

УДК 556.048:621.311.21.001.2

М.Р.Ібрагімова (Інститут відновлюваної енергетики НАН України, Київ)

### Середньозважені значення коефіцієнтів варіації та асиметрії річного стоку води малих річок України для задач малої гідроенергетики

*Визначено середньозважені значення коефіцієнтів варіації та асиметрії річного розподілу стоку води малих річок України згідно схеми гідрографічного районування територій басейнового типу.*

**Ключові слова:** коефіцієнт варіації, коефіцієнт асиметрії, середньозважене значення, норма стоку, гідрографічне районування.

*Определены средневзвешенные значения коэффициентов вариации и асимметрии годового распределения стока воды малых рек Украины согласно схемы гидрографического районирования территорий бассейнового типа.*

**Ключевые слова:** коэффициент вариации, коэффициент асимметрии, средневзвешенное значение, норма стока, гидрографическое районирование.

**Вихідні положення.** Теоретично-прикладні запити гідроенергетики з питань визначення кількості води для господарського призначення та будівництва малих гідроелектростанцій задовольняються згідно з основними положеннями гідрології суші. Остання вивчає річковий стік як результуючий елемент водного балансу, а також розглядає процеси, що відбуваються в басейні річки і визначають її водність. Особливого значення гідрологічні дослідження набувають для великих територій, зокрема України, де протікає значна кількість річок, з яких 95% є малими і дуже малими [1]. Реалізація безпосередніх вимірювань річного стоку гідрометричними методами виявляється неможливою. Тому вивчення законів формування та розподілу стоку зводиться до застосування непрямих методів досліджень, що базуються на узагальненні наявних матеріалів спостережень відносно невеликої кількості гідрометричних пунктів мережі річок [2].

До непрямих методів дослідження закономірностей річного стоку відносяться географічні та статистичні методи. Географічними методами дослідження є відомий метод інтерполяції на картах розподілу характеристик стоку і метод гідрологічної аналогії. Проте досвід використання даних методів, зокрема, застосування карт стоку, засвідчив, що водоносність річок за ними може

бути встановлена тільки для великих річкових басейнів, де стік визначається переважно фізико-географічними та кліматичними факторами, що змінюються у відповідності з законом географічної зональності. Тоді як на характер зміни і величину стоку басейнів малих річок значно впливають місцеві некліматичні фактори. Місцеві особливості малих басейнів, для яких немає гідрометричних спостережень, неможливо врахувати при таких побудовах. Тому ці карти ілюструють лише загальну зміну характеристик по території, і визначення норми стоку для малих річок може характеризуватися значними похибками [3].

Методи теорії статистики надають можливість для вивчення інтегрального впливу місцевих факторів. Коливання річного стоку – результат зміни багатьох факторів, а саме: річних опадів, опадів весняно-літнього періоду року, температури повітря тощо. Кожен з них, у свою чергу, залежить від умов теплообміну з атмосферою, від циркуляції повітряних мас і т.п. [4]. Вперше математичне обґрунтування і узагальнення емпіричної залежності коливань річного стоку від фізико-географічних умов з використанням методу кривих розподілу імовірнісної величини було здійснено в роботі Д.І.Кочерина [2]. В цій же роботі також була отримана аналітична залежність коефіцієнта варіації річного стоку від розмірів

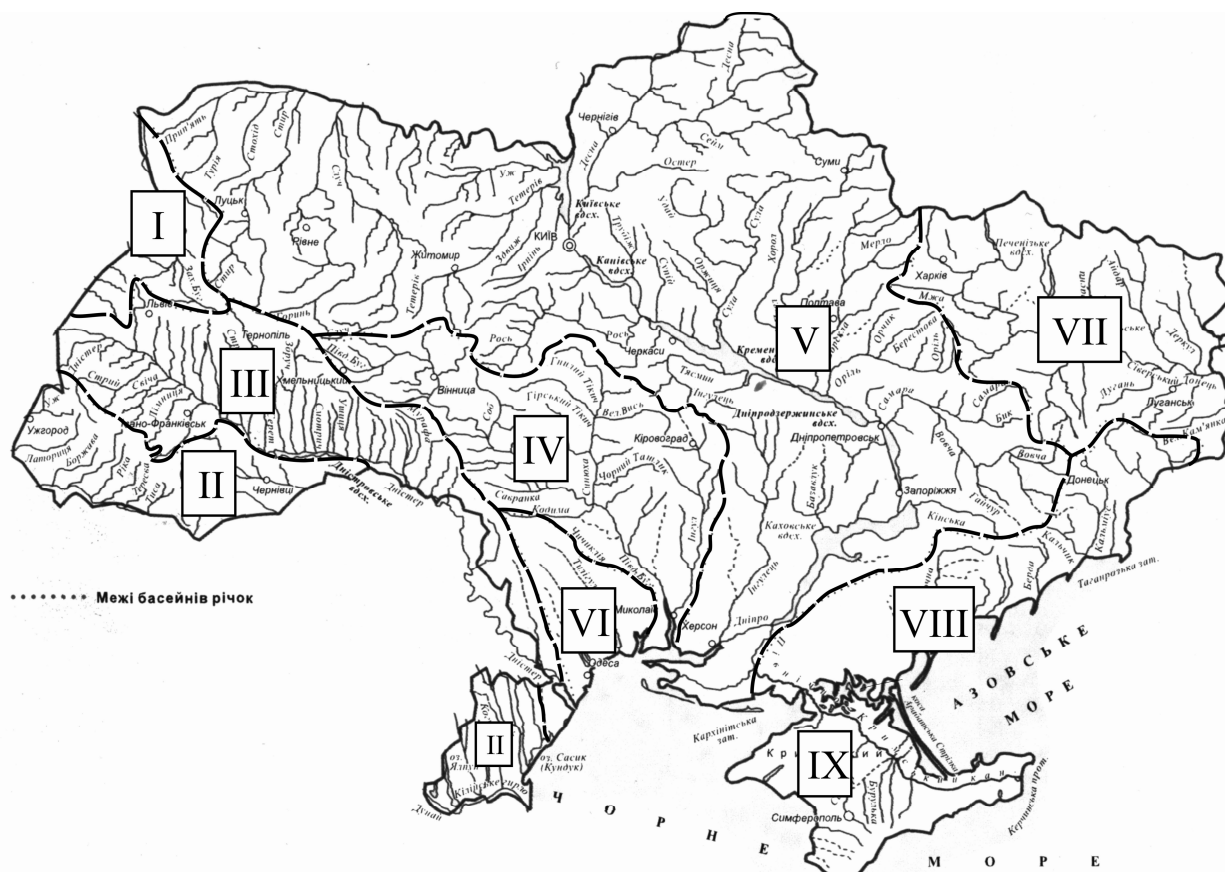
басейну і його географічного положення. Використання методів математичної статистики і кривих розподілу в гідрологічних розрахунках величини стоку продовжується по даний час і нормоване в документі [5]. На території країн СНД найбільшого поширення набув імовірнісний трипараметричний гамма-розподіл у формі Крицько-Менкеля [6]. Параметрами даного розподілу виступають середнє значення витрат та коефіцієнти варіації і асиметрії. Застосування імовірнісного розподілу для задач визначення гідроенергетичного потенціалу малих річок з урахуванням забезпеченості стоку та природоохоронних обмежень на використання води було започатковано в роботах [7–9].

**Постановка задачі.** Значення коефіцієнтів варіації та асиметрії визначаються за результатами довготривалих стаціонарних спостережень за досліджуваною величиною стоку методом найбільшої правдоподібності або методом моментів згідно [5]. Узагальнена гідрометеорологічна інформація багаторічних вимірювань подана у довідникових виданнях [1, 10], проте наведена там кількість постів спостережень значно менша від кількості річок. Тому визначення потенціалу створу річки в запланованому місці будівництва малої гідроелектростанції в більшості випадків виконується за відсутності даних гідрологічних спостережень. За цих умов проведення оцінки витрати води  $Q$  не викликає особливих труднощів, чого не можна сказати стосовно визначення значень коефіцієнтів варіації  $C_V$  і асиметрії  $C_S$  [11].

Як альтернативний варіант оцінки значень коефіцієнтів  $C_V$  і  $C_S$  розподілу річного стоку пропонується метод їх просторового осереднення для гомогенних територій тільки на основі наяв-

ної гідрометричної інформації пунктів спостережень із застосуванням способу середньозваженої оцінки, який отримав поширення для характеристики похилу річки, рівня води, швидкості течії водотоку [3, 12]. Визначення середньозважених величин коефіцієнтів виконуємо за водністю територій, тобто, як функцію середніх багаторічних витрат води  $Q$  відповідних гідрографічних районів, розглядаючи витрату води як непрямий фактор, що враховує місцеві особливості формування стоку окремих басейнів.

**Середньозважена оцінка значень коефіцієнтів варіації і асиметрії розподілу річного стоку.** Просторове осереднення параметрів розподілу виражається в необхідності виконання узагальнень, що безпосередньо враховуватимуть вплив місцевих умов. При розгляді невивчених водотоків побудова таких узагальнень вимагає районування території. Найбільш повно схеми районування, складені за різними факторами і показниками формування стоку, наведено в роботі [3]. В рамках реформування системи управління водними ресурсами Україна здійснює процес гармонізації національної водогосподарської діяльності з підходами у Європейському Союзі, закріпленими у Водній рамковій директиві ЄС 2000/60/ЕС, згідно з якою необхідним є впровадження інтегрованого підходу до управління водними ресурсами на басейновому рівні. Відповідно до встановлених вимог Водної рамкової директиви, у 2013 р. українськими вченими та фахівцями Держводагенства України була розроблена схема гідрографічного районування території України [13]. Згідно з даною схемою районування виділяються наступні дев'ять районів річкових басейнів та дев'ять суббасейнів (рис. 1). В таблиці 1 наведено структурні елементи схеми гідрографічного районування території України.



**Рис. 1. Гідрографічне районування території України:** I – б. Вісли (Західного Бугу та Сану); II – б. Дунаю; III – б. Дністра; IV – б. Південного Бугу; V – б. Дніпра; VI – б. річок Причорномор'я; VII – б. Дону; VIII – б. річок Приазов'я; IX – б. річок Криму.

**Таблиця 1. Гідрографічні одиниці басейнового та суббасейнового рівня території України**

Басейн		Суббасейн		Басейн		Суббасейн	
I	Вісли (Західного Бугу та Сану)			VI	Річок Причорномор'я		
II	Дунаю	1. Тиси		VII	Дону	8. Сіверського Дінця	
		2. Пруту і Сірету				9. Нижнього Дону	
		3. Нижнього Дунаю		VIII	Річок Приазов'я		
III	Дністра						
IV	Південного Бугу			IX	Річок Криму		
V	Дніпра	4. Прип'яті					
		5. Десни					
		6. Середнього Дніпра					
		7. Нижнього Дніпра					

Виходячи із встановленого за умовами формування стоку територіального поділу гідрографічної мережі річок України, виконаємо оцінку коефіцієнтів варіації та асиметрії в межах відповідних басейнів та суббасейнів річок. Коефіцієнт варіації є кількісною оцінкою мінливості величини річного стоку, а коефіцієнт асиметрії являє собою характеристику симетричності статистичного ряду [5, 6, 12]. Для визначення середньозважених значень коефіцієнтів використано результати спостережень гідрометеорологічної ме-

режі на території України, опубліковані в довідникових виданнях [1, 10], які було розосереджено за визначеними гідрографічними районами.

Середньозважене значення коефіцієнта варіації за водністю кожного гідрографічного району  $\overline{C}_V$  розраховувалось наступним чином:

$$\overline{C}_V = \frac{Q_1 C_{V_1} + Q_2 C_{V_2} + \dots + Q_N C_{V_N}}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i C_{V_i}}{\sum_{i=1}^N Q_i}, \quad (1)$$

де  $C_{V_1}, C_{V_2}, \dots, C_{V_N}$  та  $Q_1, Q_2, \dots, Q_N$  – значення коефіцієнтів варіації та витрат води як багаторічні характеристики річного стоку відповідного гідрометеорологічного поста (ГП) вимірювання;  $N$  – кількість пунктів вимірювання досліджуваного гідрографічного району.

Середньозважене значення коефіцієнта асиметрії  $\overline{C_S}$  розраховувалось аналогічно (1):

$$\overline{C_S} = \frac{Q_1 C_{S_1} + Q_2 C_{S_2} + \dots + Q_N C_{S_N}}{Q_1 + Q_2 + \dots + Q_N} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i C_{S_i}}{\sum_{i=1}^N Q_i}, \quad (2)$$

де  $C_{S_1}, C_{S_2}, \dots, C_{S_N}$  – значення коефіцієнтів асиметрії як багаторічна характеристика річного стоку відповідного ГП вимірювання.

За приклад, наведемо розрахунок середньозважених значень коефіцієнта варіації та асиметрії гідрографічного району басейну Південного Бугу. Гідрометеорологічні дані 22 постів вимірювання багаторічних характеристик обраного

району наведені в [1, 10] та в таблиці 2.

Визначення середньозваженого значення коефіцієнта варіації виконуємо за формулою (1):

$$\overline{C_V} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i C_{V_i}}{\sum_{i=1}^N Q_i} = \frac{\sum_{i=1}^{22} Q_i C_{V_i}}{\sum_{i=1}^{22} Q_i} = 0,42 (\text{в.о.}), \text{ при } N=22.$$

Середньозважене значення коефіцієнта асиметрії району басейну Південного Бугу знаходимо за формулою (2):

$$\overline{C_S} = \frac{\sum_{i=1}^N Q_i C_{S_i}}{\sum_{i=1}^N Q_i} = \frac{\sum_{i=1}^{22} Q_i C_{S_i}}{\sum_{i=1}^{22} Q_i} = 0,82 (\text{в.о.}), \text{ при } N=22.$$

Результати розрахунків наведено в таблиці 3.

Аналогічним чином виконано розрахунки середньозважених значень коефіцієнтів варіації та асиметрії усіх гідрографічних районів на території України – відповідних суббасейнів та басейнів. Результати розрахунків зведені у табл. 3.

Таблиця 2. Параметри річного стоку малих річок басейну Південного Бугу

№	Річка – пункт	$Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	$C_V$	$C_S$
1	Південний Буг – с. Чернява	0,16	0,60	1,72
2	Південний Буг – с. Сабарів	28,7	0,43	0,98
3	Південний Буг – с. Тростянич	49,5	0,37	0,67
4	Південний Буг – с. Олександрівка	85,6	0,37	0,67
5	Іква – смт. Стара Синява	1,93	0,40	0,60
6	Згар – смт. Літин	1,96	0,50	1,05
7	Ров – с. Демидівка	3,15	0,42	0,63
8	Соб – с. Зозів	0,28	0,41	0,63
9	Савранка – с. Осички	2,41	0,42	1,00
10	Синиця – с. Кам'яний Брід	1,26	0,47	1,70
11	Кодима – с. Катеринка	1,47	0,65	0,75
12	Синюха – с. Синюхин Брід	27,5	0,45	0,80
13	Гнилий Тікич – смт. Лисянка	2,25	0,48	0,40
14	Велика Вись – с. Ямпіль	3,54	0,56	1,40
15	Ятрань – с. Покотилове	4,19	0,46	0,87
16	Циганка – с. Краснопілля	0,44	0,36	0,64
17	Чорний Ташлик – с. Тарасівка	3,32	0,63	1,60
18	Мертвовід – с. Крива Пустош	0,39	0,60	1,66
19	Інгул – м. Кіровоград	1,39	0,69	1,31
20	Інгул – с. Новогорожене	8,77	0,75	1,66
21	Гнилий Сланець – с. Женево-Криворіжжя	0,79	1,06	2,13
22	Громоклія – с. Михайлівка	0,73	0,94	2,05

Таблиця 3. Середньозважені значення коефіцієнтів варіації та асиметрії малих річок України

Басейн, суббасейн	ГП, шт.	Діапазон зміни $Q_i, \text{м}^3/\text{с}$	Діапазон зміни		$\overline{C_V}$	$\overline{C_S}$
			$C_V$	$C_S$		
I. Вісла (Західний Буг та Сан)	7	0,43–12,4	0,28–0,54	0,67–1,4	0,42	0,88
II. Дунай:						
1. Тиса	24	0,62–216	0,24–0,5	0–1,1	0,30	0,21
2. Прут і Сірет	6	1,17–89,8	4,05–19,77	0,31–0,69	0,38	1,04
3. Нижній Дунай	—	—	—	—	—	—
III. Дністер	26	0,37–225	0,21–0,45	0,3–1,73	0,33	0,68
IV. Південний Буг	22	0,16–85,6	0,36–1,06	0,4–2,13	0,42	0,82
V. Дніпро:						
4. Прип'ять	22	0,6–45,5	0,24–0,72	0,55–2,00	0,47	1,18
5. Десна	4	2,09–323	0,31–0,45	0,87–1,53	0,33	0,89
6. Середній Дніпро	27	0,31–25,7	0,34–0,66	0,5–1,63	0,49	1,02
7. Нижній Дніпро	7	0,33–8,9	0,53–0,93	1,05–2,4	0,86	2,05
VI. Річки Причорномор'я	—	—	—	—	—	—
VII. Дон:						
8. Сіверський Донець	9	1,29–105	0,28–0,71	0,1–1,7	0,45	0,95
9. Нижній Дон	—	—	—	—	—	—
VIII. Річки Приазов'я	9	0,4–8,29	0,48–0,72	0,64–1,66	0,55	1,03
IX. Річки Криму	12	0,2–2,44	0,32–0,72	0–1,58	0,42	0,74

**Висновки.** Виконано просторове осереднення значень параметрів розподілу річного стоку води малих річок України згідно схеми гідрографічного районування територій басейнового типу з метою врахуванням забезпеченості стоку та природоохоронних обмежень на використання води при визначенні гідроенергетичних ресурсів малої гідроенергетики та енергетичних показників малої гідроелектростанції.

Використано спосіб середньозваженої оцінки коефіцієнтів варіації та асиметрії гідрологічних районів за водністю відповідних територій (функцією середніх багаторічних витрат води) на основі наявної гідрометеорологічної інформації.

1. Яцик А.В., Бишовець Л.Б., Богатов Є.О. та ін. Малі річки України: Довідник / За ред. А.В. Яцика. – К.: Урожай, 1991. – 296 с.

2. Соколовський Д.Л. Речной сток (Основы теории и методики расчетов). – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1968. – 540 с.

3. Вишневський П.Ф., Дрозд Н.Й., Желзняк Й.А., Крижанівська А.Б., Кубишкін Г.П., Лисенко К.А., Мокляк В.І., Чипінінг Г.О., Швець Г.І. Гідрологічні розрахунки для річок України (при відсутності спостережень) / За ред. Г.І. Швеця. – К.: Видавництво Академії наук Української РСР, 1962. – 388 с.

4. Воскресенский К.П. Норма и изменчивость годового стока рек Советского Союза. – Л.: Гидрометеорологическое издательство, 1962. – 552 с.

5. СП 33–101–2003. Определение основных расчетных гидрологических характеристик / ГГИ Росгидромет. – М.: Госстрой России, 2003. – 71 с.

6. Дружинин В.С., Сикан А.В. Методы статистической обработки гидрометеорологической информации. Учебное пособие. Направление "Гидрометеорология". Специальность "Гидрология". – СПб.: изд. РГГМУ, 2001. – 170 с.

7. Васько П.Ф., Бриль А.О., Мороз А.В., Озорин Д.Ф. Расчёт теоретического значения гидроэнергетического потенциала малых рек с учётом обеспеченности стока воды // Альтернативная энергетика и экология. – 2012. – №7. – С. 126–132.

8. Мороз А.В. Властивості та особливості застосування імовірнісного трипараметричного гамма-розподілу для визначення технічного гідроенергетичного потенціалу малої річки // Відновлювана енергетика. – 2014. – №2. – С. 72–78.

9. Мороз А.В. Метод аналітичного визначення гідроенергетичного потенціалу створу малої річки на основі лінеаризації імовірнісного розподілу витрат води // Відновлювана енергетика. – 2014. – №4. – С. 69–74.

10. Справочник по водным ресурсам / Под ред. Б.И. Стрельца. – К.: Урожай, 1987. – 304 с.

11. Методические рекомендации по определению расчетных гидрологических характеристик при отсутствии данных гидрометрических наблюдений. – СПб.: ГУ "ГГИ", 2009. – 193 с.

12. Руководство по гидрологической практике (ВМО – №168). Том I – Гидрология: от измерений до гидрологической информации / Всемирная Метеорологическая Организация, 2011. – 314 с.

13. Гребінь В.В., Мокін В.Б., Сташук В.А., Хільчевський В.К., Яцик М.В., Чунарьов О.В., Крижанівський Є.М., Бабчук В.С., Ярошевич О.С. Методики гідрографічного та водогосподарського районування території України відповідно до вимог Водної Рамкової Директиви Європейського Союзу. – К.: Інтерпрес ЛТД, 2013. – 55 с.

