

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ  
ОДЕСЬКИЙ ДЕРЖАВНИЙ ЕКОЛОГІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**

**ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК  
”МІНІМАЛЬНИЙ СТІК”  
до самостійної роботи  
з дисципліни „Гідрологічні розрахунки”  
для студентів ІV курсу гідрологічного факультету  
Напрямок підготовки – гідрометеорологія  
Спеціальність „Гідрологія і гідрохімія”**

**„Затверджено”  
на засіданні методичної ради університету  
протокол № 6 від 30 травня 2002 р.**

**Одеса – 2002**

Збірник методичних вказівок „Мінімальний стік” до самостійної роботи студентів IV курсу гідрологічного факультету денної форми навчання за спеціальністю „Гідрологія і гідрохімія”\Укладачі: Овчарук В.А. – Одеса, ОДЕКУ , 2002 р., с33, укр..мова

## ЗАГАЛЬНІ ПОЛОЖЕННЯ

Мінімальний стік спостерігається на річках, головним чином тоді, коли основним джерелом їх живлення є ґрунтові води. Періоди низького стоку на річках пов'язані із зимовою або літньо-осінньою межею. Виключення складають річки Криму, Карпат і деяких інших районів, де в зимовий сезон межень може бути відсутня.

Характеристики мінімального стоку мають важливе практичне значення оскільки вони лімітують не тільки розмір проєктованих підприємств чи населених пунктів, але й саму можливість їхнього розташування в даному місці. Питання безперебійного водопостачання постають усе більш актуальними в зв'язку з розвитком промисловості і ростом міст, що зумовлює різке збільшення водоспоживання при незмінних водних ресурсах даного району.

Велику кількість води споживає важка промисловість і теплоелектростанції, для яких не допускається перерва чи тривале зниження подачі води, тому мінімальна витрата води - визначальна при встановленні необхідності регулювання стоку.

Розрахунки мінімального стоку, особливо для невивчених водотоків, складають відповідальну частину всього гідрологічного розрахунку при проєктуванні. У той же час вихідні дані по мінімальному стоку внаслідок різних факторів, що спотворюють природний режим, характеризуються, як правило, невисокою точністю.

Основними розрахунковими характеристиками мінімального стоку, які використовуються на практиці, є середні місячні (чи 30-денні), і середні добові витрати води зимової і літньої межень.

Розрахункова щорічна ймовірність перевищення мінімальної 30-денної (або середньомісячної) витрати води при проєктуванні зрошування –85%, гідростанцій –90%, для господарсько-питних потреб у зоні надмірного зволоження –95%, а в зоні недостатнього зволоження – 97%.

Опорною, у відповідності з СНіП 2.01.14-83, прийнята забезпеченість  $P=80\%$ .

## Завдання 1

### ОБЧИСЛЕННЯ НОРМИ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ ПРИ ТРИВАЛИХ РЯДАХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

Норма мінімального стоку (зимового або літнього) визначається як середньобогаторічне значення із середньомісячних величин мінімального стоку

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i}{N}, \quad (1.1)$$

де  $Q_i$  – середньомісячні величини мінімального стоку;  $N$  – кількість років спостережень.

Внаслідок недостатньої тривалості фактичних рядів спостережень норма мінімального стоку, яка розрахована за формулою (1.1), буде відрізнятися від істинного середнього значення при  $N \rightarrow \infty$  на деяку величину  $\sigma_n$ .

Відповідно до вимог нормативного документу СНіП 2.01.14-83 тривалість періоду спостережень вважається достатньою, якщо він репрезентативний, а відносна середня квадратична похибка не має бути понад  $\pm 15\%$ .

Середня квадратична похибка середнього  $\sigma_{\bar{Q}}$  визначається за формулами :

а) при відсутності внутрішньорядного зв'язку

$$\sigma_{\bar{Q}} = \pm 100 C_v / \sqrt{n}, \% \quad (1.2)$$

де  $C_v$  – коефіцієнт варіації,  $n$  – кількість років спостережень, прийнятих для визначення норми мінімального стоку.

б) при наявності внутрішньорядного зв'язку

$$\sigma_{\bar{Q}} = \pm 100 C_v \sqrt{(1 + r_1) / (1 - r_1)} / \sqrt{n}, \% \quad (1.3)$$

де  $r_1$  – коефіцієнт автокореляції, який дорівнює

$$r_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - \bar{Q})(Q_{i+1} - \bar{Q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^{n-1} (Q_{i+1} - \bar{Q})^2}}, \quad (1.4)$$

де  $Q_{i+1}, Q_i$  - відповідно, наступне та попереднє значення вихідного ряду.

При тривалому періоді спостережень розрахунок здійснюється безпосередньо за даними спостережень, при цьому в розрахунках використовується репрезентативний період із цього ряду або весь ряд, коли його тривалість становить 50-60 років та більше.

При цьому дуже важливо врахувати самі маловодні роки чи їхні угруповання, використовуючи басейни-аналоги. Коефіцієнт мінливості мінімального стоку непересихаючих і неперемерзаючих річок найчастіше знаходиться в межах 0.2-0.4, що дозволяє використовувати для розрахунків ряди, що мають тривалість спостережень 8-15 років. Однак збільшення коефіцієнта мінливості до 0.7-1.0 обумовлює необхідність подовження ряду спостережень до 20-40 років.

### **1.1 Циклічність коливань мінімального стоку. Виявлення циклів водності за допомогою згладжування хронологічних рядів**

Циклічність коливань мінімального стоку тієї чи іншої річки можна досліджувати за хронологічними графіками (рис.1.1).

Однак ці календарні графіки зміни мінімального стоку не завжди дають достатньо повне уявлення про циклічні коливання стоку, внаслідок наявності малих циклів на загальному фоні багаторічних коливань водності річки.

Для виявлення таких циклів застосовуються засоби згладжування або фільтрації.

Ковзне згладжування коливань мінімального стоку визначають за формулою:

$$\tilde{Q}_i = \frac{1}{T} \sum_{k=-\frac{T-1}{2}}^{\frac{T-1}{2}} Q_{i+k} \quad (1.5)$$

де  $T$  – інтервал осереднення (частіше за усе з практичною метою він дорівнює 3 – згладжування за трьохрічками).

При лінійному згладжуванні хронологічних графіків за трьохрічками:

$$\begin{aligned}
\tilde{Q}_1 &= \frac{1}{6}(5Q_1 + 2Q_2 - Q_3) \\
\tilde{Q}_2 &= \frac{1}{3}(Q_1 + Q_2 + Q_3), \\
\tilde{Q}_3 &= \frac{1}{3}(Q_2 + Q_3 + Q_4), \\
&\vdots \\
&\vdots \\
&\vdots \\
\tilde{Q}_{n-1} &= \frac{1}{3}(Q_{n-2} + Q_{n-1} + Q_n), \\
\tilde{Q}_n &= \frac{1}{6}(5Q_n + 2Q_{n-1} - Q_{n-2})
\end{aligned}
\tag{1.6}$$

Якщо після першого етапу суттєвого згладжування не відбулося, то можна виконати повторно згладжування тим же многочленом (рис.1.1).

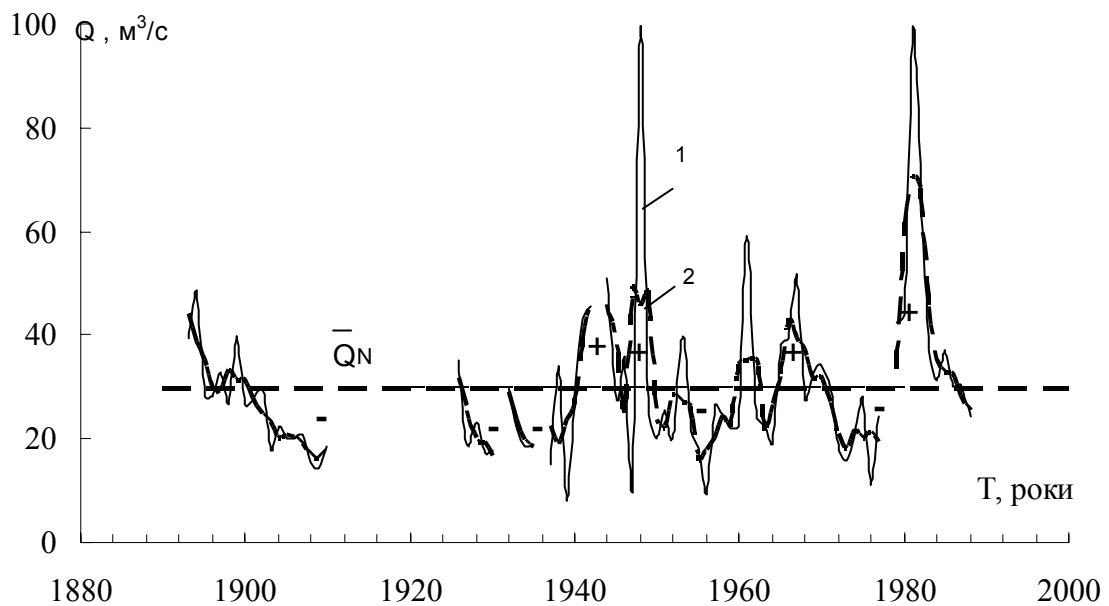


Рисунок 1.1 – Хронологічний графік коливань мінімального стоку (1) та графік середніх (2) р.сіверський Донець – м.Лисичвнськ

## 1.2 Розрахунок мінімальних витрат заданої забезпеченості

Мінімальні витрати води розрахункової забезпеченості визначають, використовуючи три параметри  $(\bar{Q}, C_v, C_s)$ , які обчислюються методом моментів або найбільшої правдоподібності [1]. Якщо у складі ряду мінімальних витрат є нульові значення внаслідок пересихання або перемерзання річки, параметри кривої забезпеченості встановлюються графоаналітичним методом Г.А.Алексєєва, із використанням згладжуваної (осередненої) емпіричної кривої забезпеченості.

При виконанні цього завдання коефіцієнти варіації та асиметрії рекомендується розраховувати за методом моментів

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n - 1}}, \quad (1.7)$$

де  $K_i = Q_i / \bar{Q}$  - модульний коефіцієнт.

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{C_v^3} \frac{n}{(n - 1)(n - 2)} \quad (1.8)$$

Розрахункове значення мінімального стоку дорівнює:

$$Q_{80\%} = K_{80\%} \bar{Q}, \quad (1.9)$$

де : 1) для трипараметричного гамма-розподілу

$$K_{80\%} = f(C_v, \frac{C_s}{C_v}, P_{80\%}), \quad (1.10)$$

2) для біноміальної кривої розподілу

$$K_{80\%} = \Phi_{80\%} C_v + 1, \quad (1.11)$$

де  $\Phi_{80\%}$  – нормоване відхилення від середнього значення ординат біноміальної кривої. У свою чергу,  $\Phi_{80\%}$  є функцією коефіцієнта асиметрії та забезпеченості  $P$  :

$$\Phi_{80\%} = f(C_s P_{80\%}) \quad (1.12)$$

Таблиці для визначення  $K_{80\%}$  наводяться у [3].

Приклад розрахунку. Визначити норму мінімального стоку та розрахунковий період для р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ

Задано: р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ. Площа водозбору  $F=52400$  км<sup>2</sup>. Вихідні дані: середньомісячні витрати води мінімального зимового стоку за період з 1893 по 1988 рр. для р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ (табл.1.1).

1. Для наведеного ряду розраховується середньобаторічне значення  $\bar{Q}$  та коефіцієнт варіації  $C_v$  за формулами (1.1) та (1.7):

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} = \frac{2295}{77} = 29.8 \text{ м}^3/\text{с};$$

За методом моментів:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{22.16}{76}} = 0.54$$

За формулою (1.2) оцінюється похибка середньобаторічного значення  $\bar{Q}$ :

$$\sigma_{\bar{Q}} = \frac{100 C_v}{\sqrt{n}} = \frac{100 \cdot 0.54}{\sqrt{77}} = 6.1\%$$

а формулою (1.4) обчислюється коефіцієнт автокореляції

$$r_1 = \frac{\sum_{i=1}^{n-1} (Q_i - \bar{Q})(Q_{i+1} - \bar{Q})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^{n-1} (Q_{i+1} - \bar{Q})^2}} = \frac{4514}{\sqrt{23227 \cdot 23197}} = 0.20$$

З урахуванням коефіцієнта автокореляції середньоквадратичне відхилення становить:

$$\sigma_{\bar{Q}} = \frac{6.1}{\sqrt{\frac{1-r_1}{1+r_1}}} = 6.1/0.82 = 7.5\%,$$



Таблиця 1.1. – Середньомісячні витрати води мінімального зимового стоку р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ

№ п/п	Рік	Мінімальна витрата Води Q, м <sup>3</sup> /с	№ п/п	Рік	Мінімальна витрата води Q, м <sup>3</sup> /с
1.	1893	39,2	31	1923	-
2.	1894	48,4	32	1924	-
3.	1895	28,3	33	1925	-
4.	1896	28,3	34	1926	35
5.	1897	32,7	35	1927	18,9
6.	1898	26,8	36	1928	23
7.	1899	39,9	37	1929	17,3
8.	1900	26,8	38	1930	17,6
9.	1901	27,4	39	1931	
10	1902	29,3	40	1932	29,9
11	1903	17,7	41	1933	21,9
12	1904	22,5	42	1934	18,6
13	1905	20	43	1935	19,1
14	1906	20	44	1936	
15	1907	21	45	1937	14,9
16	1908	15,3	46	1938	34
17	1909	14,4	47	1939	8,26
18	1910	18,7	48	1940	28,8
20	1912	-	49	1941	43,3
21	1913	-	50	1942	45,6
22	1914	-	51	1943	
23	1915	-	52	1944	51,1
24	1916	-	53	1945	27,9
25	1917	-	54	1946	35,4
26	1918	-	55	1947	12
27	1919	-	56	1948	99,6
28	1920	-	57	1949	24,6
29	1921	-	58	1950	20,1
30	1922	-	59	1951	25,6
60	1952	20,2	81	1973	15,7
61	1953	39,6	82	1974	21
62	1954	21,5	83	1975	27,9
63	1955	18	84	1976	11,1
64	1956	9,08	85	1977	24,4
65	1957	26,3	86	1978	-
66	1958	24,6	87	1979	42,5

67	1959	22	88	1980	44,2
68	1960	22,3	89	1981	99,2
69	1961	59,1	90	1982	68,5
70	1962	23,8	100	1983	37,2
71	1963	22,7	101	1984	31,3
72	1964	19,4	102	1985	37
73	1965	38,4	103	1986	30
74	1966	39,2	104	1987	30,5
75	1967	51,2	105	1988	24,3
76	1968	27,7			$\Sigma=2295$
77	1969	32,6			Середнє 29.8
78	1970	34,2			
79	1971	29,5			
80	1972	17,9			

Таким чином, похибка при розрахунку  $\bar{Q}$  укладається в рамки припустимих, і середньобогаторічне значення  $\bar{Q}$  можна вважати за норму мінімального місячного зимового стоку.

За даними табл.1.1 будується хронологічний графік коливань мінімального стоку (рис.1.1), на нього наноситься норма мінімального стоку  $\bar{Q}_N=29.8 \text{ м}^3/\text{с}$ .

2. За формулою (1.6) на підставі табл.1.1 зроблено ковзне осереднення, результати якого наведені в табл.1.2. Якщо ряд перерваний, то осереднення перед розривом робиться як для кінцевих членів ряду, а після розриву – як для перших членів ряду.

3. Значення згладжуваного ряду наносяться на хронологічний графік коливань мінімального стоку (рис.1.1).

Аналіз рис.1.1 показує, що на хронологічному графіку коливань мінімального стоку, після згладжування по 3-річках, можна виділити декілька багатководних та маловодних угруповань: з 1900р. до 1940р., з 1951р. до 1962р., та з 1965 р. до 1979р. спостерігались маловодні угруповання, а з 1941р. до 1950р., з 1962р. до 1964р., та з 1980р. до 1986р. – багатководні.

Таким чином, за розрахунковий для визначення норми мінімального меженного зимового стоку на р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ можна прийняти період з 1926 до 1986рр.

Таблиця 1.2- Ковзне осереднення хронологічного ряду мінімального місячного стоку зимової межені за трьохрічками, р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ

№ п/п	Рік	Мінімальна витрата води Q, м <sup>3</sup> /с	Згладжувані витрати, Q <sub>3</sub> , м <sup>3</sup> /с	№ п/п	Рік	Мінімальна витрата води Q, м <sup>3</sup> /с	Згладжувані витрати, Q <sub>3</sub> , м <sup>3</sup> /с
1	1893	39,2	44,1	12	1904	22,5	20,1
2	1894	48,4	38,6	13	1905	20	20,8
3	1895	28,3	35,0	14	1906	20	20,3
4	1896	28,3	29,8	15	1907	21	18,8
5	1897	32,7	29,3	16	1908	15,3	16,9
6	1898	26,8	33,1	17	1909	14,4	16,1
7	1899	39,9	31,2	18	1910	18,7	17,8
8	1900	26,8	31,4	19	1911	-	-
9	1901	27,4	27,8	20	1912	-	-
10	1902	29,3	24,8	21	1913	-	-
11	1903	17,7	23,2	22	1914	-	-
23	1915	-	-	65	1957	26,3	20,0
24	1916	-	-	66	1958	24,6	24,3
25	1917	-	-	67	1959	22	23,0
26	1918	-	-	68	1960	22,3	34,5
27	1919	-	-	69	1961	59,1	35,1
28	1920	-	-	70	1962	23,8	35,2
29	1921	-	-	71	1963	22,7	22,0
30	1922	-	-	72	1964	19,4	26,8
31	1923	-	-	73	1965	38,4	32,3
32	1924	-	-	74	1966	39,2	42,9
33	1925	-	-	75	1967	51,2	39,4
34	1926	35	31,6	76	1968	27,7	37,2
35	1927	18,9	25,6	77	1969	32,6	31,5
36	1928	23	19,7	78	1970	34,2	32,1
37	1929	17,3	19,3	79	1971	29,5	27,2
38	1930	17,6	16,6	80	1972	17,9	21,0
39	1931			81	1973	15,7	18,2
40	1932	29,9	29,1	82	1974	21	21,5
41	1933	21,9	23,5	83	1975	27,9	20,0
42	1934	18,6	19,9	84	1976	11,1	21,1
43	1935	19,1	18,5	85	1977	24,4	19,4
44	1936	-	-	86	1978	-	-
45	1937	14,9	22,4	87	1979	42,5	33,6

46	1938	34	19,1	88	1980	44,2	62,0
47	1939	8,26	23,7	89	1981	99,2	70,6
48	1940	28,8	26,8	90	1982	68,5	68,3
49	1941	43,3	39,2	100	1983	37,2	45,7
50	1942	45,6	47,6	101	1984	31,3	35,2
51	1943	-	-	102	1985	37	32,8
52	1944	51,1	46,0	103	1986	30	32,5
53	1945	27,9	38,1	104	1987	30,5	28,3
54	1946	35,4	25,1	105	1988	24,3	25,4
55	1947	12	49,0				
56	1948	99,6	45,4				
57	1949	24,6	48,1				
58	1950	20,1	23,4				
59	1951	25,6	22,0				
60	1952	20,2	28,5				
61	1953	39,6	27,1				
62	1954	21,5	26,4				
63	1955	18	16,2				
64	1956	9,08	17,8				

4. Для визначення  $Q_{80\%}$  необхідно розрахувати коефіцієнт асиметрії за формулою (1.8)

$$C_s = \frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^3}{C_v^3} \cdot \frac{n}{(n-1)(n-2)} = \frac{27.66}{0.16} \cdot \frac{77}{76 \cdot 75} = 2.33$$

Використовуючи таблиці біноміального розподілу наведені у [3], знаходимо  $\Phi_{80\%} = -0.73$

Тоді

$$K_{80\%} = \Phi_{80\%} C_v + 1 = -0.73 \cdot 0.54 + 1 = 0.61$$

Відповідно до (1.7)

$$Q_{80\%} = \bar{Q}_N \cdot K_{80\%} = 29.8 \cdot 0.61 = 18.2 \text{ м}^3/\text{с}$$

Якщо використовувати трипараметричний розподіл, то необхідно прийняти осереднене значення співвідношення  $C_s/C_v$ . У нашому випадку

$C_s/C_{v=} = 2.33/0.54 \approx 4.0$ . Тоді, відповідно до таблиці ординат трипараметричного розподілу [3], знаходимо  $K_p$  як  $f(C_v, C_s/C_v, P\%)$ . При  $C_v=0.54$ ,  $C_s/C_v=4.0$  и  $P=80\%$  він дорівнює 0.59.

Таким чином

$$Q_{80\%} = \bar{Q}_N \cdot K_p = 29.8 \cdot 0.59 = 17.6 \text{ м}^3/\text{с}$$

Як видно із наведених розрахунків, обидві криві розподілу дають практично однакові результати. Отже, для розрахунку  $Q_{80\%}$  можна використовувати як біноміальну, так і трипараметричну криву розподілу.

## Завдання 2

### ОБЧИСЛЕННЯ НОРМИ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ ПРИ КОРОТКИХ РЯДАХ СПОСТЕРЕЖЕНЬ

При коротких рядах спостережень або відсутності спостережень за стоком розрахункові значення місячного стоку  $Q_{80\%}$  для великих і середніх річок потрібно визначати з використанням методу аналогії або шляхом інтерполяції (окремо для літньо-осіннього і зимового періодів). При виборі річки-аналога насамперед звертається увага на східність гідрогеологічних умов у басейнах річок, для чого використовуються гідрогеологічні описи та карти досліджуваного району, а також карти районів для визначення мінімального стоку річок, які наведені у [3].

До малих відносяться річки, площі водозборів яких не перевищують їх значення, вказані в табл.2.1

Таблиця 2.1. - Найбільші площі водозбору малих річок, км<sup>2</sup>

Район за картою[СНіП, дод.1, аркуші 19,20]	Період	
	Літньо-осінній	Зимовий
А	1200	1200
Б	1500	1500
В	2000	1800
Г	2500	2000
Д	5000	2500
Е	10000	5000

Річки, площі водозборів яких перевищують вказані у табл.2.1 межі, але становлять не більш 7500 км<sup>2</sup>, відносять до середніх.

Короткими вважаються всі ряди, які не задовольняють принципу репрезентативності та точності ( $\pm 15\%$ ). Відповідно до СНіП 2.10.14-83, приведення статистичних параметрів розподілу до багаторічного періоду здійснюється за допомогою парної або множинної регресії за таких умов:

$$n \geq 10, r \geq 0.7 \text{ та } k/\sigma_k \geq 2$$

де  $n$  - число років спільних спостережень,  $r$  – коефіцієнт кореляції між величинами гідрологічних характеристик досліджуваної річки та річки-аналогу,  $k$  – коефіцієнт регресії,  $\sigma_k$  – середня квадратична похибка коефіцієнта регресії.

Ідея цього методу приведення параметрів розподілу основана на синхронності коливань стоку на сусідніх водозборах, що зумовлено однорідністю умов формування стоку. Нормативним документом рекомендується виконувати приведення параметрів коротких рядів послідовно за декількома рівняннями регресії у порядку зменшення парного або множинного коефіцієнтів кореляції.

Коефіцієнт кореляції  $r$ , який є критерієм під час вибору аналога, визначається за формулою:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})(Q_{ai} - \bar{Q}_a)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{ai} - \bar{Q}_a)^2}}, \quad (2.1)$$

Дані перевіряються співвідношенням  $k/\sigma_k$ . Коефіцієнт регресії

$$K = r \sigma_Q / \sigma_{Qa} \quad (2.2)$$

де  $\sigma_Q$  та  $\sigma_{Qa}$  – середні квадратичні значення стоку дослідженої річки та аналога при довжині рядів  $n$ . Розраховуються вони за наступними формулами:

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n - 1}} \quad (2.3)$$

та

$$\sigma_Q^a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^a - \bar{Q}^a)^2}{n-1}} \quad (2.4)$$

Похибка коефіцієнта регресії

$$\sigma_k = \frac{\sigma_Q}{\sigma_{Qa}} \frac{1-r^2}{\sqrt{n-1}}, \quad (2.5)$$

З урахуванням (2.1), (2.2) та (2.5) запишемо рівняння лінійної регресії

$$\bar{Q}_N = \bar{Q}_n + k\sigma_Q(\bar{Q}_N^a - \bar{Q}_n^a)/\sigma_{Qa}, \quad (2.6)$$

де  $\bar{Q}_N$  та  $\bar{Q}_N^a$  - багаторічні середні значення (норми) мінімального стоку досліджуваного водозбору та аналога.

Коефіцієнт варіації приведенного ряду дорівнює:

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}_N} \sqrt{1+r^2 \left( 1 - \frac{\sigma_{Qn}^a}{\sigma_{QN}^a} \right)}, \quad (2.7)$$

де  $\sigma_{QN}^a$  - середньоквадратичне відхилення ряду-аналога за багаторічний період N років.

$$\sigma_{QN}^a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^a - \bar{Q}^a)^2}{N-1}} \quad (2.8)$$

Похибка приведенного значення норми мінімального стоку за рівнянням регресії (2.6), відповідно до СНіП 2.01.14-83, дорівнює:

$$\sigma_{\bar{Q}_N} = \frac{100\sigma_Q}{\bar{Q}_N \cdot \sqrt{n}} \sqrt{1+r^2 \left( \frac{n}{N} \frac{\sigma_{QN}^a}{\sigma_{Qn}^a} - 1 \right)} \quad (2.9)$$

**Графічний метод.** Норма мінімального стоку визначається за графіком зв'язку мінімальних витрат за спільний період спостережень у басейні, що вивчається, та в басейні-аналогу з багаторічними даними про стік. За допомогою побудованого графіку зв'язку мінімальних середньомісячних витрат за спільний період спостережень за значенням норми мінімального стоку річки-аналога знімається норма мінімального стоку для досліджуваної річки.

Коефіцієнт варіації, відповідно до [2], дорівнює :

$$C_v = A \frac{\bar{Q}_N^a}{\bar{Q}_N} C_v^a, \quad (2.10)$$

де А- тангенс кута нахилу лінії зв'язку мінімальних середньомісячних витрат за спільний період спостережень

Похибка норми мінімального зимового стоку приведенного ряду, розраховується таким чином:

$$\sigma_{\bar{Q}_N} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2}, \quad (2.11)$$

де

$$\sigma_1 = \sigma_{\bar{Q}_N^a} \quad (2.12)$$

$$\sigma_2 = \frac{C_v \sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n}} \cdot 100\% \quad (2.13)$$

**Графоаналітичний метод Г.О.Алексєєва.** Для річки-аналога будується згладжувана емпірична крива забезпеченості мінімальних витрат води. З неї знімають величини стоку в характерних точках із забезпеченістю 5, 50 та 95 відсотків (%). За допомогою графіка зв'язку середньорічних мінімальних витрат за спільний період спостережень за даними річки-аналога знімаємо витрати 5, 50 та 95 % забезпеченості для досліджуваної річки. Розраховується коефіцієнт скошеності за формулою

$$S = \frac{Q_5 + Q_{95} - 2Q_{50}}{Q_5 - Q_{95}} \quad (2.14)$$

За спеціальною таблицею відповідно S встановлюють коефіцієнт  $C_s$  та нормовані ординати  $\Phi_5, \Phi_{50}, \Phi_{95}$ .

Середньоквадратичне відхилення  $\sigma_Q$  розраховується за формулою



$$\sigma_Q = \frac{Q_5 - Q_{95}}{\Phi_5 - \Phi_{95}} \quad (2.15)$$

Середнє багаторічне значення (норма) мінімального стоку обчислюється за рівнянням

$$\bar{Q} = Q_{50} - \sigma_Q \Phi_{50}, \quad (2.16)$$

Коефіцієнт варіації розраховується за виразом:

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}} \quad (2.17)$$

**Метод коефіцієнтів.** Для розрахунку за цим методом спочатку визначається коефіцієнт кореляції між значеннями короткого ряду та ряду аналогу за період сумісних спостережень, за формулою (2.1). Якщо значення  $r \geq 0.7$ , то досліджується синхронність коливань стоку на двох постах. Для цього будуються хронологічні графіки коливань мінімального стоку. Якщо коливання синхронні, то можна записати

$$\frac{\bar{Q}^a_N}{\bar{Q}^a_n} = \frac{\bar{Q}_N}{\bar{Q}_n}, \quad (2.18)$$

де  $\bar{Q}^a_N$  та  $\bar{Q}_N$  - середнє багаторічне значення мінімального стоку (норма) річки-аналога та короткого ряду, відповідно, а  $\bar{Q}^a_n$  та  $\bar{Q}_n$  - середнє значення мінімального стоку річки-аналога та короткого ряду за період сумісних спостережень  $n$ .

Позначимо співвідношення  $\frac{\bar{Q}^a_N}{\bar{Q}^a_n}$  як  $K_N$ , тоді для досліджуваного короткого ряду можна визначити норму мінімального стоку за виразом:

$$\bar{Q}_N = K_N \bar{Q}_n \quad (2.19)$$

### Приклад розрахунку.

Виконати приведення статистичних параметрів мінімального місячного зимового стоку р.Сіверський Донець – Протопопівка до багаторічного періоду аналітичним та графічним способами і методом коефіцієнтів.

### Задано:

- 1) р.Сіверський Донець – Протопопівка. Площа водозбору  $F=19400 \text{ км}^2$ .
- 2) р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ. Площа водозбору  $F=52400 \text{ км}^2$ .

### Вихідні дані:

1) Середньомісячні мінімальні зимові витрати води р.Сіверський Донець – Протопопівка за період спостережень з 1969 по 1988 рр. (табл.2.2).

Таблиця 2 .2 – Середньомісячні мінімальні зимові витрати води р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ та р.Сіверський Донець – Протопопівка за період спільних спостережень (1969-1988рр).

№ п/п	Роки	$Q, \text{ м}^3/\text{с}$	
		Сіверський Донець – м.Лисичанськ	Сіверський Донець – Протопопівка
1	1969	32,6	15,4
2	1970	34,2	22,3
3	1971	29,5	19,6
4	1972	17,9	16,9
5	1973	15,7	16,5
6	1974	21	21,4
7	1975	27,9	24,2
8	1976	11,1	11
9	1977	24,4	19,3
10	1978	-	14,7
11	1979	42,5	31,8
12	1980	44,2	23,2
13	1981	99,2	61,6
14	1982	68,5	51,4
15	1983	37,2	37,8
16	1984	31,3	16,7
17	1985	37	19,3
18	1986	30	19,8
19	1987	30,5	19,4
20	1988	24,3	29,7

2) Середньомісячні мінімальні зимові витрати води р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ за період спостережень з 1893 по 1988 рр. Норма мінімального зимового стоку  $\bar{Q}_N = 29.8 \text{ м}^3/\text{с}$ , коефіцієнт варіації  $C_v = 0.54$ , середньоквадратична похибка  $\sigma_{\bar{Q}_a} = 7.5\%$  (завдання №1).

Наведений аналог знаходиться у тих самих гідрогеологічних умовах, що й досліджуваний ряд [3], та відповідає принципу репрезентативності.

1. Для наведеного ряду з періодом 1969-1988рр розраховується середнє значення мінімального зимового стоку та коефіцієнт варіації:

$$\bar{Q} = \frac{\sum_{i=1}^n Q_i}{n} = \frac{492}{20} = 24.6 \text{ м}^3/\text{с};$$

За методом моментів:

$$C_v = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (K_i - 1)^2}{n - 1}} = \sqrt{\frac{5.03}{19}} = 0.51$$

За формулою (1.2) оцінюється середньоквадратична похибка середнього значення  $\bar{Q}$ :

$$\sigma_{\bar{Q}} = \frac{100 C_v}{\sqrt{n}} = \frac{0.51}{\sqrt{20}} = 11.4\%$$

Відповідно до формули (1.4) розраховується коефіцієнт автокореляції  $r_1$ , який для р.Сіверський Донець –Протопопівка дорівнює 0.49.

Тоді з урахуванням коефіцієнта автокореляції

$$\sigma_{\bar{Q}} = \pm 100 C_v \sqrt{(1 + r_1)/(1 - r_1)} / \sqrt{n} = 100 \times 0.51 \sqrt{(1 + 0.49)/(1 - 0.49)} / \sqrt{20} = 19.5\%, \text{ тобто } > 15\%$$

Значення  $\sigma_{\bar{Q}}$  більше за припустиме і тому необхідне приведення ряду до багаторічного періоду.

1. Приведення ряду до багаторічного періоду за допомогою рівняння лінійної регресії (аналітичний метод).

Поперше, необхідно розрахувати коефіцієнт кореляції між значеннями вихідного ряду та ряду-аналога за період спільних спостережень. Для розрахунку  $r$  необхідно скласти таблицю.

Таблиця 2.3 – Розрахунок коефіцієнту кореляції між витратами мінімального зимового стоку р.Сіверський Донець –Протопопівка та р.Сіверський Донець – Лисичанськ (1969-1988)

№ п/п	Ро-ки	$Q_{i\min}$ м <sup>3</sup> /с	$Q_{i\min}^a$ м <sup>3</sup> /с	$\Delta Q_{\min}$	$\Delta Q_{\min}^a$	$(\Delta Q_{\min})^2$	$(\Delta Q_{\min}^a)^2$	$\Delta Q_{\min} \times \Delta Q_{\min}^a$
1	1969	15,4	32,6	-9,2	-2,1	84,6	4,41	19,3
2	1970	22,3	34,2	-2,3	-0,5	5,3	0,25	1,2
3	1971	19,6	29,5	-5	-5,2	25,0	27,0	26,0
4	1972	16,9	17,9	-7,7	-16,8	59,3	282,2	129,4
5	1973	16,5	15,7	-8,1	-19,0	65,6	361,0	153,9
6	1974	21,4	21	-3,2	-13,7	10,2	187,7	43,8
7	1975	24,2	27,9	-0,4	-6,8	0,2	46,24	2,7
8	1976	11	11,1	-13,6	-23,6	185,0	557	321,0
9	1977	19,3	24,4	-5,3	-10,3	28,1	106,1	54,6
10	1978	14,7						
11	1979	31,8	42,5	7,2	7,8	51,8	60,8	56,2
12	1980	23,2	44,2	-1,4	9,5	2,0	90,3	-13,3
13	1981	61,6	99,2	37	64,5	1369,0	4160	2386,5
14	1982	51,4	68,5	26,8	33,8	718,2	1142	905,8
15	1983	37,8	37,2	13,2	2,5	174,2	6,25	33,0
16	1984	16,7	31,3	-7,9	-3,4	62,4	11,56	26,9
17	1985	19,3	37	-5,3	2,3	28,1	5,29	-12,2
18	1986	19,8	30	-4,8	-4,7	23,0	22,09	22,6
19	1987	19,4	30,5	-5,2	-4,2	27,0	17,64	21,8
20	1988	29,7	24,3	5,1	-10,4	26,0	108,16	-53,0
Сума		492	659	-43,7	-0,3	2945	7197	4126
Середнє		24,6	34,7					

Відповідно до (2.1) коефіцієнт кореляції дорівнює:

$$r = \frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})(Q_{ai} - \bar{Q}_a)}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2 \sum_{i=1}^n (Q_{ai} - \bar{Q}_a)^2}} = \frac{\sum_{i=1}^n \Delta Q \cdot \Delta Q_a}{\sqrt{\sum_{i=1}^n \Delta Q^2 \cdot \sum_{i=1}^n \Delta Q_a^2}} = \frac{4126}{\sqrt{2945 \cdot 7197}} = 0.89$$

Далі необхідно визначити коефіцієнт регресії за формулою (2.2). Але для цього спочатку розраховуються середньоквадратичні відхилення короткого ряду та ряду-аналога (за період 1969-1988рр.) за допомогою табл.2.3 по формулам (2.3) та (2.4):

$$\sigma_Q = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i - \bar{Q})^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{2945}{18}} = 12.8$$

$$\sigma_Q^a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^a - \bar{Q}^a)^2}{n-1}} = \sqrt{\frac{7197}{18}} = 20.0$$

Тоді коефіцієнт регресії становить

$$k = r \sigma_Q / \sigma_Q^a = 0.89 \cdot 12.8 / 20.0 = 0.57$$

Похибка коефіцієнта регресії, відповідно до (2.5), складає:

$$\sigma_k = \frac{\sigma_Q}{\sigma_Q^a} \cdot \frac{1-r^2}{\sqrt{n-1}} = \frac{12.8}{20.0} \cdot \frac{(1-0.89^2)}{\sqrt{18}} = 0.03$$

Таким чином, умова  $k/\sigma_k \geq 2$  виконується -  $k/\sigma_k = 0.57/0.03 = 19 \geq 2$ .

Наведені розрахунки зазначають дійсність аналога р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ для визначення норми розрахункового створу за рівнянням лінійної регресії.

Середні значення мінімальних витрат зимового стоку за період спільних спостережень (з 1969 по 1988рр.) становлять для р.Сіверський Донець – Протопоівка  $\bar{Q} = 24.6 \text{ м}^3/\text{с}$ , а для р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ -  $\bar{Q}^a = 34.7 \text{ м}^3/\text{с}$ , при нормі мінімального зимового стоку -  $\bar{Q}^a_N = 29.8 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Приведене значення норми мінімального зимового стоку, згідно з (2.6), дорівнює

$$\begin{aligned} \bar{Q}_N &= \bar{Q}_n + r\sigma_Q(\bar{Q}^a_N - \bar{Q}^a_n) / \sigma_Q^a = \\ &= 24.6 + 0.89 \cdot 12.8(29.8 - 34.7) / 20.0 = 21.8 \text{ м}^3/\text{с} \end{aligned}$$

Коефіцієнт варіації за формулою (2.7) дорівнює:

$$C_v = \frac{\sigma_Q}{\bar{Q}_N} \sqrt{1 + r^2 \left( 1 - \frac{\sigma_{Q_n}^a}{\sigma_{QN}^a} \right)},$$

де  $\sigma_{Q_N}^a$  - середньоквадратичне відхилення ряду-аналога за багаторічний період (N років), розраховується за формулою (2.8):

$$\sigma_{Q_N}^a = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Q_i^a - \bar{Q}^a)^2}{N-1}} = \sqrt{\frac{19676}{76}} = 16.1$$

Тоді

$$C_v = \frac{12.8}{21.8} \sqrt{1 + 0.89^2 \left( 1 - \frac{20.0}{16.1} \right)} = 0.53$$

Похибка приведеного значення норми мінімального стоку за рівнянням регресії (2.6), відповідно до (2.9), дорівнює:

$$\sigma_{\bar{Q}_N} = \frac{100\sigma_Q}{\bar{Q}_N \cdot \sqrt{n}} \sqrt{1 + r^2 \left( \frac{n}{N} \frac{\sigma_{Q_N}^a}{\sigma_{Q_n}^a} - 1 \right)} =$$

$$\frac{100 \cdot 12.8}{21.8 \sqrt{19}} \sqrt{1 + 0.89^2 \left( \frac{19}{77} \frac{16.1^2}{20.0^2} - 1 \right)} = 7.8\%$$

З урахуванням коефіцієнта автокореляції середньоквадратичне відхилення становить:

$$\sigma_{\bar{Q}_N} = \frac{7.81}{\sqrt{\frac{1-r_1}{1+r_1}}} = 7.81 / 0.585 = 13.3\% < 15\%$$

тобто менше від вихідної на 6.2%

2. Приведення ряду до багаторічного періоду графічним методом. Відповідно до графічного методу будується залежність середньорічних мінімальних зимових витрат розрахункової річки р.Сіверський Донець-

Протопопівка та річки-аналога р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ за період спільних спостережень з 1969р. по 1988р. (рис.2.1).

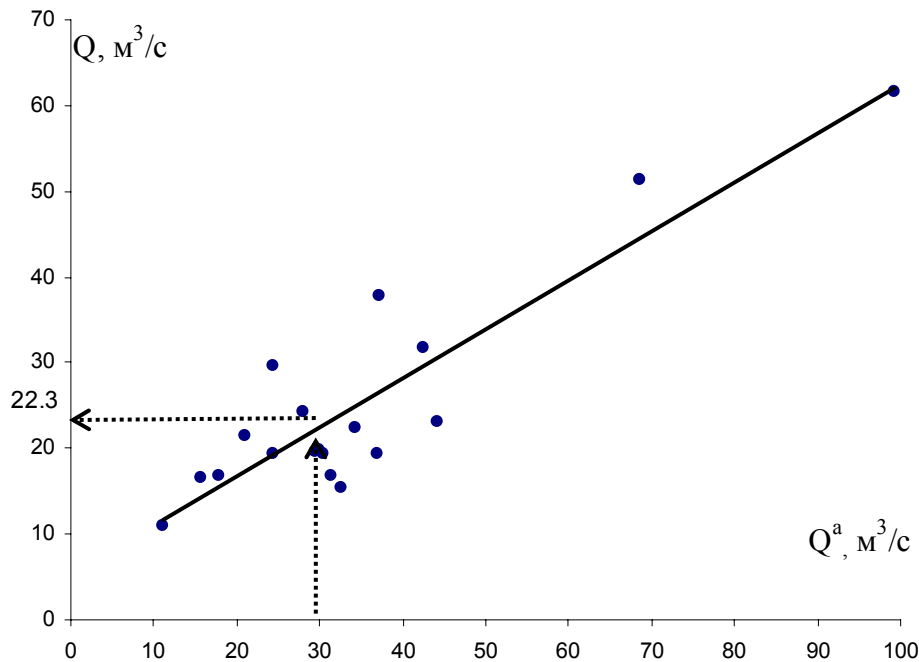


Рисунок 2.1 - Залежність середньомісячних мінімальних зимових витрат води р.Сіверський Донець- Лисичанськ ( $Q^a$ ) та р.Сіверський Донець - Протопопівка ( $Q$ ) за період спільних спостережень (1969-1988рр.)

Зв'язок прямолінійний, середнє відхилення точок від лінії зв'язку не перевищує 10%, тангенс кута нахилу лінії зв'язку до осі аналога складає 0.57.

Для підтвердження висновку про вибір аналогу розраховується коефіцієнт кореляції, як показано вище він дорівнює 0.89.Такий високий коефіцієнт кореляції ще раз підтверджує правильність вибору річки-аналога.

По графіку зв'язку (рис.2.1) при  $\bar{Q}_N^a = 29.8 \text{ м}^3/\text{с}$  норма мінімального зимового стоку р.Сіверський Донець –Протопопівка становить  $\bar{Q}_N = 22.3 \text{ м}^3/\text{с}$ .

Коефіцієнт варіації, відповідно до (2.10), дорівнює (при  $A = \text{tg}\alpha = 0.57$ )

$$C_v = A \frac{\bar{Q}_N^a}{\bar{Q}_N} C_v^a = 0.57 \frac{29.8}{22.3} 0.54 = 0.41$$

Похибка норми мінімального зимового стоку приведенного ряду, розраховується за формулою (2.11):

$$\sigma_{\bar{Q}_N} = \sqrt{\sigma_1^2 + \sigma_2^2} = \sqrt{7.5^2 + 4.3^2} = 8.6\%, \quad \text{де:} \quad \sigma_1 = \sigma_{\bar{Q}_N^a} = 7.5\%;$$

$$\sigma_2 = \frac{C_v \sqrt{1-r^2}}{\sqrt{n}} \cdot 100\% = \frac{0.41 \sqrt{1-0.89^2}}{\sqrt{19}} 100\% = 4.3\%$$

З урахуванням коефіцієнта автокореляції середньоквадратичне відхилення становить:

$$\sigma_{\bar{Q}_{\min N}} = \frac{8.6}{\sqrt{\frac{1-r_1}{1+r_1}}} = 8.6 / 0.585 = 14.7\% < 15\%$$

тобто менше від вихідної на 4.7%.

### 3. Приведення ряду до багаторічного періоду методом коефіцієнтів.

Для розрахунку за цим методом спочатку треба розрахувати коефіцієнт кореляції між значеннями стоку досліджуваного ряду та ряду-аналогу за період спільних спостережень. Як показано вище (аналітичний метод) цей коефіцієнт для періоду з 1969р. по 1988р. між значеннями мінімального зимового стоку р.Сіверський Донець - Протопопівка та р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ становить 0.89, тобто  $r \geq 0.7$ . Наступним етапом є побудування хронологічних графіків коливань мінімального зимового стоку (рис.2.2). Для того щоб хронологічні графіки простіше було порівнювати між собою їх будують у модульних коефіцієнтах  $k_i$ . Як видно із рис.2.2, коливання мінімального зимового стоку за період з 1969 по 1988рр. досліджуваного ряду (р.Сіверський Донець-Протопопівка) та ряду-аналогу (р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ) повністю синхронні.

У такому випадку, відповідно до (2.18), можна записати

$$\frac{\bar{Q}_N^a}{\bar{Q}_n^a} = \frac{\bar{Q}_N}{\bar{Q}_n};$$



Зазначимо співвідношення  $\frac{\bar{Q}_N^a}{\bar{Q}_n^a}$  через  $K_N$ .

Тоді  $K_N=0.86$ , а  $\bar{Q}_N$  дорівнює

$$\bar{Q}_N = K_N \bar{Q}_n = 0.86 \cdot 24.6 = 21.2 \text{ м}^3/\text{с}$$

Результати приведення статистичних параметрів мінімального стоку р.Сіверський Донець – Протопопівка до багаторічного періоду різними методами представлені в табл.2.4

Таблиця 2.4 – Порівнювальні дані статистичних параметрів мінімального зимового стоку р.Сіверський Донець – Протопопівка, обчислені різними методами

Метод приведення	$\bar{Q}_{\min N}$ , м <sup>3</sup> /с	$\sigma_{\bar{Q}_{\min N}}$	$C_v$
Аналітичний	21.8	13.3	0.53
Графічний	22.3	14.7	0.41
Метод коефіцієнтів	21.2		

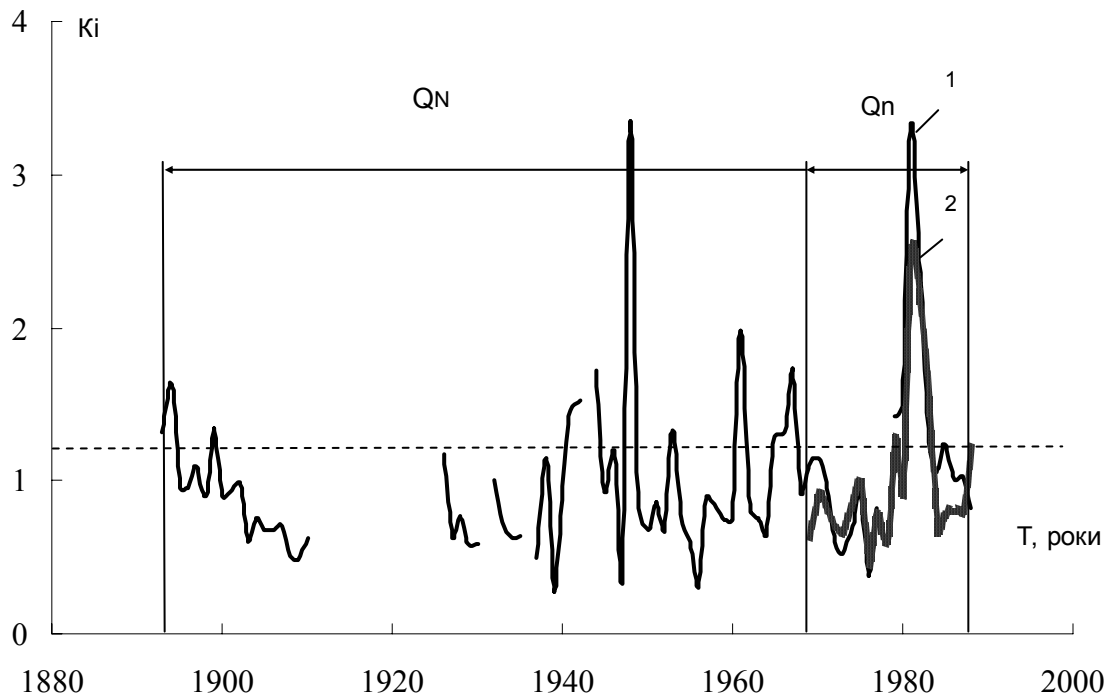


Рисунок 2.2 -Хронологічний графік коливань мінімального місячного зимового стоку р.Сіверський Донець -м.Лисичанськ (1) та р.Сіверський Донець - с.Протопопівка (2)

### Завдання 3

#### ВИЗНАЧЕННЯ НОРМИ МІНІМАЛЬНОГО СТОКУ ЗА ВІДСУТНОСТІ ГІДРОМЕТРИЧНИХ ВИМІРЮВАНЬ

За відсутності систематичних вимірювань стоку і відповідно часових рядів норма мінімального стоку визначається непрямими методами. Найпоширеніші - карти норми мінімального стоку (модуля або шару). Будуються карти за даними вивчених річок з вимогами точності обчислювання норми стоку. Враховуючи суттєвий вплив на річковий стік місцевих та антропогенних факторів, при складанні карт використовуються тільки ті матеріали, які відносяться до середніх площ водозборів.

Загалом мінімальний стік підлеглий географічній зональності. Так, у літньо-осінній період 30-денний модуль стоку 80%-ної забезпеченості закономірно зменшається з 6 л/с км<sup>2</sup> -на північному заході ЄТС і 15-20 л/с км<sup>2</sup> на Північному Уралі до 0.5 л/с км<sup>2</sup> і менше - на південному сході. Набагато менше зимовий мінімальний стік. Він становить 2-4 л/с км<sup>2</sup> на півночі і 0-0.25 л/с км<sup>2</sup> на півдні і південному сході ЄТС, зростаючи до 10-15 л/с км<sup>2</sup> на Чорноморському побережжі.

Відхилення на окремих водозборах розрахункових значень мінімального стоку від зональних пов'язані, головним чином, з неповнотою дренажу ґрунтових вод (малі річки), гідрогеологічними особливостями території, зарегульованістю стоку великими водоймищами (озера, водосховища) проточного типу. Тому географічна зональність в розподілі мінімального стоку характерна лише для водозборів певних розмірів у кожній природній зоні.

Для побудови карти мінімального стоку у СНіП 2.01.14-83 використані значення витрат фіксованої забезпеченості – мінімальні 30-денні витрати 80%-ої забезпеченості. Відповідно до СНіП 2.01.14-83, значення мінімального 30-добового модуля стоку щорічної ймовірності перевищення слід знімати з карт ізоліній мінімального 30-добового зимового [СНіП, аркуш 17] або ізоліній літньо-осіннього стоку річок ймовірністю перевищення 80% [СНіП, аркуш 18] для центрів тяжіння басейну шляхом інтерполяції між ізолініями стоку. Якщо водозбір перетинає декілька ізоліній, то значення мінімального стоку визначаються як середні зважені за площею

$$\bar{q}_{80\%N} = \frac{\bar{q}_{80\%1}f_1 + \bar{q}_{80\%2}f_2 + \dots + \bar{q}_{80\%n}f_n}{f_1 + f_2 + \dots + f_n}, \quad (3.1)$$

де  $\bar{q}_{80\%1}, \bar{q}_{80\%2}, \dots, \bar{q}_{80\%n}$  - середні значення модулів мінімального стоку між суцудними ізолініями;  $f_1, f_2, \dots, f_n$  - площі між відповідними ізолініями стоку, які визначаються планіметриванням або за допомогою палетки.

Точність визначення мінімального стоку за картами ізоліній змінюється у середньому від  $\pm 10\%$  у зволожений районах до  $\pm 20\%$  - у районах недостатнього зволоження та гірських областях.

Карти ізоліній не можливо використовувати для визначення мінімального стоку річок, у межах водозборів яких знаходяться озера, регулюючи значну частину стоку, а також річок, в басейнах яких є ділянки вираженого карсту. Перехідні коефіцієнти від 30-добових (середньомісячних) мінімальних витрат води щорічної ймовірності перевищення 80% до мінімальних витрат інших ймовірностей перевищення визначають за даними річок-аналогів. Значення коефіцієнтів для окремих районів наведені у табл.3.1.

Тоді

$$Q_p = \lambda_p Q_{80\%}, \quad (3.2)$$

де  $\lambda_p$  – перехідний коефіцієнт з табл.3.1.

Таблиця 3.1 – Перехідні коефіцієнти  $\lambda_p$  для визначення мінімальних 30-добових витрат води різної ймовірності перевищення

Район за картою [СНіП, додаток 1, аркуш 21]	Ймовірність перевищення, P%				
	75	80	90	95	97
1	1,05	1,00	0,95	0,87	0,83
2	1,05	1,00	0,87	0,80	0,75
3	1,06	1,00	0,86	0,78	0,70
4	1,06	1,00	0,83	0,71	0,62
5	1,09	1,00	0,80	0,63	0,54
6	1,14	1,00	0,73	0,56	0,44
Басейн р.Лени до впадіння р.Олекми* (F < 1000 км <sup>2</sup> )	1,05	1,00	0,66	0,42	0,33
Епізодично пересихаючі та перемерзаючі річки	1,20	1,00	0,45	1,15	0,00
Басейни річок Іртиш, Ішим, Тобол.	1,20	1,00	0,56	0,35	0,00

\* Для визначення мінімальної літньої витрати води.

Для малих річок з площею водозбору менше за 2000 км<sup>2</sup> нормативним документом рекомендується  $Q_{80\%}$  визначати за формулою, розробленою А.М.Владимировим.

$$Q_{80\%} = 10^{-3} a \cdot (F \pm f)^n, \quad (3.3)$$

де  $f$  - середня по району площа з відсутністю стоку (-) або середня площа підземного басейну, який забезпечує додаткове живлення річок даного району (+) внаслідок карсту;  $a$  і  $n$  – параметри, які характеризують зволоженість даного району і інтенсивність зміни стоку із зростанням площі водозбору. Значення приведені в таблицях СніПа (додаток 2, табл.17).

Для районів Середньої Азії, Казахстану і деяких інших районів застосування регіональної формули допускається для літньо-осінньої межени при  $F < 10000$  км<sup>2</sup> і зимової – при  $F < 5000$  км<sup>2</sup>.

Тривалість періодів перемерзання й пересихання визначається за регіональними залежностями мінімальної 30-денної (середньомісячної) витрати води. Для оцінки відсутності стоку протягом 30 діб може використовуватись формула (3.3). У зв'язку з цим виконують розрахунок  $Q_{80\%}$  для деяких значень площі, і та із них, за якої витрата води, обчислена із формули (3.3), буде не вище 0.001м<sup>3</sup>/с, береться за площу пересихання або перемерзання.

Формулу (3.3) не можливо використовувати для розрахунку мінімального стоку річок зі значним озерним регулюванням, які протікають у районах локального впливу карсту, а також при значно виражених впливах господарчої діяльності на стік річок.

Для окремих районів [СНіП, додаток 1, аркуші 19,20] рекомендовано визначати мінімальні 30-добові витрати щорічної ймовірності перевищення  $P=80\%$  за формулою

$$q_{80\%} = a\bar{H}_B, \quad (3.4)$$

де  $q_{80\%}$  - модуль мінімального стоку 80%-ної забезпеченості,  $\bar{H}_B$  - середня висота водозбору, .

Мінімальні витрати інших ймовірностей перевищення встановлюють відповідно до табл.3.1.

Для гірських територій значення мінімального стоку припускається визначати по залежності модуля мінімального стоку від середньої висоти басейну річки. Залежності будуються для однорідних за гідрогеологічними умовами .

Якщо треба оцінити мінімальну середньодобову витрату води Р%-ної забезпеченості, то її визначають по залежності з 30-денними (середньомісячними) витратами води:

$$Q_{p,c} = K_c Q_p = K_c \lambda_p Q_{80\%}, \quad (3.5)$$

де  $Q_{p,c}$  - мінімальна середньодобова витрата води забезпеченістю Р%;  $Q_p$  - мінімальна 30-денна витрата води тієї ж забезпеченості;  $K_c$  – перехідний коефіцієнт з табл.3.2.

Таблиця 3.2 – Коефіцієнт  $K_c$  для визначення мінімальної середньодобової витрати води ймовірністю перевищення 80%

Номер району за картою [СНіП, дод.1, аркуш 22]	Період	
	Літньо-осінній	Зимовий
I (1)	0,90	0,90
II (2)	0,85	0,84
III (3)	0,80	0,74
IV (4)	0,74	0,64
V (5)	0,64	0,53
VI (6)	0,52	0,41
VII (7)	0,45	0,25
(8)	0,38	-

Примітка: Римськими цифрами позначені номери районів для зимового періоду, арабськими – для літньо-осіннього.

#### Приклад розрахунку.

Визначити мінімальний зимовий 30-денний стік 80%-ої забезпеченості р.Сіверський Донець – м. Лисичанськ та р.Калитва – с.Кудинівка за допомогою карти ізоліній або за формулою (3.2) (для малих річок).

Задано: 1)р.Сіверський Донець – м. Лисичанськ Площа водозбору  $F=52400 \text{ км}^2$ .

2)р.Калитва –с.Кудинівка. Площа водозбору  $F=1110 \text{ км}^2$ .

#### Вихідні дані:

1) Карта мінімального 30-денного зимового стоку забезпеченістю  $P=80\%$  [СНіП, аркуш 17] масштабу 1:10 000 000, ізолінії стоку подані в модулях  $q_{80\%}$ , л/с  $\text{км}^2$  (рис.3.1).

2) Карта районів для визначення мінімальної 30-денної витрати води 80%-ної забезпеченості на малих річках в зимовий період [СНіП, аркуш 19] масштабу 1:10 000 000 (рис.3.2.).

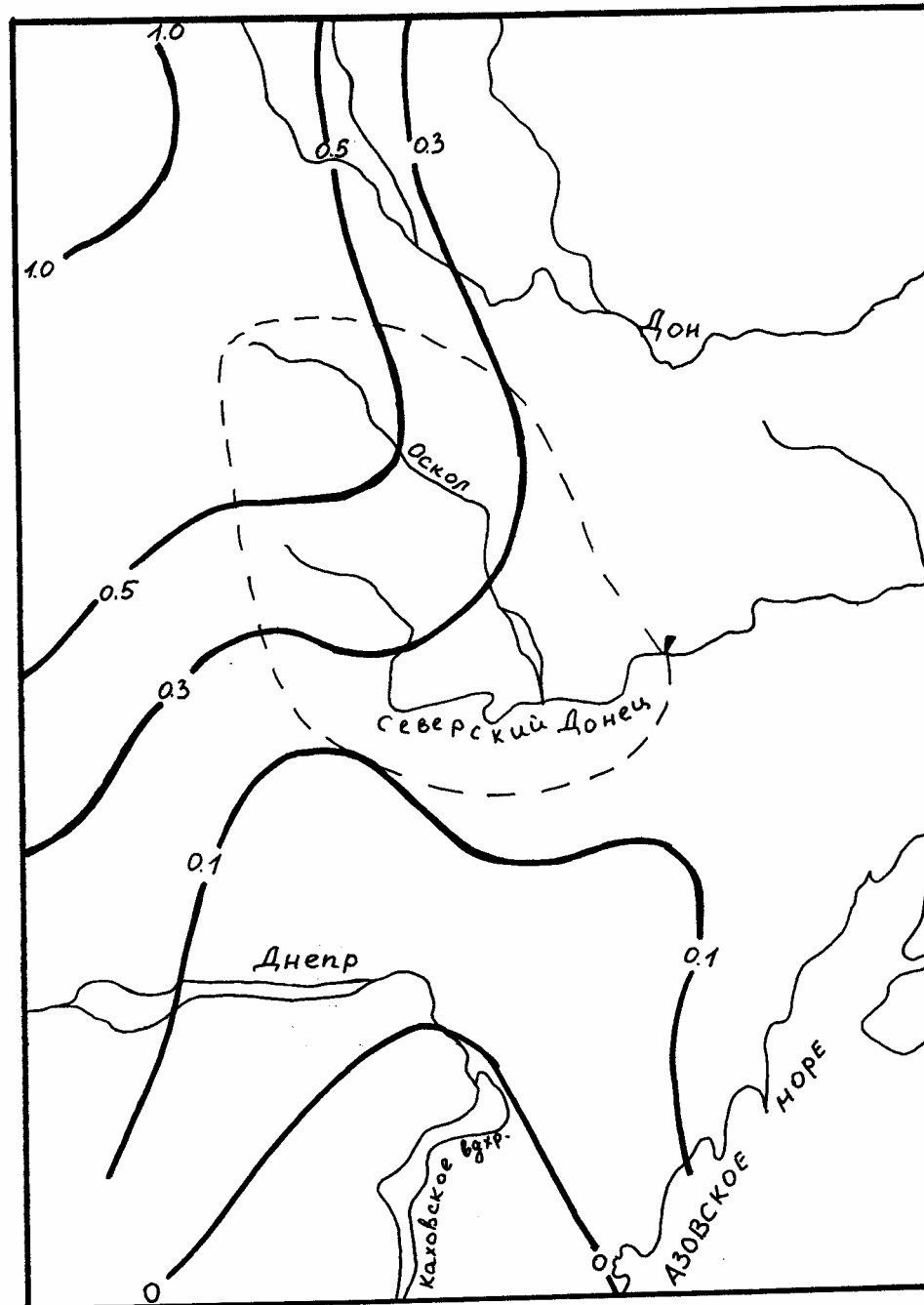


Рисунок 3.1 – Мінімальний 30-денний зимовий стік забезпеченістю  $P=80\%$

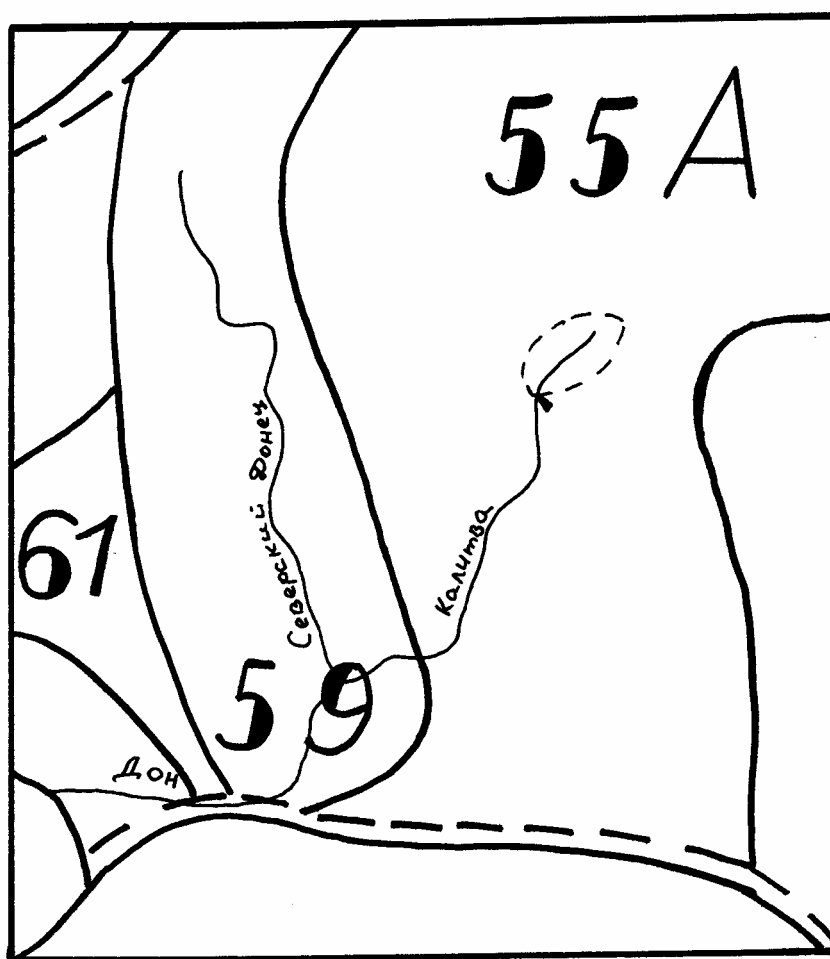


Рисунок 3.2 – Районування параметрів для визначення мінімальної 30-денної витрати води 80%-ної забезпеченості на малих річках в зимовий період [СНІП]

A - межа та індекс району для визначення параметра F за табл.2.1

55 - межа та номер району для визначення параметрів  $a$ ,  $f_{03}$ ,  $n$  за табл.17, дод.2 в СНІП

Басейн р.Сіверський Донець – м.Лисичанськ знаходиться між 4 ізолініями стоку. У цьому випадку стік визначається як середньозважене значення за формулою (3.1).

Як видно із рис.3.1, ізолінія 0.5 л/скм<sup>2</sup> перетинає водозбір утворюючи контур f<sub>1</sub>, а ізолінія 0.3 л/скм<sup>2</sup> утворює контури f<sub>2</sub> та f<sub>3</sub>. Площі між ізолініями визначаються за допомогою палетки: f<sub>1</sub>=3.0, f<sub>2</sub>=4.5, f<sub>3</sub>=8.5 поділок палетки. Для розрахунку мінімального стоку за формулою (3.1) складено табл.3.3.

Таблиця 3.3 – Розрахунок мінімального 30-денного зимового стоку за допомогою карти ізоліній р.Сіверський Донець-м.Лисичанськ, F=52400 км<sup>2</sup>

Значення ізолій модуля зимового стоку q <sub>min 80%</sub> , л/скм <sup>2</sup>	Середнє значення модуля q <sub>i min 80%</sub> , л/с км <sup>2</sup>	Площа водозбору між ізолініями, f <sub>i</sub>	q <sub>i min 80%</sub> · f <sub>i</sub>
1.0-0.5	0.75	3.0	2.25
0.5-0.3	0.4	4.5	1.80
0.3-0.1	0.2	8.5	1.70
		Σ=16.0	Σ=5.75

Використовуючи дані табл.3.3, отримаємо модуль мінімального зимового стоку 80%-ної забезпеченості

$$\bar{q}_{80\%N} = \frac{5.75}{16.0} = 0.36 \text{ л/с км}^2$$

Для визначення мінімальної витрати Q<sub>80%</sub> домножимо отримане значення на площу водозбору, а для переходу к кубічним метрам розділемо на 1000:

$$Q_{80\%} = \frac{0.36 \cdot 52400}{1000} = 18.8 \text{ м}^3/\text{с}$$

Точність розрахунку мінімальної витрати за картою СНіП можна визначити як відносне середнє відхилення розрахункових значень від фактичних за формулою

$$\Delta = \frac{|Q_{80\%p} - Q_{80\%ф}|}{Q_{80\%ф}} \cdot 100\% = \frac{|18.8 - 18.2|}{18.2} \cdot 100\% = 3\%$$

Таким чином, для р.Сіверський Донець-м.Лисичанськ точність розрахунку мінімального зимового стоку за допомогою карти становить 3%.



Річку Калитва до замикаючого створу с.Кудинівка із площею водозбору  $F=1110 \text{ км}^2$  слід віднести до малих річок. Як видно із карти районів (рис.3.2), р.Калитва знаходиться у районі А, а в табл.2.1 показано, що для цього району річки із площею водозбору  $F \leq 1200 \text{ км}^2$  відносяться до категорії малих. Для розрахунку мінімального зимового стоку малих річок, відповідно з рекомендаціями СНіП 2.01.14-83, слід використовувати формулу (3.3)

Для визначення основних параметрів формули спочатку необхідно визначити номер району до якого віднесений досліджуваний водозбір. Як показано на рис.3.2 р.Калитва відноситься до району №55. Далі за даними СНіПу (табл.17, додаток 2) визначаються:  $a=0.044$ ,  $n=1.17$ ,  $f=0$ .

Тоді

$$Q_{80\%} = 10^{-3} a \cdot (F \pm f)^n = 10^{-3} \cdot 0.044 \cdot 1110^{1.17} = 0.16 \text{ м}^3/\text{с}$$

Таким чином мінімальна зимова витрата 80%-ної забезпеченості для р.Калитва –с.Кудинівка становить  $0.16 \text{ м}^3/\text{с}$ .

#### Список літератури:

1. Гопченко Є.Д., Гушля О.В. Гідрологія суші з основами меліорації,- К.УСДО, 1994.
2. Методичні вказівки «Норма річного стоку»/ Сост.С.П.Нагаєва, В.А.Овчарук. – Одеса: ОГМІ, 2000.
3. Пособие по определению расчетных гидрологических характеристик. – Л.Гидрометеоиздат, 1984.-448 с.

**ЗБІРНИК МЕТОДИЧНИХ ВКАЗІВОК ДО САМОСТІЙНОЇ  
РОБОТИ З ДИСЦИПЛІНИ „ГІДРОЛОГІЧНІ РОЗРАХУНКИ”**

Укладач: доц.Овчарук В.А.

Підп. до друку  
Умовн. друк. арк.

Формат  
Тираж

Папір  
Зам. №

---

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

---

Надруковано з готового оригінал-макета