m+1}{(n+1)(m+n+1)} \left( \frac{t_p}{T_0} \right)^n \quad (1.18)$$

Розглянемо тепер інший випадок, коли  $t_p > T_0$ , наприклад, при  $t_p = 5\Delta t$ , а  $T_0 = 3\Delta t$ .

Тоді

$$Q_1 = f_1 q'_1 \varepsilon_1 \quad (1.19)$$

$$Q_2 = f_1 q'_2 \varepsilon_2 + f_2 q'_1 \varepsilon_1 \quad (1.20)$$

$$Q_3 = f_1 q'_3 \varepsilon_3 + f_2 q'_2 \varepsilon_2 + f_3 q'_1 \varepsilon_1 \quad (1.21)$$

$$Q_4 = f_2 q'_3 \varepsilon_3 + f_3 q'_2 \varepsilon_2 + f_4 q'_1 \varepsilon_1 \quad (1.22)$$

$$Q_5 = f_3 q'_3 \varepsilon_3 + f_4 q'_2 \varepsilon_2 + f_5 q'_1 \varepsilon_1 \quad (1.23)$$

$$Q_6 = f_4 q'_3 \varepsilon_3 + f_5 q'_2 \varepsilon_2 \quad (1.24)$$

$$Q_7 = f_5 q'_3 \varepsilon_3 \quad (1.25)$$

$$Q_8 = 0 \quad (1.26)$$

Максимальна витрата води  $Q_m$ , очевидно, як і у першому випадку, буде спостерігатись за умови

$$Q_m = \left( \sum_{T_0} q'_t f_t \varepsilon_t \right)_m = V_{\partial} \sum_{T_0} q'_t B_t \varepsilon_t \Delta t \quad (1.27)$$

або в інтегральному вигляді



$$Q_m = V_{\partial} \int_0^{T_0} q'_t B_t \varepsilon_t dt \quad (1.28)$$

Наближене вирішення (1.28) зводиться до вигляду

$$(Q_m)_{np} = V_{\partial} \bar{\varepsilon}_{T_0} \int_0^{T_0} q'_t B_t dt, \quad (1.29)$$

а відношення  $\frac{Q_m}{(Q_m)_{np}} = k_{\varepsilon}$ . Тоді

$$Q_m = k_{\varepsilon} (Q_m)_{np} = V_{\partial} \varepsilon_F \int_0^{T_0} q'_t B_t dt = V_{\partial} \varepsilon_F q'_m B_m T_0 \frac{m}{m+1} \frac{n}{n+1} \times \left[ \frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left( \frac{T_0}{t_p} \right)^m \right], \quad (1.30)$$

де  $\varepsilon_F$  – коефіцієнт русло-заплавного регулювання при  $t_p > T_0$ .

Максимальний модуль стоку буде дорівнювати

$$q_m = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} q'_m \left[ \frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left( \frac{T_0}{t_p} \right)^m \right] \varepsilon_F \quad (1.31)$$

Введемо позначення

$$\psi(t_p/T_0) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[ \frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left( \frac{T_0}{t_p} \right)^m \right] \quad (1.32)$$

З урахуванням (1.18) і (1.32) формулу для розрахунку максимальних модулів стоку можна одержати шляхом об'єднання (1.17) і (1.32), тобто

$$q_m = q'_m \Psi(t_p/T_0) \varepsilon_F \quad (1.33)$$

В структурі (1.33) функція  $\psi(t_p/T_0)$  описує трансформацію максимального стоку під впливом тривалості руслового добігання  $t_p$ , а  $\varepsilon_F$  – русло-заплавне регулювання. Своєю верхньою межею  $\psi(t_p/T_0)$  має 1.0 (при  $t_p/T_0=0$ ), а верхньою – 0 (при  $t_p \gg T_0$ ). Це ж відноситься й до параметра  $\varepsilon_F$ .

Базовим параметром у формулі (1.33) є модуль схилового припливу  $q'_m$ . Його можна представити в алгебраїчному вигляді, проінтегрувавши (1.12) по  $T_0$

$$Y_m = \int_0^{T_0} q'_t dt = \frac{n}{n+1} T_0 q'_m. \quad (1.34)$$

Звідки

$$q'_m = 0.28 \frac{n+1}{n} \cdot \frac{1}{T_0} Y_m, \quad (1.35)$$

де  $q'_m$  - максимальний модуль схилового припливу,  $\text{м}^3/(\text{с} \cdot \text{км}^2)$ ;

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

$T_0$  - тривалість схилового припливу, год;

$Y_m$  - шар стоку за водопілля (паводок), мм;

0.28 - коефіцієнт розмірності.

Якщо використовуються не шари стоку, а наприклад, паводкоутворюючі опади  $H_m$  або снігозапаси  $S_m$  (весняне водопілля), то (1.35) слід записати таким чином:

- для дощових паводків

$$q'_m = 0.28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} H_m \eta; \quad (1.36)$$

- для весняного водопілля

$$q'_m = 0.28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} S_m \eta, \quad (1.37)$$

де  $\eta$  - коефіцієнт стоку

Параметри  $\frac{n+1}{n}$ ,  $T_0$ ,  $\eta$ , що входять до (1.36) і (1.37), розраховуються

для весняних водопіль і дощових паводків окремо.

Що стосується коефіцієнта русло-заплавного регулювання  $\varepsilon_F$ , то його можна визначити по вихідних даних оберненим шляхом, виходячи з базового рівняння (1.33), а потім узагальнити по території в залежності від розміру водозборів. Зокрема,

$$\varepsilon_F = \left( \frac{q_m}{q'_m} \right) / \Psi \left( \frac{t_p}{T_0} \right) \quad (1.38)$$

## Практична частина

### Визначення розрахункових характеристик весняного водопілля в басейні р. Березина

Мета роботи: обґрунтування розрахункових параметрів максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Березина за наявності часових рядів спостережень.

Завдання: на матеріалах спостережень здійснити статистичну обробку часових рядів максимальних витрат води і шарів стоку;

виконати просторове узагальнення шарів стоку весняного водопілля 1%-ої ймовірності перевищення;

оцінити точність обчислення максимальних витрат води опорної забезпеченості;

визначити тривалість руслового добігання;  
обґрунтувати розрахункові характеристики схилового припливу:  
- коефіцієнти часової нерівномірності;  
- тривалість схилового припливу;  
обґрунтувати коефіцієнти трансформації максимальних модулів  
стоку під впливом русло – заплавного регулювання;  
обґрунтувати трансформаційні коефіцієнти, пов'язані з тривалістю  
руслового добігання.

## 2. Статистична обробка часових рядів максимальних витрат води і шарів стоку весняного водопілля в басейні р.Березина

Статистичну обробку характеристик гідрологічного режиму річок прийнято виконувати з використанням кривих біноміального та трипараметричного гама-розподілу С.Н. Крицького та М.Ф. Менкеля [8]. Статистичні параметри обчислюються за методами моментів і найбільшої правдоподібності. За методом моментів:

$$\bar{Q}_m = \frac{1}{n} \sum Q_i ; \quad (2.1)$$

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (k_i - 1)^2}{n - 1}} ; \quad (2.2)$$

$$C_s = \frac{n}{(n - 2)(n - 1)} \sum_{i=1}^n (k_i - 1)^3 / C_v^3 , \quad (2.3)$$

де  $\bar{Q}_m$  - середня арифметична величина ознаки розподілу  $Q_i$ ;

$k_i = \frac{Q_i}{\bar{Q}_m}$  - модульний коефіцієнт ознаки розподілу  $Q_i$ ;

$\bar{Q}_m$

$C_v$  - коефіцієнт варіації ознаки розподілу  $Q_i$ ;

$C_s$  - коефіцієнт асиметрії розподілу ознаки  $Q_i$ ;

$n$  - тривалість спостережень (років)

За методом найбільшої правдоподібності спочатку розраховуються допоміжні статистики  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ , причому

$$\lambda_2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n \lg k_i , \quad (2.4)$$

і

$$\lambda_3 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n k_i \lg k_i \quad (2.5)$$

Статистичні параметри  $C_v$  і співвідношення  $C_s/C_v$  встановлюються за допомогою спеціальних номограм, що наводяться у додатках до СНіП 2.01.14-83 [10]. Вхідними величинами до них є статистики  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$ .

Максимальні витрати води і шари стоку за водопілля забезпеченістю  $P\%$  визначають за допомогою теоретичних кривих розподілу:

- біноміального

$$Q_{p\%} = \bar{Q}_m [1 + C_v \Phi_{p,C_s}] ; \quad (2.6)$$

- трипараметричного гама-розподілу

$$Q_p = k_p \bar{Q}_m, \quad (2.7)$$

де  $Q_p$  - максимальна витрата води або шар стоку за водопілля забезпеченістю  $P\%$ ;

$\Phi_{p,C_s}$  - нормоване відхилення ординати кривої забезпеченості від середнього значення, яке є функцією  $P\%$  і коефіцієнта асиметрії  $C_s$

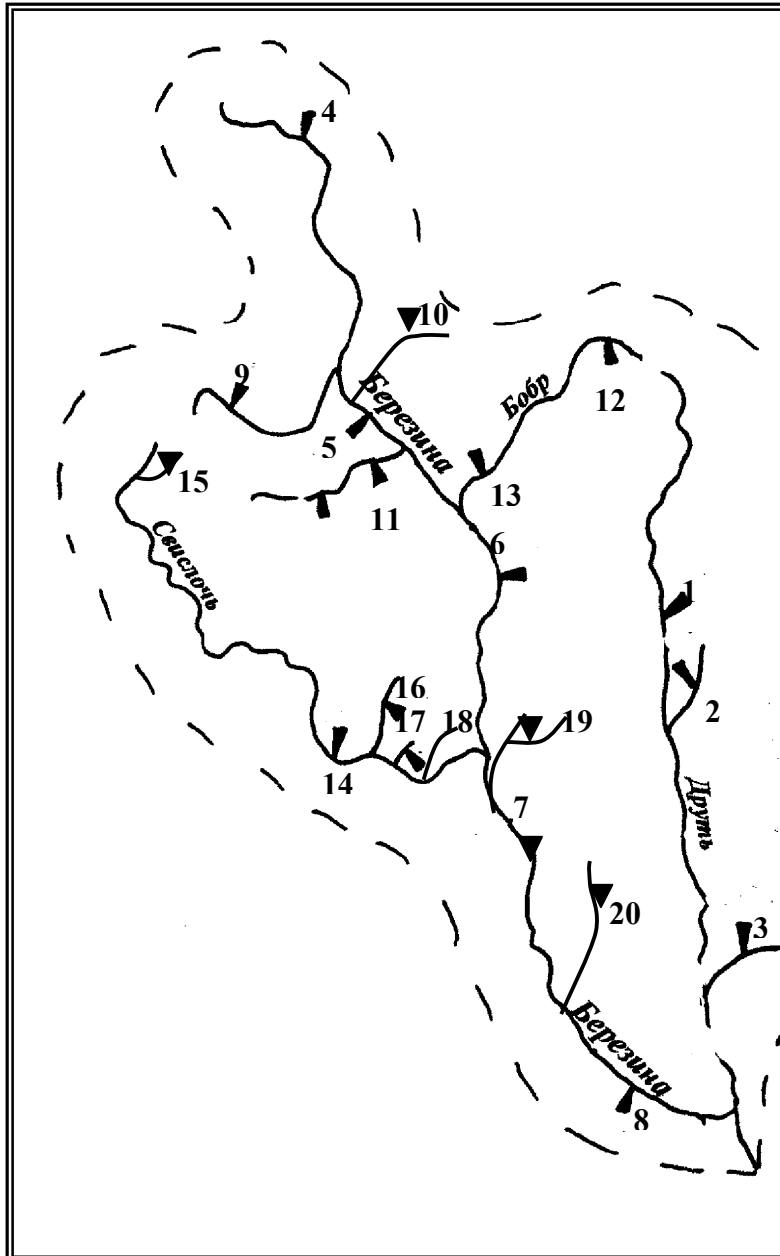
$k_p$  - модульний коефіцієнт забезпеченістю  $P\%$ , який залежить від співвідношення  $C_s/C_v$

З метою отримання практичних навичок, як приклад, будуть використані часові ряди спостережень за максимальним стоком весняного водопілля в басейні р.Березини. Схема розташування гідрологічних постів наводиться на рис. 2.1, а в табл. 2.1 надаються основні гідрографічні характеристики річок. В табл. 2.2 наводяться результати статистичної обробки часових рядів максимальних витрат води  $Q_m$ . Розрахункові максимальні витрати води, визначені за допомогою кривої трипараметричного гама-розподілу різної забезпеченості ( $P = 1; 3; 5; 10\%$ ), розміщені у табл. 2.3.

Аналогічним чином виконується статистична обробка часових рядів шарів стоку весняного водопілля в басейні р.Березина (табл. 2.4).

При розробці методики для нормування розрахункових витрат води різної ймовірності перевищення за опорну нами прийнята забезпеченість  $P=1\%$ . Саме тому для опорної забезпеченості  $P=1\%$  в табл. 2.5 наводяться величини  $Y_{1\%}$ . Застосовано, як і в попередньому випадку, криву трипараметричного гама-розподілу.

Важливим етапом при розрахунках і нормуванні характеристик максимального стоку весняного водопілля (дощових паводків) є встановлення точності вихідних даних. Зазвичай оцінки точності у першу чергу стосуються максимальних витрат води опорної (базової) забезпеченості. У нормативних документах по максимальному стоку за опорну приймається  $P=1\%$ .



Умовні позначки:

▼ - гідрологічний пост

Рисунок 2.1 – Схема розміщення гідрологічних постів в басейні р. Березина [11].

Таблиця 2.1 - Основні гідрографічні характеристики річок в басейні  
р. Березини

№ п/п	Река - пост	$F, \text{км}^2$	$L, \text{км}$	$I, \text{‰}$	$H, \text{м}$	$f_b, \%$	$f_l, \%$	$\Phi^0$ пн.ш
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	217	0,27	184	4	29	54,0
2	Орлянка - с.Хонове	43	8	1,2	186	12	12	53,8
3	Ржавка - с.Чорна Вирня	276	30	0,73	138	17	10	52,8
4	Березина - с.Березино- Липське	1200	59	0,16	189	10	54	54,7
5	Березина - м.Борисів	5690	204	0,14	189	7	59	54,5
6	Березина - смт Березино	10800	315	0,11	184	7	54	54,2
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	438	0,09	189	7	54	54,0
8	Березина - м.Світлогірськ	23300	542	0,09	183	7	52	53,4
9	Гайна -с.Гайна	15,7	2	16,4	285	0	39	54,3
10	Сха - с.Житькове	415	56	15,3	187	1	36	54,4
11	Пліса - с.Залісся	504	55	0,62	188	7	28	54,0
12	Бобр - с.Кути	374	35	0,7	194	2	48	54,5
13	Бобр - с.Кліпенка	2150	109	0,3	183	5	50	54,3
14	Вяча - с.Паперня	153	31	1,5	233	9	35	54,2
15	Свіслоч - с.Теребути	4050	239	0,29	268	2	43	54,1
16	струмок - с.Целянка	38,8	11	1,6	165	0	74	53,3
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	3,1	5,3	170	0	24	53,3
18	Грава - с.Аміновичі	39,3	2	0,8	163	0	64	53,5
19	Сушанка - м.Суша	153	14,9	0,81	166	5	87	53,6
20	Ола - с.Михальове	380	37	0,37	159	8	11	53,0

Таблиця 2.2 - Статистичні характеристики часових ряді  
в максимальних витрат воді весняного водопілля річок в басейні р.Березина

№ п/п	Річка – пост	F, км <sup>2</sup>	$\bar{Q}_m$ м <sup>3</sup> /с	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподібності			
				C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	(R <sub>1</sub> )	λ <sub>2</sub>	λ <sub>3</sub>	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub> /C <sub>v</sub>
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	260	0,84	1,60	-0,11	-0,16	0,14	0,88	2,5
2	Орлянка - с.Хонове	43,0	6,0	0,58	1,30	-0,23	-0,07	0,07	0,6	3
3	Ржавка - с.Чорна Вирня	276	21,7	0,76	1,03	0,015	-	-	0,77	1,17
4	Березина - с.Березино-Липське	1200	46,6	0,6	0,91	0,03	-0,08	0,07	0,58	1,8
5	Березина - м.Борисів	5690	175	0,53	1,14	-0,19	-0,06	0,06	0,57	3,2
6	Березина - смт Березино	10800	336	0,41	0,23	-0,31	-0,04	0,04	-	-
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	710	0,75	1,82	-0,09	-0,10	0,10	0,76	3,5
8	Березина - м.Світлогірськ	23300	1003	0,97	1,63	-0,34	-0,18	0,17	-	-
9	Гайна -с.Гайна	15,7	2,64	0,73	1,32	0,09	-0,13	0,11	0,75	2,1
10	Сха - с.Житькове	415	18,6	0,55	0,71	-0,30	-0,07	0,06	0,53	1,5
11	Пліса - с.Залісся	504	88,8	0,84	2,19	-0,26	-0,13	0,12	0,81	2,5
12	Бобр - с.Кути	374	33,09	0,79	2,17	0,07	-0,11	0,11	0,81	3,5
13	Бобр - с.Кліпенка	2150	145	0,8	1,92	0,12	-0,12	0,11	0,76	2,5
14	Вяча - с.Паперня	153	7,62	0,68	1,70	0,071	-	-	0,69	2,47
15	Свислоч - с.Теребути	4050	209	0,88	2	-0,07	-0,14	0,14	-	-
16	струмок - с.Целянка	38,8	3,9	0,82	1,69	-0,28	-0,14	0,13	0,78	2,3
17	струмок - с.Троїцьке	8,10	2,23	0,79	1,26	-0,45	-0,16	0,13	0,81	2
18	Грава - с.Аміновичі	39,3	4,00	1,06	2,45	-0,31	-	-	1,09	3,7
19	Сушанка - м.Суша	153	10,7	0,82	1,23	-0,14	-0,15	0,13	0,83	2,4
20	Ола - с.Михальове	380	42,8	0,67	0,4	-0,38	-0,17	0,11	-	-



Таблиця 2.3 – Розрахункові величини максимальних витрат води весняного водопілля різної забезпеченості в басейні р.Березини (при  $C_s = 2,5C_v$ )

№ п/п	Річка – пост	F, км <sup>2</sup>	$\bar{Q}_m$ м <sup>3</sup> /с	$C_v$	k <sub>1%</sub>	k <sub>3%</sub>	k <sub>5%</sub>	k <sub>10%</sub>	Q <sub>1%</sub> м <sup>3</sup> /с	Q <sub>3%</sub> м <sup>3</sup> /с	Q <sub>5%</sub> м <sup>3</sup> /с	Q <sub>10%</sub> м <sup>3</sup> /с
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	260	0,84	3,90	3,05	2,63	2,08	1015	792	683	540
2	Орлянка - с.Хонове	43,0	6,0	0,58	2,88	2,35	1,95	1,75	17,3	14,1	11,7	10,5
3	Ржавка - с.Чорна Вирня	276	27,1	0,77	3,84	2,87	2,46	1,94	104	77,8	66,8	52,6
4	Березина - с.Березино-Липське	1200	46,5	0,6	3,01	2,43	2,15	1,80	140	113	100	83,7
5	Березина - м.Борисів	5690	166	0,53	2,61	2,19	1,99	1,70	433	364	330	282
6	Березина - смт Березино	10800	362	0,41	2,20	1,91	1,76	1,54	804	691	637	557
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	712	0,75	3,64	2,74	2,45	1,95	2592	1951	1744	1388
8	Березина - м.Світлогірськ	23300	920	0,97	4,75	3,46	2,90	2,20	4370	3183	2668	2024
9	Гайна -с.Гайна	15,7	2,54	0,73	3,62	2,72	2,39	2,17	9,19	6,91	6,07	5,51
10	Сха - с.Житькове	415	31,1	0,55	2,62	2,30	2,05	1,77	81,5	71,5	63,8	55,0
11	Пліса - с.Залісся	504	28,8	0,84	3,92	3,05	2,63	2,08	113	87,8	75,7	59,9
12	Бобр - с.Кути	374	28,7	0,79	3,66	2,95	2,53	2,00	105	84,7	72,6	57,4
13	Бобр - с.Кліпенка	2150	146	0,8	3,87	2,96	2,55	2,01	565	432	372	293
14	Вяча - с.Паперня	153	7,62	0,69	3,50	2,69	2,34	1,86	26,7	20,5	17,8	14,2
15	Свіслоч - с.Теребути	4050	239	0,88	4,76	3,21	2,72	2,09	1138	767	650	500
16	струмок - с.Целянка	38,8	4,07	0,82	3,88	3,00	2,58	2,04	15,8	12,2	10,5	8,30
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	2,44	0,79	3,86	2,95	2,53	2,00	9,42	7,20	6,17	4,88
18	Грава – с.Аміновичі	39,3	4,00	1,09	5,32	3,72	3,05	2,23	21,3	14,9	12,2	8,92
19	Сушанка - м.Суша	153	10,7	0,82	3,89	3,00	2,58	2,04	41,6	32,1	27,6	21,8
20	Ола - с.Михальове	380	42,8	0,67	3,25	2,66	2,29	1,87	139	114	98,0	80,0

Таблиця 2.4 - Статистична обробка часових рядів шарів стоку весняного водопілля в басейні р.Березини

№ п/п	Річка – пост	F, км <sup>2</sup>	$\bar{Y}_m$ мм	Метод моментів			Метод найбільшої правдоподібності			
				C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub>	(R <sub>1</sub> )	$\lambda_2$	$\lambda_3$	C <sub>v</sub>	C <sub>s</sub> /C <sub>v</sub>
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	56,4	0,44	0,78	0,1647	-0,0455	0,0422	0,44	1,6
2	Орлянка - с.Хонове	43,0	54,3	0,63	0,73	0,0023	-0,1028	0,0872	0,67	2,1
3	Ржавка - с.Чорна Вирня	276	60,0	0,59	0,86	-0,009	-	-	0,60	1,6
4	Березина - с.Березино-Липське	1200	59,4	0,33	0,33	0,1792	-0,0256	0,0241	-	-
5	Березина - м.Борисів	5690	91,7	0,35	0,32	-0,0835	-0,0279	0,0263	-	-
6	Березина - смт Березино	10800	77,8	0,3	-0,31	-0,4636	-0,0237	0,021	0,31	3,5
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	81,3	0,37	0,49	-0,0411	-0,0315	0,0292	0,38	3,5
8	Березина - м.Світлогірськ	23300	92	0,52	1,28	-0,2164	-0,0546	0,0533	0,51	3,0
9	Гайна -с.Гайна	15,7	51,5	0,65	1,63	-0,47	-0,0935	0,0835	0,63	2,1
10	Сха - с.Житькове	415	47,6	0,45	0,93	0,2967	0,0414	0,0412	0,45	3,8
11	Пліса - с.Залісся	504	62,7	0,58	0,99	-0,0059	-0,0785	0,0703	0,58	1,8
12	Бобр - с.Кути	374	34,2	0,45	1,33	0,2271	-0,0402	0,0407	0,45	3,8
13	Бобр - с.Кліпенка	2150	70,3	0,46	0,7	0,1261	-0,0479	0,0444	-	-
14	Вяча - с.Паперня	153	42,7	0,46	-0,07	0,25	-	-	0,46	0,2
15	Свіслоч - с.Теребуты	4050	58,9	0,54	0,69	-0,1301	-0,074	0,0638	0,53	1,5
16	струмок - с.Целянка	38,8	61,3	0,81	1,09	0,1142	-0,1931	0,1406	-	-
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	87,6	0,61	0,96	-0,1921	-0,0875	0,0781	0,63	2,1
18	Грава - с.Аміновичі	39,3	74	0,69	1,67	-0,317	-	-	0,70	3,3
19	Сушанка - м.Суша	153	70,5	0,55	0,82	0,1697	-0,0742	0,0648	0,43	1,5
20	Ола - с.Михальове	380	63	0,6	1,01	-0,2395	-0,0873	0,0763	0,63	2

Середнє 2,34

Таблиця 2.5 - Розрахункові величини шарів стоку весняного водопілля забезпеченістю  $P = 1\%$  в басейні р.Березини (при  $C_s = 2,5C_v$ )

№ п/п	Річка – пост	$F, \text{км}^2$	$\bar{Y}_m, \text{мм}$	$C_v$	$k_{1\%}$	$Y_{1\%}, \text{мм}$	$\varphi^0$ пн.ш
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	56,4	0,44	2,36	133	54,0
2	Орлянка - с.Хонове	43,0	54,3	0,63	3,13	170	53,8
3	Ржавка - с.Чорна Вирня	276	60,0	0,60	3,00	180	52,8
4	Березина - с.Березино-Липське	1200	59,4	0,33	1,95	116	54,7
5	Березина - м.Борисів	5690	91,7	0,35	2,04	186	54,5
6	Березина - смт Березино	10800	77,8	0,3	1,86	145	54,2
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	81,3	0,37	2,10	171	54,0
8	Березина - м.Світлогірськ	23300	92,0	0,52	2,67	246	53,4
9	Гайна -с.Гайна	15,7	51,5	0,65	3,20	165	54,3
10	Сха - с.Житькове	415	47,6	0,45	2,39	114	54,4
11	Пліса - с.Залісся	504	62,7	0,58	2,92	183	54,0
12	Бобр - с.Кути	374	34,2	0,45	2,40	82	54,5
13	Бобр - с.Кліпенка	2150	70,3	0,46	2,40	169	54,3
14	Вяча - с.Паперня	153	42,7	0,46	2,41	103	54,2
15	Свіслоч - с.Теребути	4050	58,9	0,54	2,75	162	54,1
16	струмок - с.Целянка	38,8	61,3	0,81	3,92	240	53,3
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	87,6	0,61	3,11	272	53,3
18	Грава - с.Аміновичі	39,3	74,0	0,70	3,42	253	53,5
19	Сушанка - м.Суша	153	70,5	0,55	2,79	197	53,6
20	Ола - с.Михальове	380	63,0	0,60	3,00	189	53,0

### 3. Точність розрахунку квантелів 1%-ої забезпеченості максимальних витрат води весняного водопілля річок в басейні р.Березина

Для об'єктивної оцінки точності обчислення максимальних витрат води різної ймовірності перевищення  $Q_{1\%}$  необхідно визначити їх середню квадратичну похибку.

Середня квадратична похибка квантилів, визначених за допомогою кривої Пірсона III типу, виходячи з двох перших вибіркових статистичних моментів та заданого співвідношення між коефіцієнтами варіації і асиметрії, за методикою Г.А.Алексєєва [1], дорівнює

$$\sigma_{Q_p} = \frac{100}{Q_{p1\%}} \sqrt{(1 + C_v \Phi_p)^2 \frac{C_v^2 \bar{Q}_m^2}{n} + \left( \Phi_p + C_s \frac{d\Phi_p}{dC_s} \right)^2} \times \bar{Q}_m^2 C_v^2 \left( \frac{C_v^2}{n} + \frac{1 + 0.75 C_s^2}{2n} - \frac{C_s C_v}{n} \right), \quad (3.1)$$

де  $n$  – кількість років спостережень,  $\frac{d\Phi_p}{dC_s}$  – часткова похідна, яка приблизно може бути обчислена за формулою

$$\frac{d\Phi_p}{dC_s} \cong \frac{\Phi(P, C_s + \Delta C_s) - \Phi(P, C_s)}{\Delta C_s}, \quad (3.2)$$

використовуючи сусідні значення  $\Phi(P, C_s)$  та  $\Phi(P, C_s + \Delta C_s)$  у таблиці нормованих квантилів кривої Пірсона III типу [10]. Для гама-розподілу при використанні методу моментів середню квадратичну похибку квантилів визначають за формулою

$$\sigma_{Q_p} = \frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}} \sqrt{k_p^2 + \frac{1 + 3C_v}{2} \left( \frac{dk_p}{dC_v} \right)^2}. \quad (3.3)$$

В разі використання методу найбільшої правдоподібності

$$\sigma_{Q_p} = \frac{\sigma_Q}{\sqrt{n}} \sqrt{k_p^2 + \frac{3}{2C_v + 3C_v^2} \left( \frac{dk_p}{dC_v} \right)^2}, \quad (3.4)$$

де  $\sigma_Q$ ,  $C_v$  – параметри розподілу;  $k_p$  – нормована ордината кривої розподілу ймовірністю перевищення  $P\%$ ;  $\frac{dk_p}{dC_v}$  - похідна, яка приблизно обчислюється за таблицями ординат розподілу.

С.Н.Крицький та М.Ф.Менкель [8] розробили номограми для визначення відносної стандартної похибки квантилів трипараметричного гама-розподілу  $\left( E_\sigma = \frac{\sigma_{Q_p} \sqrt{n}}{Q_p} \right)$  з закріпленими відношеннями  $C_s=2C_v$ ,  $3C_v$ ,

$4C_v$  (рис.3.1, 3.2). Таким чином, визначивши величину  $E_\sigma$  за номограмою, знаходиться відносна середня квадратична похибка квантилів  $Q_p$  за формулою

$$\frac{\sigma_{Q_p}}{Q_p} = \frac{E_\sigma}{\sqrt{n}} 100. \quad (3.5)$$

Розраховані за формулою (3.5) середньоквадратичні похибки 1% - их квантилів максимальних витрат води  $Q_{1\%}$  у межах басейну р. Березина наводяться у табл. 3.1. У середньому вона дорівнює 20,3%.

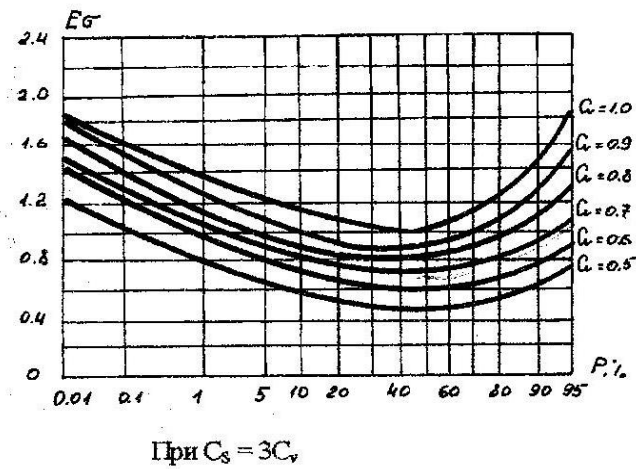
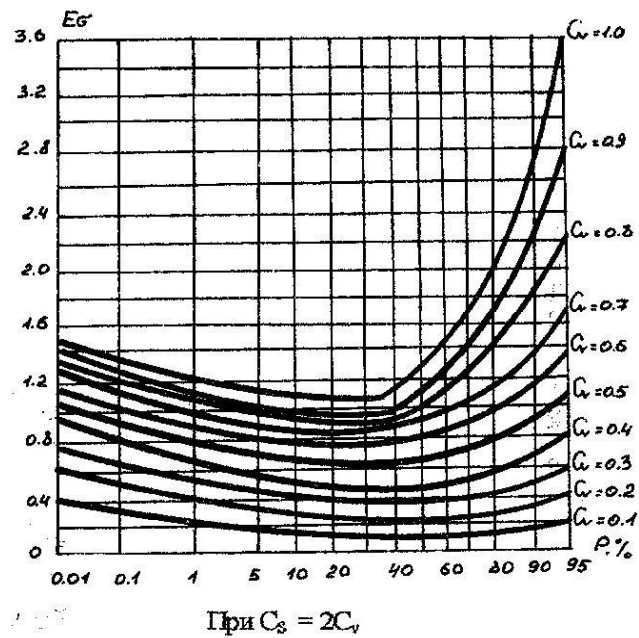


Рисунок 3.1 - Номограми для визначення відносних стандартних похибок квантилів  $E_\sigma = \frac{\sigma_{Q_P} \sqrt{n}}{Q_P}$  трипараметричного гама-розподіл

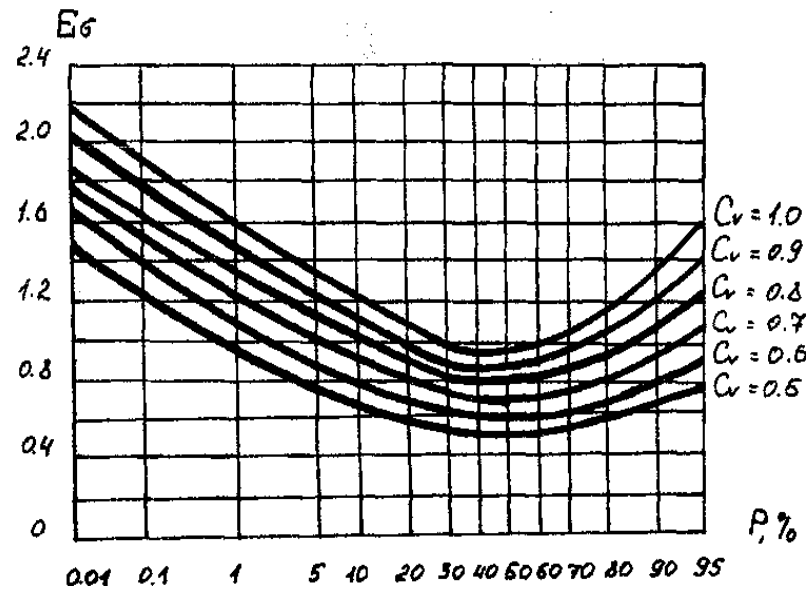


Рисунок 3.2 – Номограма для визначення відносних стандартних

похибок квантилів  $E_\sigma = \frac{\sigma_{Q_p} \sqrt{n}}{Q_p}$  трипараметричного  
 гама-розподілу при  $C_S = 4C_v$

Таблиця 3.1 - Розрахунки середньоквадратичних похибок максимальних витрат води річок в басейні р.Березина забезпеченістю  $P=1\%$  ( $C_s/C_v=2,5$ )

№ п/п	Річка – пост	F, км <sup>2</sup>	Q <sub>1%</sub> , м <sup>3</sup> /с	n, років	C <sub>v</sub>	E <sub>σ</sub>	σ <sub>Q<sub>1%</sub></sub> , %
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	1015	14	0,84	0,7	18,7
2	Орлянка - с.Хонове	43	17,3	30	0,58	1	18,3
3	Ржавка - с.Чорна Вирня	276	104	31	0,77	1,15	20,7
4	Березина - с.Березино-Липське	1200	140	21	0,6	0,8	17,5
5	Березина - м.Борисів	5690	433	53	0,53	0,7	9,6
6	Березина - смт Березино	10800	804	19	0,41	1,1	25,2
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	2592	47	0,75	1,4	20,4
8	Березина - м.Світлогірськ	23300	4370	18	0,97	1,1	25,9
9	Гайна -с.Гайна	15,7	9,19	18	0,73	0,8	18,9
10	Сха - с.Житькове	415	81,5	29	0,55	1,15	21,4
11	Пліса - с.Залісся	504	113	26	0,84	1,15	22,6
12	Бобр - с.Кути	374	105	24	0,79	1,15	23,5
13	Бобр - с.Кліпенка	2150	565	44	0,8	1,2	18,1
14	Вяча - с.Паперня	153	26,7	41	0,69	1,19	18,6
15	Свіслоч - с.Теребути	4050	1138	21	0,88	1,1	24,0
16	струмок - с.Целянка	38,8	15,8	28	0,82	1,15	21,7
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	9,42	26	0,79	1	19,6
18	Грава - с.Аміновичі	39,3	21,3	24	1,09	1,05	21,4
19	Сушанка - м.Суша	153	41,6	35	0,82	1	16,9
20	Ола - с.Михальове	380	139	25	0,67	1,19	23,8
Середня похибка							20.3%



#### 4. Просторове узагальнення шарів стоку весняного водопілля річок басейну р. Березини 1%-ї забезпеченості

Можливі два підходи до просторового узагальнення шарів стоку весняного водопілля (дощових паводків): картування або районування. У гідрологічній практиці, у тому числі й у нормативних документах головним чином використовується перший підхід. Оскільки розподіл тепла і вологи в рівнинних умовах визначається широтним положенням об'єктів, спочатку досліджується залежність розрахункових шарів стоку від широти геометричних центрів водозборів. Приклад просторового розподілу шарів стоку весняного водопілля  $Y_{1\%}$  в басейні р.Березина від широти  $\varphi^\circ$  півн.ш. наводиться на рис. 4.1. Вихідні дані запозичені з табл. 2.5. Описується залежність рівнянням лінійного типу, а саме

$$Y_{1\%} = a_\varphi - b_\varphi \varphi, \quad (4.1)$$

де -  $a_\varphi$  і  $b_\varphi$  - емпіричні параметри.

Враховуючи, що досліджуваний басейн знаходиться в обмеженому географічному просторі, доцільно рівняння (4.1) привести в дещо інших координатах, зокрема,

$$Y_{1\%} = a_{\varphi=53.5} - b_\varphi(\varphi - 53.5), \quad (4.2)$$

де -  $a_{\varphi=53.5} = (Y_{1\%})_{\varphi=53.5}$  - приведене до умовної широти  $\varphi = 53.5^\circ$  півн.ш. значення шару стоку  $Y_{1\%}$ ;

$b_\varphi$  - 67.0 – тангенс кута нахилу лінії зв'язку до осі абсцис.

Для басейну р. Березини залежність (4.2), таким чином, набуває вигляду

$$Y_{1\%} = 201 - 67,0(\varphi - 53,5) \quad (4.3)$$

Коефіцієнт її кореляції  $R$  становить 0,70 і є значущим. За таких умов величина  $Y_{1\%}$  може бути картованою (рис. 4.2). Для побудування цієї карти використані дані по  $Y_{1\%}$ , приведені в табл. 2.5. Наносяться вони до геометричних центрів водозборів. Ізолінії (в залежності від амплітуди) проводяться з кроком: 5; 10; 20; 50; 100 або 200 мм. Зокрема, по басейну р. Березини ізолінії проведені через 50 мм. Змінюються вони у напрямку з півночі на південь від 100 до 250 мм.

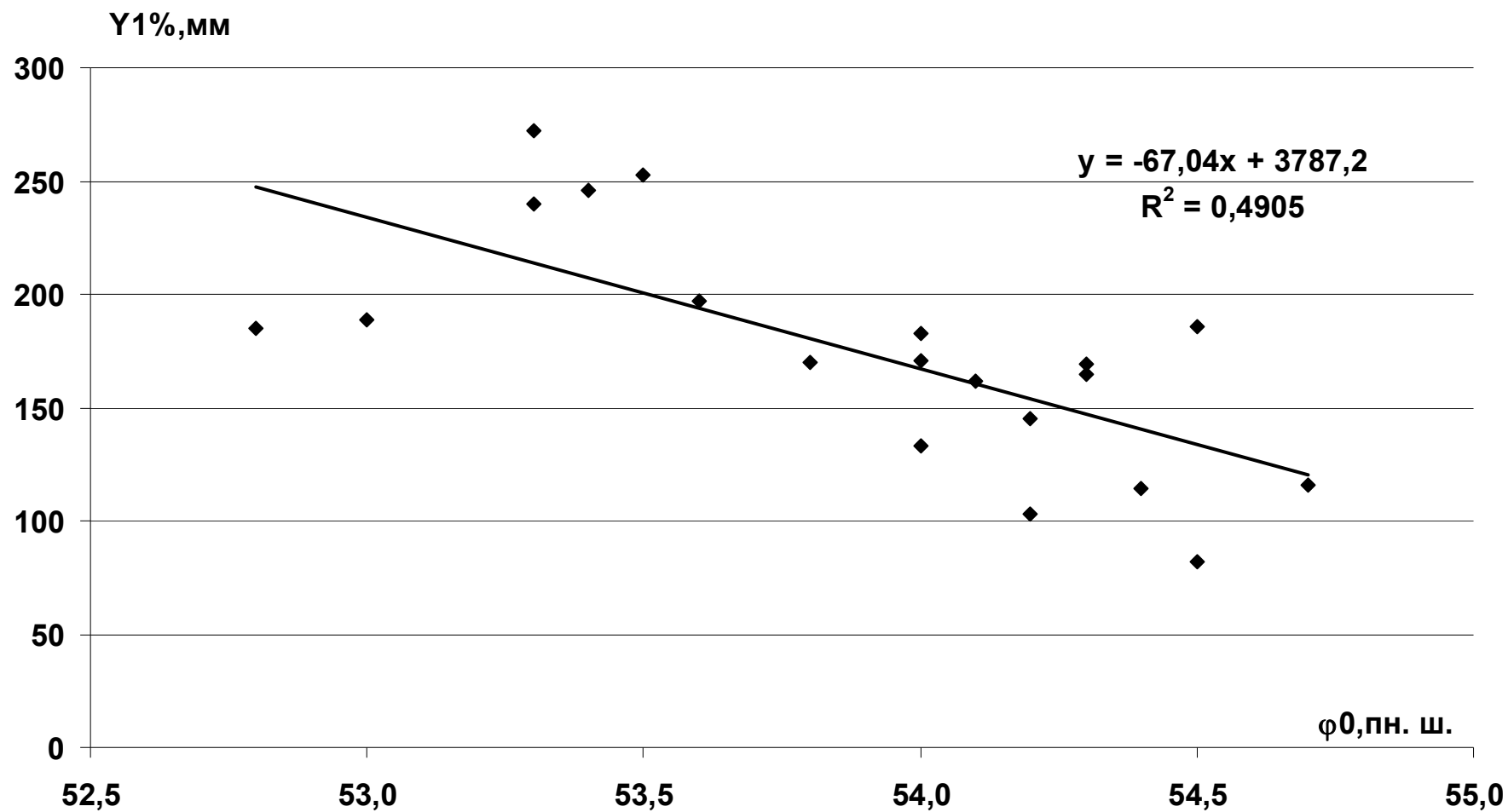


Рис. 4.1 – Залежність шарів стоку весняного водопілля 1%-ої забезпеченості від широти геометричних центрів водозборів в басейні р. Березина

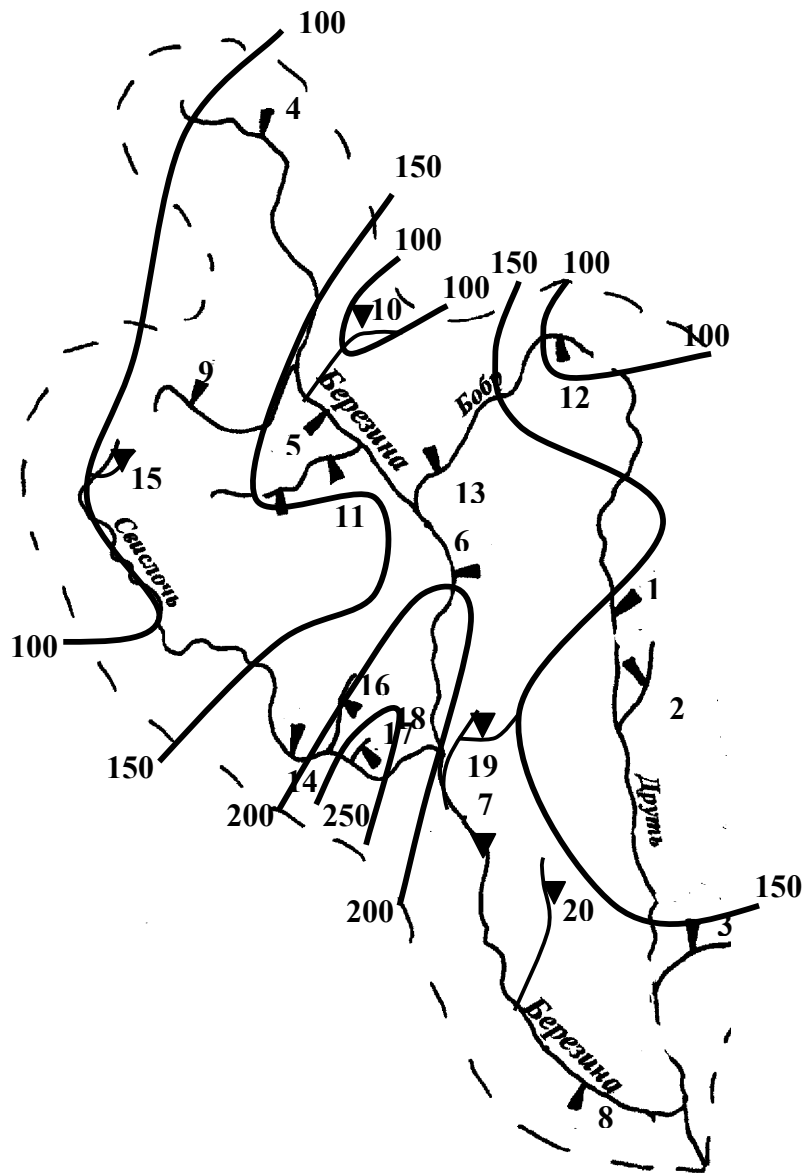


Рисунок 4.2 – Карта-схема розподілу шарів стоку весняного водопілля 1%-ої забезпеченості в басейні р. Березина, мм

## 5. Обґрунтування параметрів розрахункової формули максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Березини

### 5.1 Тривалість руслового добігання

Час руслового добігання паводкової хвилі по довжині головного водотоку  $t_p$  (год.) обчислюється за співвідношенням:

$$t_p = \frac{L}{V_d}, \quad (5.1)$$

де  $L$  - гідрографічна довжина водотоку, км;  $V_d$  - швидкість добігання км/год.

Для визначення швидкості руслового добігання  $V_d$  поширене використання в інженерній гідрології отримав дещо модифікований варіант відомої в гідравліці формули Шезі:

$$V_d = a_1 Q^\alpha I^\beta, \quad (5.2)$$

де  $a_1$  – швидкий коефіцієнт, що враховує форму перетину та шорсткість русла;  $\alpha$  і  $\beta$  - гідравлічні показники.

А.Н. Бефані [2] для русел параболічного типу одержав такі вирази для  $\alpha$  і  $\beta$ :

$$\alpha = \frac{r}{r + 1}; \quad (5.3)$$

$$\beta = \frac{1}{2(r + 1)}, \quad (5.4)$$

де  $r = r_0 z$ , а  $z$  залежить від типу русла ( $z = 0.75$  - для природних русел, чистих і зарослих травою;  $0.83$  – для значно зарослих чагарником, водоростями;  $1.0$  – для селевих потоків, глибоких заплав). Степеневий показник  $r_0$  для лісостепової зони України коливається в межах від  $0.47$  до  $1.20$ , при середньому значенні  $\bar{r}_0 = 0.66$ , для степової зони – від  $0.30$  до  $0.87$ , при середньому значенні  $\bar{r}_0 = 0.64$ , для Полісся – від  $0.30$  до  $1.0$ , при середньому значенні  $\bar{r}_0 = 0.72$ , для річок Криму – від  $0.52$  до  $0.88$ , при середньому значенні  $\bar{r}_0 = 0.67$ , для Карпат – від  $0.47$  до  $1.20$ , при середньому значенні  $\bar{r}_0 = 0.66$  [8].

Степеневі показники  $\alpha$  і  $\beta$  однакові для всіх зон:  $\alpha = 0.33$ ;  $\beta = 0.33$  (при  $z=0.75$  – природні русла, чисті і зарослі травою).

Таким чином, формула (5.2) може бути записана у вигляді:

$$V = a_1 Q^{0.33} I^{0.33}. \quad (5.5)$$

Визначні паводки, як правило, супроводжуються виходом води на заплаву річок. Витрати води, які відповідають виходу води на заплаву, тобто  $Q = Q_{кр}$  добре узгоджуються з розмірами водозборів. Тому для обґрунтування швидкісного коефіцієнта  $a_1$  необхідно спочатку проаналізувати дані по середніх швидкостях течії в усіх гідрометричних створах річок і, якщо виразити  $Q_{кр}$  через площу водозбору  $F$ , то формулу швидкості руслового добігання (5.5) можна записати у спрощеному варіанті:

$$V_{\partial} = a_2 F^{\alpha_2} I^{0.33}, \text{ км/год}, \quad (5.6)$$

де  $a_2$  – регіональний швидкісний показник степені, представлений табл.5.1.

Таблиця 5.1 - Параметри формули швидкості руслового добігання (5.6)

Район Параметр	Лісосте- пова зона	Полісся	Степова зона	Крим	Карпати
$a_2$	1,51	1,37	1,19	1,14	1,44
$\alpha_2$	0,17	0,12	0,14	0,13	0,16

Для басейну р. Березини формула для розрахунку швидкості руслового добігання  $V_{\partial}$  (км/год), враховуючи дані табл. 5.1, має вигляд:

$$V_{\partial} = 1.37 F^{0.12} I^{0.33}. \quad (5.7)$$

## 5.2 Розрахункові характеристики гідрографів припливу води зі схилів до руслової мережі

До них відносяться коефіцієнти часової нерівномірності схилового припливу і тривалість надходження води зі схилів до руслової мережі.

### 5.2.1 Обґрунтування коефіцієнтів часової нерівномірності припливу води зі схилів до руслової мережі

Коефіцієнт часової нерівномірності припливу води зі схилів до руслової мережі  $\frac{n+1}{n}$  є відношенням максимальної витрати води  $Q'_m$  до її середнього значення за період водопілля чи паводка  $\bar{Q}'_{T_0}$ , тобто

$$\frac{n+1}{n} = \frac{Q'_m}{Q'_{T_0}}, \quad (5.8)$$

Внаслідок рідкої мережі воднобалансових станцій в організаційній структурі гідрометеорологічних спостережень, методичні підходи щодо обґрунтування  $\frac{n+1}{n}$  вкрай обмежені. Тому заслуговує на увагу запропонований у роботах [5,7] метод визначення  $\frac{n+1}{n}$  та  $n$  за допомогою використання характеристик руслових гідрографів, зокрема, коефіцієнтів часової нерівномірності руслового стоку  $(m_1 + 1)/m_1$ , який дорівнює

$$\frac{m_1 + 1}{m_1} = \frac{Q_m T_{II}}{Y_m F} 86,4 = \frac{Q_m}{Q_{T_n}}, \quad (5.9)$$

де  $Q_m$  - максимальна витрата води ( $\text{м}^3/\text{с}$ );  $T_{II}$  - тривалість весняного водопілля (паводків), діб;  $Y_m$  - шар стоку за водопілля чи паводок (мм);  $F$  - площа водозбору ( $\text{км}^2$ ); 86,4 – коефіцієнт розмірності.

Узагальнення  $(m_1 + 1)/m_1$  по території показало, що його інтегрально можна відобразити за допомогою площі водозборів  $F$ . Під впливом головним чином ефектів русло-заплавного регулювання відбувається поступове зменшення  $\frac{m_1 + 1}{m_1}$  з ростом розмірів водозборів.

Рекомендується обчислювати  $(m_1 + 1)/m_1$ , використовуючи багаторічні характеристики руслових гідрографів:  $\bar{Q}_m, \bar{Y}_m, \bar{T}_n$ . Тоді

$$\frac{m_1 + 1}{m_1} = \frac{\bar{Q}_m \bar{T}_n}{\bar{Y}_m F}. \quad (5.10)$$

Обчислені за (5.10) коефіцієнти  $(m_1 + 1)/m_1$  для басейну р. Березини (табл.5.2) в узагальненому вигляді наведені на рис.5.1. Як видно з рис. 5.1, отримана залежність дозволяє досить просто екстраполювати її на вісь ординат, що дає змогу встановити  $(n + 1)/n$  як значення  $\left(\frac{m_1 + 1}{m_1}\right)_{F \rightarrow 0} = \frac{n + 1}{n}$ . Для басейну р. Березини можна прийняти  $(n + 1)/n = 12.0$ , звідки  $n = 0.091$ .

Таблиця 5.2 - Визначення коефіцієнтів часової нерівномірності руслового стоку весняного водопілля в басейні р. Березина

№ п/п	Річка – пост	F, км <sup>2</sup>	$\bar{Q}_m$ , м <sup>3</sup> /с	$\bar{Y}_m$ , мм	$\bar{T}_n$ , діб	$\frac{m_{l+1}}{m_l}$	Lg(F+1)
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	260	56,4	38,8	4,17	3,57
2	Орлянка - с.Хоново	43,0	6,0	54,3	35,1	7,74	1,64
3	Ржавка - с.Черная Вирня	276	27,1	60	41	5,80	2,44
4	Березина - с.Березино Липське	1200	46,5	59,4	60,2	3,39	3,08
5	Березина - м.Борисів	5690	166	91,7	76,3	2,10	3,76
6	Березина - смт Березино	10800	362	77,8	78,7	2,93	4,03
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	712	81,3	79,4	2,96	4,31
8	Березина - м.Світлогорськ	23300	920	92	84,6	3,14	4,37
9	Гайна -с.Гайна	15,7	2,54	51,5	35,8	9,72	1,22
10	Сха - с.Житьково	415	31,1	47,6	30,8	4,19	2,62
11	Пліса - с.Залісся	504	28,8	62,7	41,6	3,28	2,70
12	Бобр - с.Кути	374	28,7	34,2	39,7	7,70	2,57
13	Бобр - с.Клипенка	2150	146	70,3	46,8	3,91	3,33
14	Вяча - с.Паперня	4050	239	58,9	35	3,03	3,61
15	Свіслоч - с.Теребути	142	7,62	42,7	38	4,13	2,16
16	струмок - с.Целянка	38,8	4,07	61,3	49,2	7,27	1,60
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	2,44	87,6	45,5	13,52	0,96
18	Грава - с.Аміновичи	39,3	4	74	40	4,75	1,61
19	Сушанка - м.Суша	153	10,7	70,5	47,5	4,07	2,19
20	Ола - с.Михальово	380	42,8	63	35	5,41	2,58

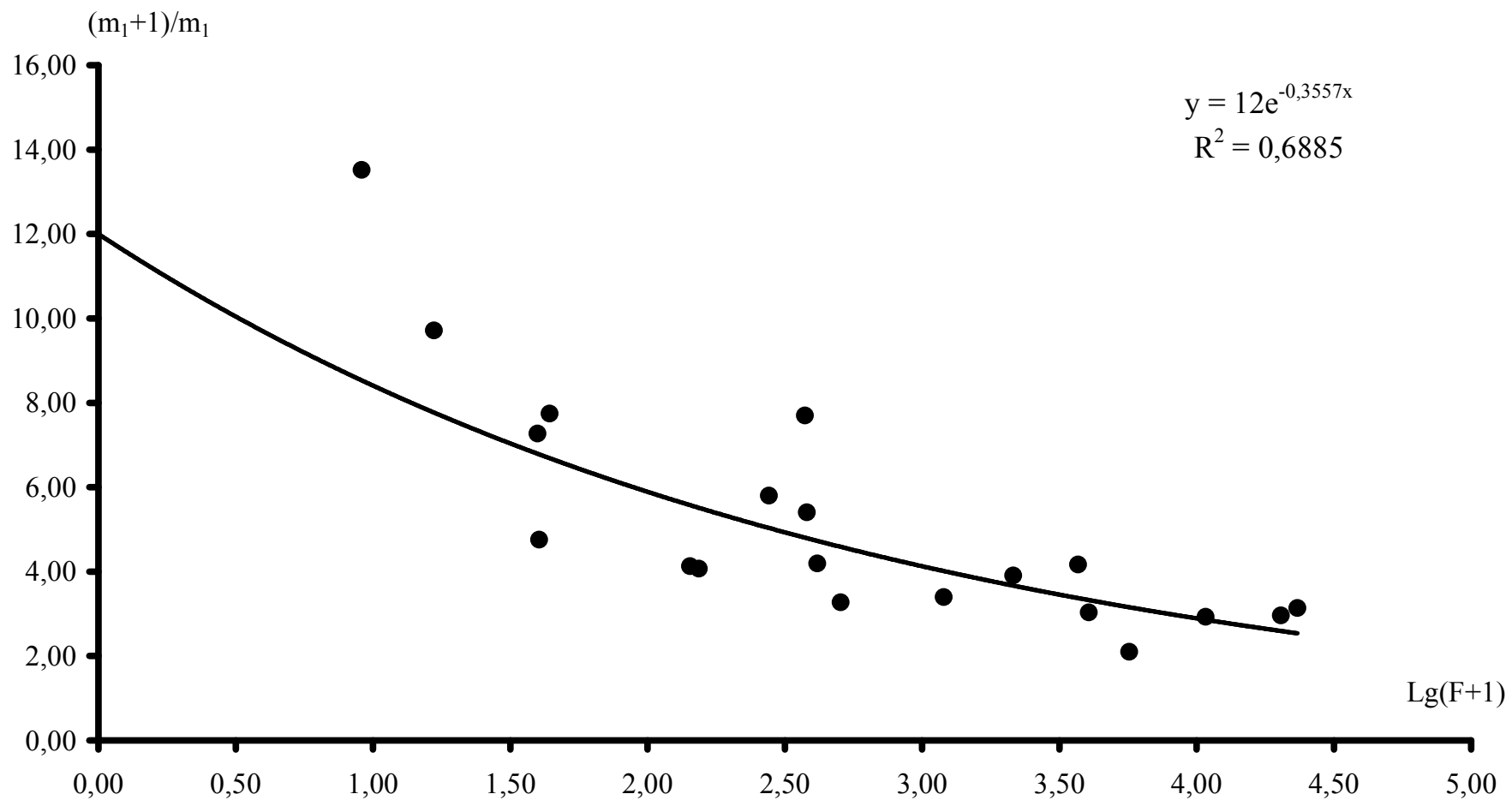


Рисунок 5.1 Залежність коефіцієнтів часової нерівномірності весняного водопілля від площі водозборів в басейні р. Березини



### 5.2.2 Тривалість припливу води зі схилів до руслової мережі

Тривалість припливу води зі схилів до руслової мережі є однією з основних характеристик паводків і водопіль. У двооператорній схемі трансформації стокоутворення у русловий гідрограф тривалість схилового припливу  $T_0$ , за інших рівних умов, визначає ще й ступінь зарегулювання стоку на схилах. Для визначення  $T_0$  на кафедрі гідрології суші запропоновано метод чисельного встановлення тривалості припливу на базі формули проф. Бефані А.М. [2].

Зокрема, в залежності від співвідношення між тривалостями руслового добігання  $t_p$  і схилового припливу  $T_0$ ,

а) при  $t_p < T_0$

$$T_0 = \left( \frac{\varepsilon_F y_m}{n q_m} \right)^{\frac{1}{n+1}} \left[ (n+1) T_0^n - \frac{m+1}{n+m+1} t_p^n \right]^{\frac{1}{n+1}}; \quad (5.11)$$

б) при  $t_p > T_0$

$$T_0 = \left[ \left( \frac{m+n+1}{n+1} - \frac{q_m}{y_m \varepsilon_F} t_p \right) \frac{m(n+m+1)}{n+1} t_p^m \right]^{\frac{1}{m}}. \quad (5.12)$$

При обчисленні  $T_0$  застосовано метод простої однокрокової ітерації. При масових розрахунках нульове наближення в структурі (5.11) починається зверху з числа, яке явно перевищує фізичні межі  $T_0$ , і воно не менше  $t_p$ , наприклад, 2000 годин. Якщо на якомусь кроці ітераційної процедури послідовність  $T_{01}, T_{02}, \dots$  і т.д. стає меншою за  $t_p$ , тривалість припливу обчислюється алгебраїчним шляхом за рівнянням (5.12).

Для басейну р. Березини значення  $T_0$  розраховані з використанням програми «Сагуар» [13], розробленої на кафедрі гідрології суші ОДЕКУ. На першому етапі використані параметри  $m=1.0$ ,  $n=0.091$ , а  $\varepsilon_F$  для всіх постів прийнятий на рівні одиниці.

Результати першого етапу розрахунку  $T_0$  наведені в табл. 5.3

Приймаючи на першому етапі застосування ітераційних процедур  $\varepsilon_F=1,0$ , тим самим відбувається завищення значень  $T_0$ , причому тим у більшій мірі, чим більшою є площа водозборів. Ця теза ілюструється рис. 5.2, а описується залежність рівнянням

$$T_0 = 200 e^{0.53 \lg(F+1)} \quad (5.13)$$

Таблиця 5.3 - Розрахункові величини тривалості схилового припливу  $T_0$  в басейні р. Березина  
(перше наближення)

№ п/п	Річка – пост	F, км <sup>2</sup>	$Y_{1\%}$ , мм	$q_{1\%}$ , м <sup>3</sup> /с·км <sup>2</sup>	$\varepsilon_F$	$t_p$ , ГОД	$T_0$ , ГОД	Lg(F+1)
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	133	0,27	1	91,0	348	3,57
2	Орлянка - с.Хоново	43	170	0,4	1	3,5	641	1,64
3	Ржавка - с.Черная Вирня	276	180	0,38	1	12,4	611	2,44
4	Березина - с.Березино Липське	1200	116	0,12	1	33,7	1169	3,08
5	Березина - м.Борисів	5690	186	0,08	1	100,9	2732	3,76
6	Березина - смт Березино	10800	145	0,07	1	156,3	2140	4,03
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	171	0,06	1	215,3	2946	4,31
8	Березина - м.Світлогорськ	23300	246	0,06	1	262,0	3998	4,37
9	Гайна -с.Гайна	15,7	165	0,59	1	0,42	508	1,22
10	Сха - с.Житьково	415	114	0,2	1	8,06	810	2,62
11	Пліса - с.Залісся	504	183	0,22	1	22,3	1057	2,70
12	Бобр - с.Кути	374	82	0,28	1	14,1	328	2,57
13	Бобр - с.Клипенка	2150	169	0,26	1	47,1	659	3,33
14	Вяча - с.Паперня	4050	103	0,19	1	10,8	727	3,61
15	Свіслоч - с.Теребути	142	162	0,28	1	96,9	442	2,16
16	струмок - с.Целянка	38,8	240	0,41	1	4,43	904	1,60
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	272	1,16	1	1,02	370	0,96
18	Грава - с.Аміновичи	39,3	253	0,54	1	1,01	822	1,61
19	Сушанка - м.Суша	153	197	0,27	1	6,38	1107	2,19
20	Ола - с.Михальово	380	189	0,37	1	18,4	619	2,58

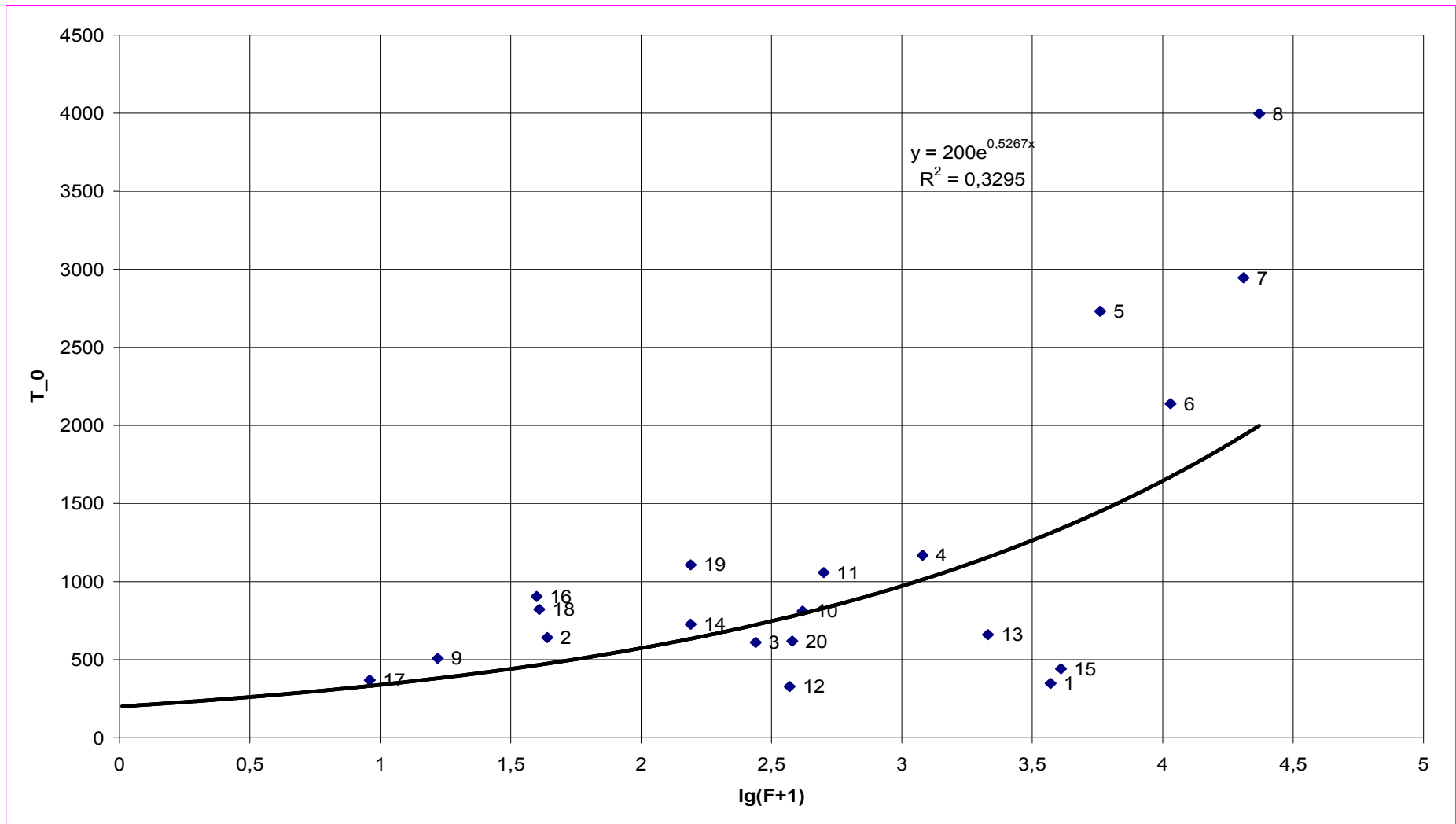


Рисунок 5.2 Залежність тривалості схилового припливу під час весняного водопілля від площі водозборів в басейні р. Березин

Вільний член у рівнянні (5.13), який відповідає умові  $F = 0$  у рівнянні (5.11), дорівнює  $T_0$ . Таким чином,  $T_0 = 200$  год. Її слід вважати середнім для розглядуваного водозбору значенням тривалості схилового припливу води до руслової мережі.

За відомою величиною  $T_0 = 200$  год., виходячи з базової структури розрахункової формули (1.33), можна встановити для кожного водозбору  $\varepsilon_F$ , а саме

$$\varepsilon_F = (q_{1\%} / q'_{1\%}) / \psi(t_p / T_0) \quad (5.14)$$

Параметри правої частини визначаються на основі формул (1.35), (1.18) або (1.32) та вихідних даних по  $q_{1\%}$ . Заносяться  $\varepsilon_F$  до табл. 5.4, з якої видно, що  $\varepsilon_F$  змінюються в досить широких межах – від 0,66 (р. Друть – Чигиринська ГЕС) до 0,14 (р. Березина – м. Світлогорськ).

Узагальнюються величини  $\varepsilon_F$  в залежності від розмірів водозборів (рис. 5.3). І хоча графік характеризується розкидом точок на ньому, при його аналізі необхідно приймати до уваги, що при  $F = 0$ , розрахунковий коефіцієнт  $\varepsilon_F$  теоретично відповідає одиниці. Ось чому при встановленні залежності між  $\varepsilon_F$  і  $F$  необхідно, щоб вона мала убуючий вигляд і проходила через  $\varepsilon_F = 1.0$  при  $F = 0$ . Для басейну р. Березини отримане рівняння

$$\varepsilon_F = e^{-0.40 \lg(F+1)} \quad (5.15)$$

Особисто визначенням  $\varepsilon_F$  і його узагальненням по території закінчується перше наближення чисельного встановлення тривалості схилового припливу  $T_0$ . При другому наближенні у методичному відношенні залишаються усі процедури, що й на першому етапі, тобто  $n = 0.091$ ,  $m = 1.0$ , а  $\varepsilon_F$  обраховується за формулою (5.15). Фінальні величини  $T_0$  наведені у табл. 5.5 і змінюються вони від 403 год. (р. Грава – с. Аміновичі) до 57 год. (р. Друть – Чигиринська ГЕС.)

### 5.2.3 Просторове узагальнення тривалості схилового припливу під час весняного водопілля в басейні р. Березина

Як вже відзначалось раніше, при виникненні потреби здійснити просторове узагальнення тих чи інших розрахункових стокових характеристик гідрологічного режиму річок (зокрема, шарів стоку й тривалості схилового припливу) найчастіше використовується їх картування. Але при цьому необхідно, щоб відповідна ознака не залежала від впливу місцевих факторів (залісеності, заболоченості, закарстованості), а була при цьому підпорядкована географічній закономірності.

Залежність між  $T_0$  і широтою водозборів для річок басейну р. Березини наводиться на рис. 5.4.

Таблиця 5.4 - Визначення коефіцієнтів русло – заплавного регулювання  $\varepsilon_F$  максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Березини

№ п/п	Річка – пост	F, км <sup>2</sup>	Y <sub>1%</sub> , мм	q <sub>1%</sub> , м <sup>3</sup> /с·км <sup>2</sup>	$\varepsilon_F$	Lg(F+1)
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	133	0,27	0,66	3,57
2	Орлянка - с.Хоново	43	170	0,4	0,36	1,64
3	Ржавка - с.Черная Вирня	276	180	0,38	0,39	2,44
4	Березина - с.Березино Липське	1200	116	0,12	0,24	3,08
5	Березина - м.Борисів	5690	186	0,08	0,15	3,76
6	Березина - смт Березино	10800	145	0,07	0,2	4,03
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	171	0,06	0,18	4,31
8	Березина - м.Світлогорськ	23300	246	0,06	0,14	4,37
9	Гайна -с.Гайна	15,7	165	0,59	0,43	1,22
10	Сха - с.Житьково	415	114	0,2	0,3	2,62
11	Пліса - с.Залісся	504	183	0,22	0,25	2,70
12	Бобр - с.Кути	374	82	0,28	0,65	2,57
13	Бобр - с.Клипенка	2150	169	0,26	0,4	3,33
14	Вяча - с.Паперня	4050	103	0,19	0,33	3,61
15	Свіслоч - с.Теребути	142	162	0,28	0,57	2,16
16	струмок - с.Целянка	38,8	240	0,41	0,27	1,60
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	272	1,16	0,55	0,96
18	Грава - сАміновичи	39,3	253	0,54	0,28	1,61
19	Сушанка - м.Суша	153	197	0,27	0,23	2,19
20	Ола - с.Михальово	380	189	0,37	0,4	2,58

$T_0 = 200$  год;  $n = 0.091$ ;  $m = 1.0$

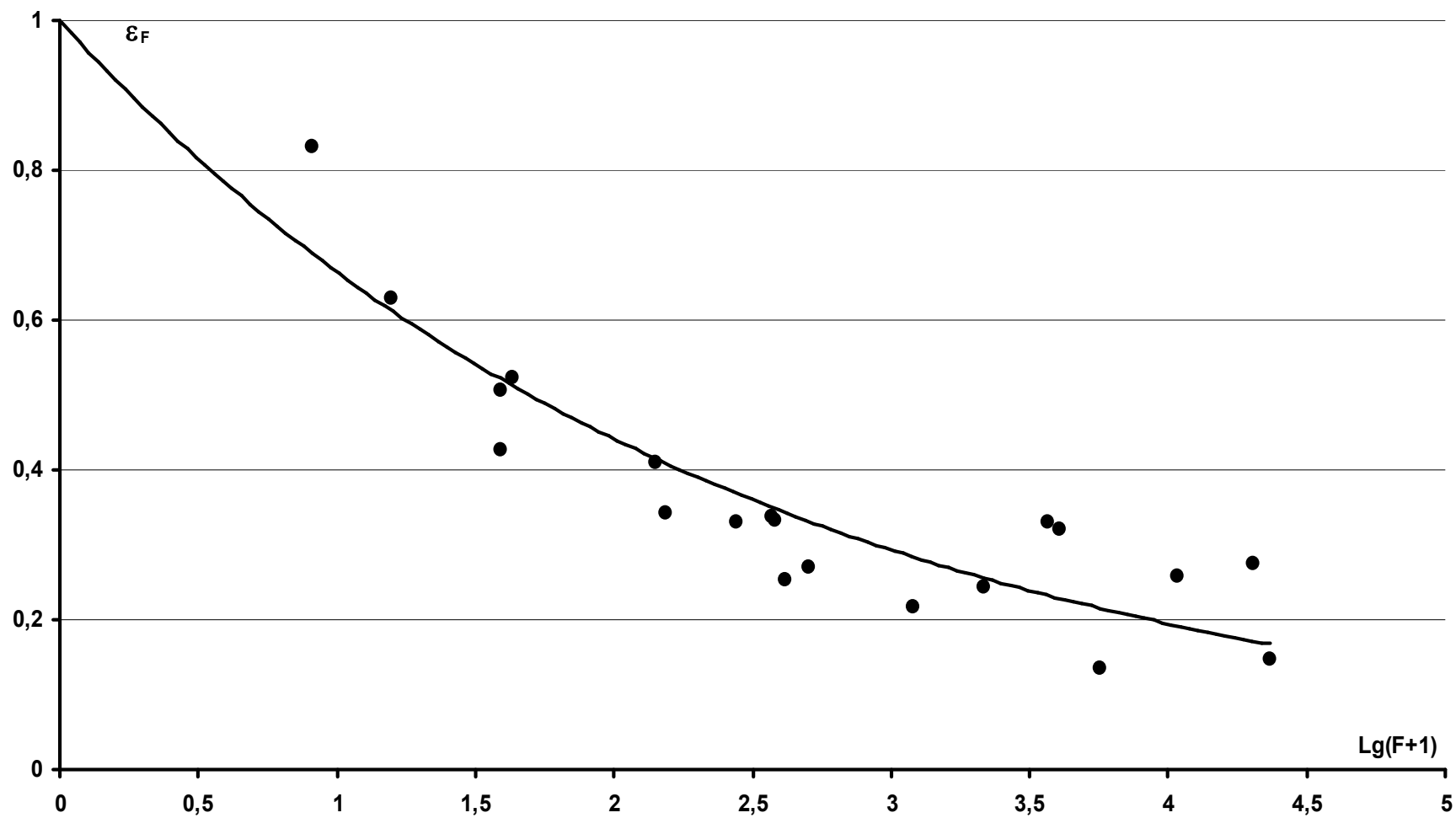


Рисунок 5.3 Залежність коефіцієнтів русло – заплавного регулювання  $\varepsilon_F$  від площі водозборів в басейні р. Березини

Таблиця 5.5 - Розрахункові величини тривалості схилового припливу весняного водопілля  $T_0$  в басейні р. Березина (друге наближення)

№ п/п	Річка – пост	F, км <sup>2</sup>	$Y_{1\%}$ , мм	$q_{1\%}$ , м <sup>3</sup> /с·км <sup>2</sup>	$\varepsilon_F$	$T_0$ , ГОД
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	133	0,27	0,24	57,0
2	Орлянка - с.Хоново	43,0	170	0,4	0,52	259
3	Ржавка - с.Черная Вирня	276	180	0,38	0,38	155
4	Березина - с.Березино Липське	1200	116	0,12	0,30	154
5	Березина - м.Борисів	5690	186	0,08	0,23	238
6	Березина - смт Березино	10800	145	0,07	0,20	98,0
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	171	0,06	0,18	84,0
8	Березина - м.Світлогорськ	23300	246	0,06	0,18	216
9	Гайна -с.Гайна	15,7	165	0,59	0,62	214
10	Сха - с.Житьково	415	114	0,2	0,36	156
11	Пліса - с.Залісся	504	183	0,22	0,34	207
12	Бобр - с.Кути	374	82,0	0,28	0,36	77,0
13	Бобр - с.Клипенка	2150	169	0,26	0,27	84,0
14	Вяча - с.Паперня	4050	103	0,19	0,42	69,0
15	Свіслоч - с.Теребути	142	162	0,28	0,2	160
16	струмок - с.Целянка	38,8	240	0,41	0,53	308
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	272	1,16	0,68	163
18	Грава - сАміновичи	39,3	253	0,54	0,53	403
19	Сушанка - м.Суша	153	197	0,27	0,42	265
20	Ола - с.Михальово	380	189	0,37	0,36	119

Цю залежність можна описати рівнянням

$$T_0 = (T_0)_{\varphi=53.5} + 53.6(\varphi - 53.5) \quad (5.16)$$

де  $(T_0)_{\varphi=53.5}$  - тривалість схилового припливу, приведена до умовної широти  $\varphi = 53.5^\circ$  півн. ш.

З (5.16)

$$(T_0)_{\varphi=53.5} = T_0 - 53.6(\varphi - 53.5) \quad (5.17)$$

Обчислені за допомогою рівняння (5.17) значення  $(T_0)_{\varphi=53.5}$  наводяться у табл. 5.6. На основі цієї таблиці побудовані залежності між  $(T_0)_{\varphi=53.5}$ , з одного боку, й залісеністю і заболоченістю водозборів (рис. 5.5 і 5.6), з іншого. Заболоченість, як видно, майже не впливає на тривалість схилового припливу в період весняного водопілля в басейні р. Березини. Проте має місце збільшення  $(T_0)_{\varphi=53.5}$  від ступеня залісеності території (рис. 5.5).

Описується ця закономірність рівнянням

$$(T_0)_{\varphi=53.5} = (T_0)_{\varphi=53.5, f_l=0} + 1.62 f_l, \quad (5.18)$$

де  $(T_0)_{\varphi=53.5, f_l=0} = 104$

Звідки

$$k_l = 1 + 0,015 f_l, \quad (5.19)$$

де  $k_l$  - коефіцієнт впливу залісеності на зарегульованість схилового стоку;

$f_l$  - відносна залісеність водозборів ( $y\%$ ).

Регулююча спроможність лісистості водозборів пов'язана в основному з тим, що в лісах накопичується за зиму більше снігу, а крім того ґрунти в лісних масивах характеризується підвищеною тимчасовою акумулюючою ємністю.

З урахуванням залежності (5.19) картуванню підлягають величини  $T_0$ , приведені до залісеності  $f_l = 0$ , тобто йдеться про значення

$$(T_0)_{f_l=0} = \frac{T_0}{k_l} \quad (5.20)$$

Вихідні дані по  $(T_0)_{f_l=0}$  наведені у табл. 5.6. Змінюються вони від 40 (р. Друть – Чигиринська ГЕС) до 206 год. (р. Грава – с. Аміновичі).

Враховуючи наведені обставини, відносно узагальнення  $T_0$  можна застосувати картування (рис.5.7). Ізолінії проведені з просторовим кроком 50 год. Змінюються розрахункові величини  $T_0$  від 150 – 200 (південна частина території) до 50 – 100 год. (на більшій частині басейну р. Березина).



Таблиця 5.6 – Вихідні дані для дослідження впливу на тривалість припливу в період весняного водопілля залісеності водозборів (басейн р. Березини)

№ п/п	Річка – пост	F, км <sup>2</sup>	T <sub>0</sub> , год.	φ <sup>0</sup> півн. ш.	(φ <sup>0</sup> -53,5)	(T <sub>o</sub> ) <sub>φ=53,5<sup>0</sup></sub> , год.	f <sub>б</sub> %	f <sub>л</sub> %	K <sub>л</sub>	(T <sub>o</sub> )f <sub>л=0</sub> год.
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	57	54,0	0,5	30	4	29	1,44	40,0
2	Орлянка - с.Хоново	43	259	53,8	0,3	243	12	12	1,18	219
3	Ржавка - с.Черная Вирня	276	155	52,8	-0,7	193	17	10	1,15	135
4	Березина - с.Березино Липське	1200	154	54,7	1,2	90	10	54	1,81	85,0
5	Березина - м.Борисів	5690	238	54,5	1	184	7	59	1,89	126
6	Березина - смт Березино	10800	98	54,2	0,7	60	7	54	1,81	54,0
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	84	54,0	0,5	57	7	54	1,81	46,0
8	Березина - м.Світлогорськ	23300	216	53,4	-0,1	221	7	52	1,78	121
9	Гайна -с.Гайна	15,7	214	54,3	0,8	171	0	39	1,59	135
10	Сха - с.Житьково	415	156	54,4	0,9	108	1	36	1,54	101
11	Пліса - с.Залісся	504	207	54,0	0,5	180	7	28	1,42	146
12	Бобр - с.Кути	374	77	54,5	1	23	2	48	1,72	45,0
13	Бобр - с.Клипенка	2150	84	54,3	0,8	41	5	50	1,75	48,0
14	Вяча - с.Паперня	4050	69	54,2	0,7	31	9	35	1,53	45,0
15	Свіслоч - с.Теребути	142	160	54,1	0,6	128	2	43	1,65	97,0
16	струмок - с.Целянка	38,8	308	53,3	-0,2	319	0	74	2,11	146
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	163	53,3	-0,2	174	0	24	1,36	120
18	Грава – с. Аміновичи	39,3	403	53,5	0	403	0	64	1,96	206
19	Сушанка - м.Суша	153	265	53,6	0,1	260	5	87	2,31	115
20	Ола - с.Михальово	380	119	53,0	-0,5	146	8	11	1,17	102

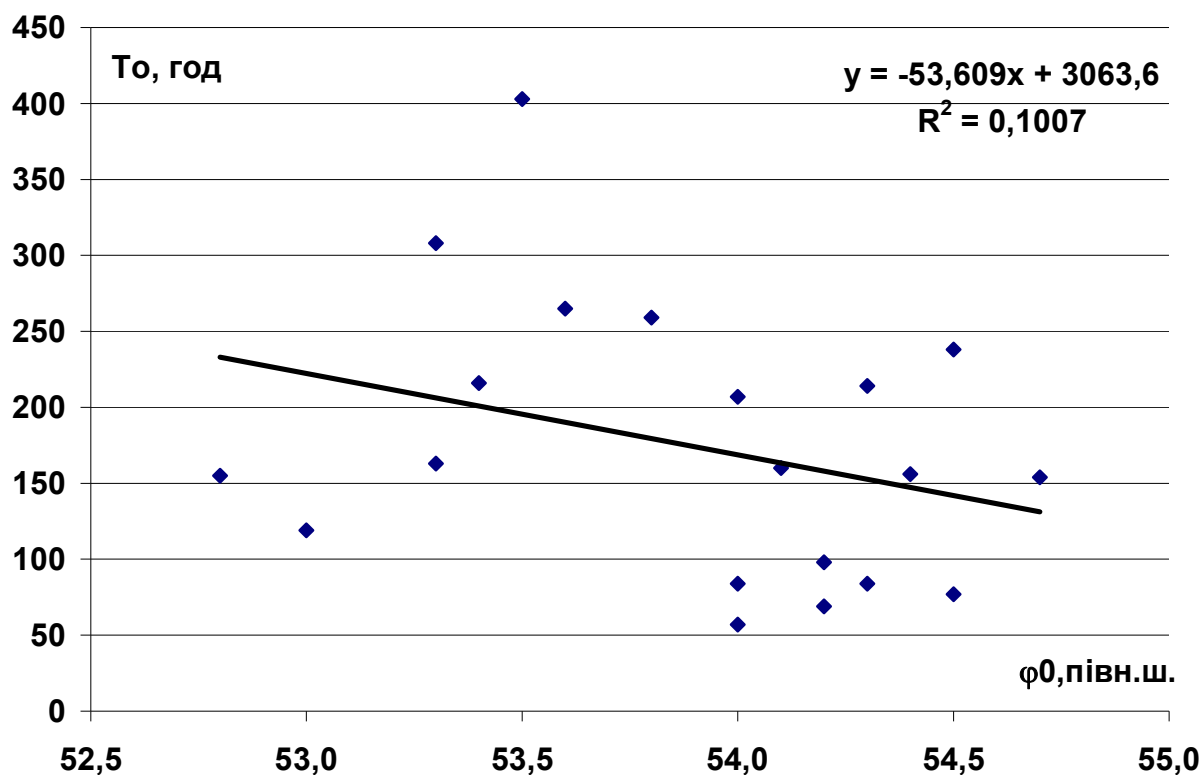


Рисунок 5.4 – Залежність тривалості припливу від широти центрів водозборів в басейні р. Березина

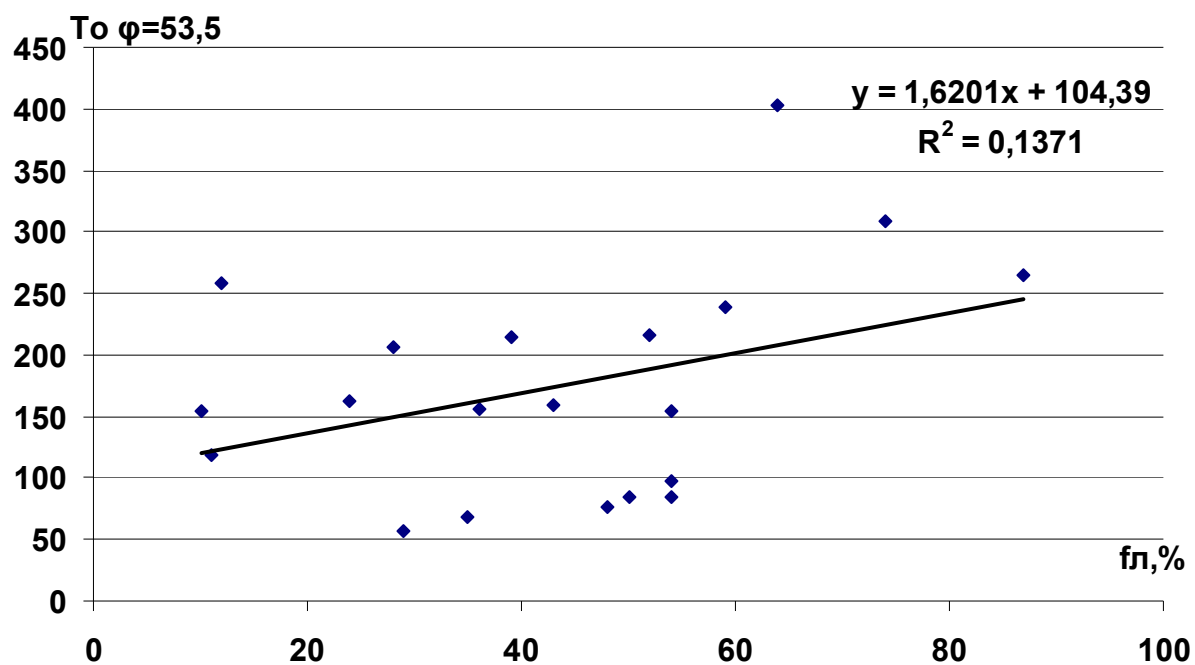


Рисунок 5.5 – Залежність тривалості схилового припливу від залісеності водозборів в басейні р. Березина

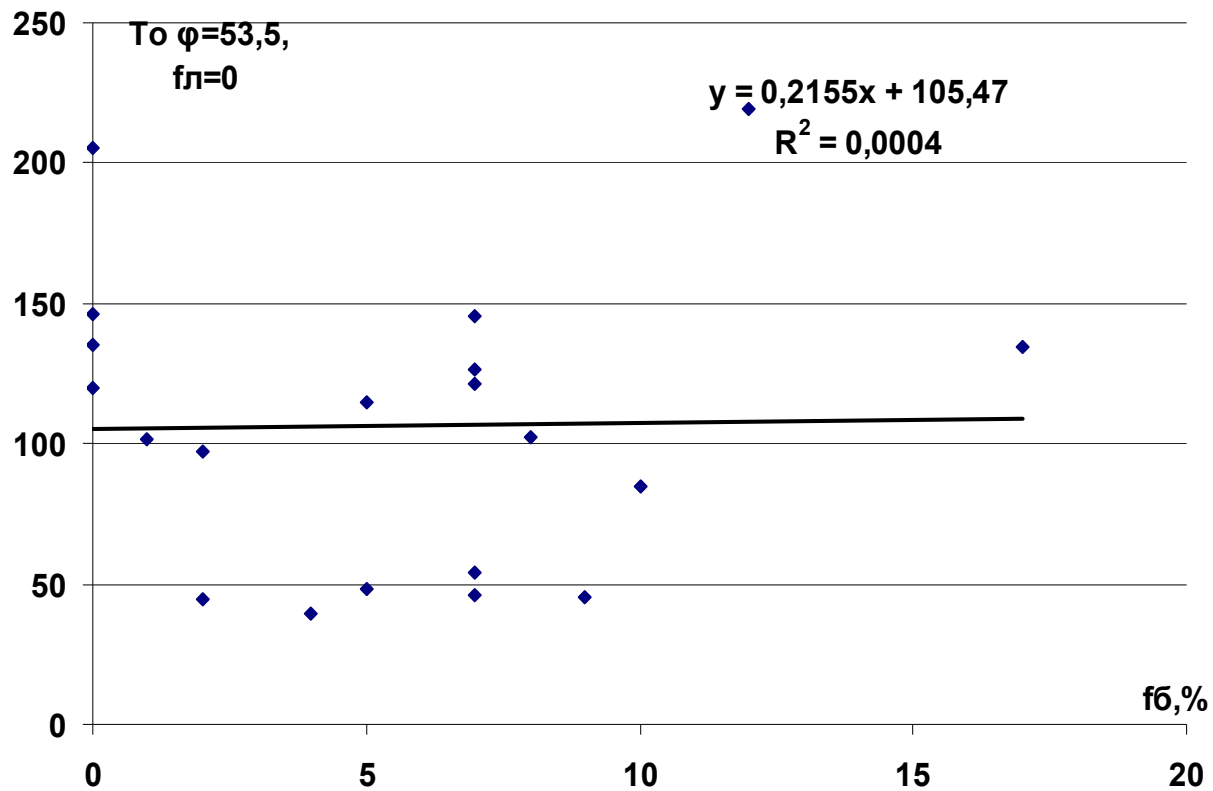


Рисунок 5.6 – Залежність тривалості схилового припливу від заболоченості водозборів в басейні р. Березина

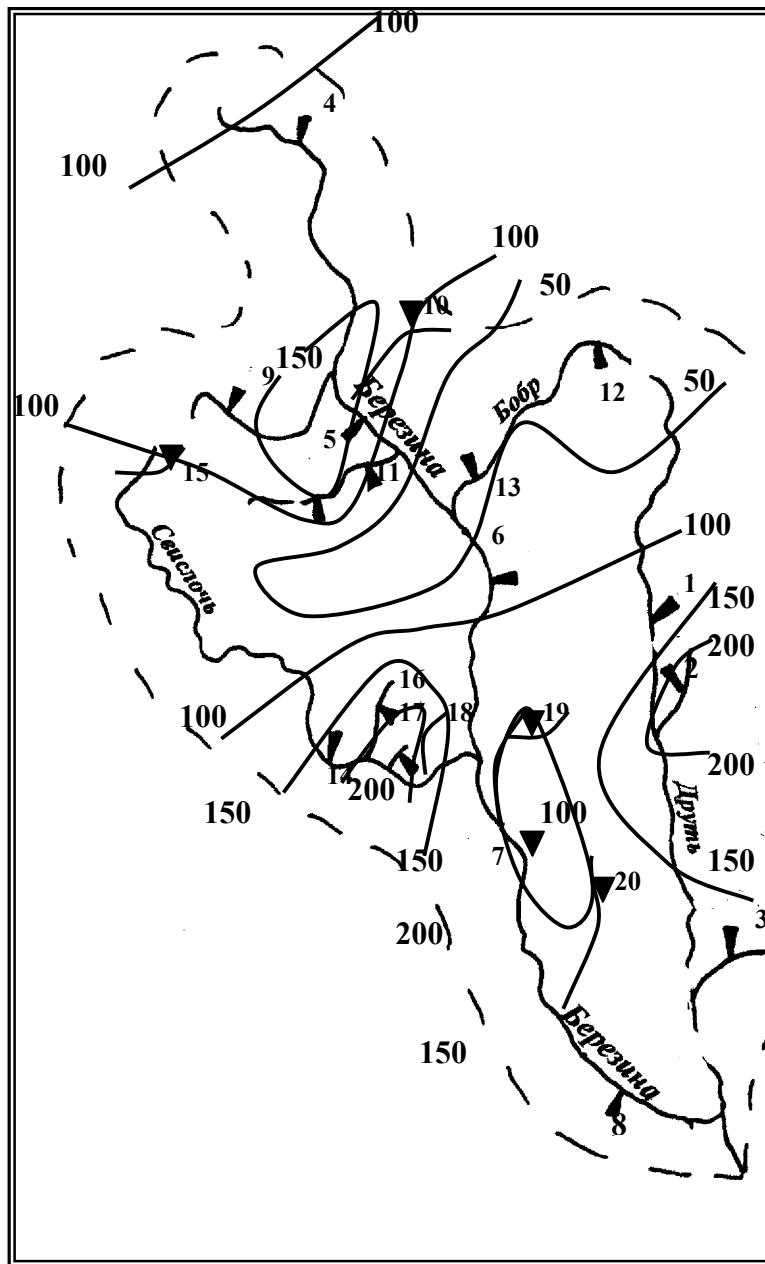


Рисунок 5.7 – Карта-схема розподілу тривалості припливу води зі схилів в період весняного водопілля в басейні р. Березина (год.), приведеної до  $f_n = 0$

### 5.3 Трансформаційна функція $\psi(t_p/T_0)$

Одним з видів трансформації є розпластування повневих хвиль під впливом часу руслового добігання  $t_p$ . Кількісно міра трансформації максимальних модулів під впливом часу руслового добігання визначається за допомогою функції  $\psi(t_p/T_0)$ , причому:

а) при  $t_p < T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = 1 - \frac{m+1}{(m+n+1)(n+1)} \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^n; \quad (5.21)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = \frac{n}{n+1} \frac{T_0}{t_p} \left[ \frac{m+1}{m} - \frac{n+1}{m(m+n+1)} \left(\frac{T_0}{t_p}\right)^m \right]. \quad (5.22)$$

Коефіцієнти нерівномірності схилового припливу у часі визначалися через коефіцієнти нерівномірності руслового стоку (див. п. 5.2.1).

Загалом для басейну р.Березина коефіцієнт часової нерівномірності припливу води зі схилів до руслової мережі  $(n+1)/n$  в період водопілля дорівнює 12.0, а  $n = 0.091$ . З урахуванням цих даних і, приймаючи  $m = 1.0$ , запишемо рівняння для трансформаційної функції  $\psi(t_p/T_0)$  в редакції:

а) при  $t_p < T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = 1 - 0,87 \left(\frac{t_p}{T_0}\right)^{0,091}; \quad (5.23)$$

б) при  $t_p \geq T_0$

$$\psi(t_p/T_0) = 0,83 \frac{T_0}{t_p} \left( 2,0 - 0,52 \frac{T_0}{t_p} \right). \quad (5.24)$$

Розраховані за формулами (5.23) і (5.24) значення трансформаційної функції  $\psi(t_p/T_0)$  наведені у табл. 5.7. Зауважимо, що тривалість припливу  $T_0$  знімалась з карти (рис. 5.7)

### 5.4 Максимальний модуль схилового припливу $q'_{1\%}$

Максимальний модуль схилового припливу  $q'_{1\%}$  є однією з головних складових розрахункової формули (1.33). Визначити його можна за

Таблиця 5.7 – Розрахункові величини трансформаційної функції  $\psi(t_p/T_0)$  весняного водопілля в басейні

р. Березини ( $m = 1.0; n = 0.091$ )

№ п/п	Річка – пост	$F$ , км <sup>2</sup>	$L$ , км	$I_{зв}$ , ‰	$V_{\partial}$ , км/ГОД	$t_p$ , ГОД	$T_0$ , ГОД	$t_p/T_0$	$\psi(t_p/T_0)$
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	217	0,27	2,38	91,0	50	1,82	0,104
2	Орлянка - с.Хоново	43	8	1,2	2,28	3,5	200	0,018	0,404
3	Ржавка - с.Черная Вирня	276	30	0,73	2,42	12,4	125	0,099	0,302
4	Березина - с.Березино Липське	1200	59	0,16	1,75	33,7	100	0,34	0,252
5	Березина - м.Борисів	5690	204	0,14	2,02	100,9	125	0,81	0,214
6	Березина - смт Березино	10800	315	0,11	2,02	156,3	50	3,13	0,086
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	438	0,09	2,03	215,3	50	4,31	0,062
8	Березина - м.Світлогорськ	23300	542	0,09	2,07	262	125	2,10	0,110
9	Гайна -с.Гайна	15,7	2	16,4	4,8	0,42	130	0,0032	0,502
10	Сха - с.Житьково	415	56	15,3	6,95	8,06	100	0,081	0,333
11	Пліса - с.Залісся	504	55	0,62	2,47	22,3	150	0,15	0,290
12	Бобр - с.Кути	374	35	0,7	2,48	14,1	50	0,28	0,261
13	Бобр - с.Клипенка	2150	109	0,3	2,31	47,1	50	0,94	0,177
14	Вяча - с.Паперня	4050	31	1,5	2,86	10,8	50	0,22	0,104
15	Свіслоч - с.Теребути	142	239	0,29	2,47	96,9	100	0,97	0,318
16	струмок - с.Целянка	38,8	11	1,6	2,48	4,43	150	0,030	0,436
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	3,1	5,3	3,05	1,02	150	0,0070	0,486
18	Грава - с.Аміновичи	39,3	2	0,8	1,98	1,01	200	0,0051	0,516
19	Ола - с.Михальово	153	14,9	0,81	2,34	6,38	100	0,064	0,370
20	Сушанка - м.Суша	380	37	0,37	2,01	18,4	100	0,18	0,263

наявності значень коефіцієнтів нерівномірності схилового припливу  $\frac{n+1}{n}$ , тривалості схилового припливу  $T_0$  і шарів стоку  $Y_{1\%}$  за формулою

$$q'_{1\%} = 0.28 \frac{n+1}{n} \frac{1}{T_0} Y_{1\%}, \quad (5.25)$$

де  $q'_{1\%}$  - максимальний модуль схилового припливу 1% - вої ймовірності перевищення ( $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{км}^2$ );

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

русової мережі (для річок басейну р. Березини  $\frac{n+1}{n}=12.0$ );

$T_0$  - тривалість схилового припливу (год.);

$Y_{1\%}$  - шар стоку за водопілля 1% - вої забезпеченості (мм);

0.28 - коефіцієнт розмірності.

Для розглянутої території значення  $q'_m$  розраховані та наведені в табл. 5.8.

При цьому  $T_0$  і  $Y_{1\%}$  знімалися з відповідних карт по геометричних центрах кожного з водозборів. Крім того, в знятті з карти  $T_0$  введені поправки  $k_l$  на залісеність водозборів, які розраховується за формулою (5.19), тобто

$$T_0 = (T_0)_{\text{карт}} \cdot k_l \quad (5.26)$$

Як видно з табл. 5.8, розрахункові модулі схилового припливу  $q'_{1\%}$  в басейні р. Березини досягають досить великих значень – від 1.86 (р. Березина – с. Березино, Липське і струмок – с. Целянка) до 7,49  $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{км}^2$  (р. Друть – Чигиринська ГЕС). У подальшому величини  $q'_{1\%}$ , що наведені у табл. 5.8, використовуються при розрахунках  $q_{1\%}$  річок.

### 5.5 Коефіцієнт русло – заплавного регулювання $\varepsilon_F$

В п. 5.2.2 відзначалося, що спостереження за русло – заплавним регулюванням максимального стоку на гідрологічній мережі станцій і постів не проводиться, а тому коефіцієнт  $\varepsilon_F$  визначався наприкінці першого етапу чисельного вирішення задачі відносно розрахункової тривалості схилового припливу  $T_0$  [3]. Для річок басейну р. Березини  $\varepsilon_F$  описується рівнянням (5.15), а саме

$$\varepsilon_F = e^{-0.40 \lg(F+1)}. \quad (5.27)$$

Графічну залежність  $\varepsilon_F = f[\lg(F+1)]$ , яка представлена рівнянням (5.27) можна оформити у табличному вигляді (табл. 5.9)

Таблиця 5.8 – Максимальні модулі схилового припливу в період весняного водопілля забезпеченістю  $P = 1\%$

(басейн р. Березина) при  $\frac{n+1}{n} = 12.0$

№ п/п	Річка – пост	$F, \text{км}^2$	$Y_{1\%}$ мм, карта	$T_0$ карта ГОД	$f_l, \%$	$k_l$	$T_0$ розр ГОД	$q'_{1\%}, \text{м}^3/\text{с} \cdot \text{км}^2$
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	160	50,0	29	1,44	72,0	7,49
2	Орлянка - с.Хоново	43	150	200	12	1,18	236	2,14
3	Ржавка - с.Черная Вирня	276	150	125	10	1,15	144	3,51
4	Березина - с.Березино Липське	1200	100	100	54	1,81	181	1,86
5	Березина - м.Борисів	5690	150	125	59	1,89	236	2,14
6	Березина - смт Березино	10800	120	50,0	54	1,81	91,0	4,46
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	150	50,0	54	1,81	91,0	5,57
8	Березина - м.Світлогорськ	23300	210	125	52	1,78	223	3,17
9	Гайна -с.Гайна	15,7	125	130	39	1,59	206	2,04
10	Сха - с.Житьково	415	100	100	36	1,54	154	2,18
11	Пліса - с.Залісся	504	150	150	28	1,42	213	2,37
12	Бобр - с.Кути	374	100	50,0	48	1,72	86,0	3,91
13	Бобр - с.Клипенка	2150	150	50,0	50	1,75	88,0	5,76
14	Вяча - с.Паперня	4050	100	50,0	35	1,53	76,0	4,41
15	Свіслоч - с.Теребути	142	125	100	43	1,65	165	2,55
16	струмок - с.Целянка	38,8	175	150	74	2,11	317	1,86
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	200	150	24	1,36	204	3,29
18	Грава - с.Аміновичи	39,3	250	200	64	1,96	392	2,14
19	Ола - с.Михальово	153	150	100	87	2,31	231	2,19
20	Сушанка - м.Суша	380	150	100	11	1,17	117	4,33



Таблиця 5.9 – Коефіцієнти русло – заплавного регулювання максимального стоку весняного водопілля в басейні р. Березини

$F, \text{км}^2$	0	10	100	500	1000	2000	5000	10000
$\varepsilon_F$	1.0	0.68	0.45	0.35	0.30	0.26	0.22	0.20

## 5.6 Перевірочні розрахунки

Формула для розрахунку максимального стоку весняного водопілля в басейні Березини має вигляд:

$$q_{p\%} = q'_{1\%} \psi(t_p / T_0) \varepsilon_F \lambda_P, \text{ м}^3/\text{с}\cdot\text{км}^2, \quad (5.28)$$

Для того, щоб встановити модуль стоку  $q_p$ , необхідно мати такий мінімум вихідних даних: площу водозбору  $F$  ( $\text{км}^2$ ), довжину річки  $L$  (км), середньозважений уклон річки  $I$  ( $\text{‰}$ ), залісеність водозбору  $f_d$  ( $\text{‰}$ )

Порядок розрахунку:

1. Для розрахунку  $q'_{1\%}$  ( $\text{м}^3/\text{с}\cdot\text{км}^2$ ) параметри визначаються у такій послідовності:

1.1. Коефіцієнт нерівномірності схилового припливу  $(n+1)/n$ , узагальнений по території, дорівнює 12.0.

1.2. Розрахунковий шар стоку весняного водопілля  $Y_{1\%}$  визначається за картою (рис.4.2) для геометричних центрів водозборів (мм).

1.3. Тривалість припливу води зі схилів до руслової мережі  $T_0$  визначається за картою (рис.5.7) для геометричних центрів водозборів (год.). Вплив лісу на  $T_0$  враховується за допомогою коефіцієнта  $k_d$ , який обчислюється за допомогою формули (5.15)

2. Трансформаційна функція  $\psi(t_p / T_0)$  розраховується в залежності від співвідношення між  $t_p$  та  $T_0$ , (при  $n=0,091$  та  $m=1,0$ ):

при  $t_p < T_0$  – за рівнянням (5.23);

при  $t_p \geq T_0$  – за рівнянням (5.24).

2.1. Тривалість руслового добігання  $t_p$  (год) встановлюється за гідрографічною довжиною  $L$  (км) і швидкістю добігання  $V_d$  (км/год) за формулою (5.6) з урахуванням  $\alpha_2$  та  $\alpha_2$ , які наведені у табл.5.1.

3. Коефіцієнт русло-заплавного регулювання  $\varepsilon_F$  встановлюється за допомогою рівняння (5.27) або табл. 5.9.

Результати перевірочних розрахунків для 20 постів в басейні р. Березини наведені у табл. 5.10.

Таблиця 5.10 - Перевірочні розрахунки

№ п/п	Річка – пост	$F$ , км <sup>2</sup>	$Y_{1\%}$ мм, карта	$f_{л}$ , %	$kl$	$T_0$ карта ГОД	$T_0$ розр ГОД	$Q'_m$ м <sup>3</sup> /с км <sup>2</sup>	$\psi(t_p / T_0)$	$\varepsilon_F$	$Q_{1\%}$ розр м <sup>3</sup> /с км <sup>2</sup>	$Q_{1\%}$ факт м <sup>3</sup> /с км <sup>2</sup>	$\Delta\%$
1	Друть - Чигиринська ГЕС	3700	160	29	1,44	50,0	72	7,49	0,104	0,23	0,18	0,27	34,4
2	Орлянка - с.Хоново	43	150	12	1,18	200	236	2,14	0,404	0,51	0,44	0,40	9,1
3	Ржавка - с.Черная Вирня	276	150	10	1,15	125	144	3,51	0,302	0,37	0,39	0,38	3,5
4	Березина - с.Березино Липське	1200	100	54	1,81	100	181	1,86	0,252	0,28	0,13	0,12	11,8
5	Березина - м.Борисів	5690	150	59	1,89	125	236	2,14	0,214	0,22	0,10	0,08	31,3
6	Березина - смт Березино	10800	120	54	1,81	50,0	91,0	4,46	0,086	0,19	0,07	0,07	5,9
7	Березина - м.Бобруйськ	20300	150	54	1,81	50,0	91,0	5,57	0,062	0,17	0,06	0,06*	1,7
8	Березина - м.Світлогорськ	23300	210	52	1,78	125	223	3,17	0,110	0,17	0,06	0,06*	9,1
9	Гайна -с.Гайна	15,7	125	39	1,59	130	206	2,04	0,502	0,61	0,63	0,59	7,6
10	Сха - с.Житьково	415	100	36	1,54	100	154	2,18	0,333	0,34	0,25	0,20	25,0
11	Пліса - с.Залісся	504	150	28	1,42	150	213	2,37	0,290	0,33	0,23	0,22	2,9
12	Бобр - с.Кути	374	100	48	1,72	50,0	86,0	3,91	0,261	0,35	0,36	0,28	28,2
13	Бобр - с.Клипенка	2150	150	50	1,75	50,0	88,0	5,76	0,177	0,26	0,26	0,26	1,1
14	Вяча - с.Паперня	4050	100	35	1,53	50,0	76,0	4,41	0,104	0,23	0,10	0,19	46,8
15	Свіслоч - с.Теребути	142	125	43	1,65	100	165	2,55	0,318	0,41	0,34	0,28	21,0
16	струмок - с.Целянка	38,8	175	74	2,11	150	317	1,86	0,436	0,52	0,42	0,41	2,9
17	струмок - с.Троїцьке	8,1	200	24	1,36	150	204	3,29	0,486	0,69	1,10	1,16	5,4
18	Грава - с.Аміновичи	39,3	250	64	1,96	200	392	2,14	0,516	0,52	0,58	0,54	7,0
19	Ола - с.Михальово	153	150	87	2,31	100	231	2,19	0,370	0,41	0,33	0,27	20,2
20	Сушанка - м.Суша	380	150	11	1,17	100	117	4,33	0,263	0,35	0,40	0,37	9,4

Середнє значення  $\pm 14,2\%$ Примітка: \* значення уточнені за кривою  $q_{1\%}=f(F)$

Точність розрахунків може бути визначена за виразом як:

$$\Delta = \frac{|(q_{1\%})_p - (q_{1\%})_ф|}{(q_{1\%})_ф} \cdot 100\%, \quad (5.29)$$

де  $(q_{1\%})_ф$  – вихідні значення  $q_{1\%}$ ;  $(q_{1\%})_p$  – розрахункові модулі за методикою.

Середнє відхилення розрахункових значень  $(q_{1\%})_p$  від вихідних модулів  $(q_{1\%})_ф$  по басейну Березини дорівнює  $\pm 14,2\%$ , що при точності вихідної інформації  $\sigma_{Q_{1\%}} = 20,3\%$  є задовільним результатом.

Щоб перейти від опорної забезпеченості  $P = 1\%$  до іншої, необхідно розрахований модуль  $q_{1\%}$  домножити на коефіцієнт  $\lambda_p$ , який надається у табличному вигляді (табл. 5.11)

Таблиця 5.11 - Перехідні коефіцієнти

$P\%$	1,0	3,0	5,0	10,0
$\lambda_p$	1,0	0,78	0,67	0,54

Таким чином

$$q_{p\%} = q_{1\%} \lambda_p \quad (5.30)$$

### Запитання для самоперевірки знань і вмінь

#### До теоретичної частини

1. Що відноситься до розрахункових характеристик максимального стоку дощових паводків і водопіль?
2. Що таке руслові ізохрони і чим вони відрізняються від еквідистант?
3. Фізичний зміст функцій розпластування і русло – заплавного регулювання.
4. Які складові входять у модуль схилового припливу?
5. Яким чином залісеність і заболоченість можуть впливати на шари стоку і тривалість схилового припливу?
6. Методичні підходи до просторового узагальнення шарів стоку і тривалості схилового припливу.
7. Яким чином визначаються коефіцієнти часової нерівномірності схилового припливу?

8. Від чого залежить точність обчислення статистичних параметрів стокових рядів?
9. Граничні значення коефіцієнтів русло – заплавного регулювання водопіль.
10. Вимоги нормативного документу СНіП 2.01.14-83 щодо точності визначення розрахункових витрат води весняного водопілля.

### **До практичної частини**

1. Яким чином розраховуються статистичні параметри в методі моментів?
2. Як розрахувати витрати води різної ймовірності перевищення?
3. Як розрахувати допоміжні статистики  $\lambda_2$  і  $\lambda_3$  ?
4. яким чином на карту наносяться шари стоку  $Y_{1\%}$ ?
5. Як здійснити просторове узагальнення коефіцієнтів часової нерівномірності руслового стоку?
6. Яким чином можна перейти від опорної забезпеченості до інших?
7. Як розраховуються модулі схилового припливу?

## Література

1. Алексеев А.Г. Методы оценки случайных погрешностей гидрологической информации.- Л.: Гидрометеиздат, 1975, 95 с.
2. Бефани А.Н., Бефани Н.Ф., Гопченко Е.Д. Региональные модели формирования паводочного стока на территории СССР: Обзорная информация. Сер. Гидрология суши. – Обнинск: ВНИИГИ, МЦД, 1981. – вып.2, 60 с.
3. Гопченко Е.Д., Джабур Кхалдун, Романчук М.Е. О роли руслового добега в трансформации максимальных расходов воды паводков и половодий // Метеорологія, кліматологія та гідрологія, вип.41, Одеса, 2000.- с. 29-38.
4. Гопченко Е.Д. О редуционных формулах максимального стока // Тр.УкрНИГМИ. 1980. – вып.175. – С.55-57.
5. Гопченко Е.Д. Анализ структуры объемных формул // Метеорологія, кліматологія и гидрологія. – 1976. – вып.12. – с.84-90.
6. Гопченко Е.Д., Гнездилов Ю.А. Графоаналитический метод определения параметров гидрографов склонового стока (по материалам полевого обследования ГВВ)// Тр.УкрНИГМИ. – 1974.- вып.127.- С.54-61.
7. Гопченко Е.Д., Овчарук В.А. Формирование максимального стока весеннего половодья в условиях юга Украины. – Одесса “ТЭС” 2002. - 110с.
8. Крицкий С.Н., Менкель М.Ф. Гидрологические основы управления речным стоком.- М.: Наука, 1981. – 285 с.
9. Гопченко Е.Д., Гушля А.В. Гидрология с основами мелиорации. – Л.: Гидрометеиздат, 1989.- 303 с.
10. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. –Л.: Гидрометеиздат, 1984. – 447 с.
11. Ресурсы поверхностных вод СССР. – т.5. – вып.1. – Л.: Гидрометеиздат, 1974. – 657 с.
12. Соколовский Д.Л. Речной сток. - Л.: Гидрометеиздат, 1968. – 538с.
13. Расчет продолжительности склонового притока. Программа «Caguar», 20 с.

МЕТОДИЧНІ ВКАЗІВКИ ДО ПРАКТИЧНИХ ЗАНЯТЬ  
З КУРСУ “ГІДРОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ”

Укладачі: д.г.н, проф. Гопченко Є.Д.  
к.г.н., доц. Овчарук В.А.  
к.г.н., доц. Бурлуцька М.Е.

Підп. до друку  
Умовн. друк. арк.

Формат  
Тираж

Папір  
Зам. №

Надруковано з готового оригінал-макета

---

Одеський державний екологічний університет  
65016, Одеса, вул.Львівська, 15